

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**

ВІСНИК

**Східноукраїнського
національного університету
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**

**№ 8 (238)
2017**

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

Сєвєродонецьк 2017

ВІСНИК

СХІДНОУКРАЇНСЬКОГО
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

№ 8 (238) 2017

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

ЗАСНОВАНО У 1996 РОЦІ

ВИХІД З ДРУКУ - ВІСІМНАДЦЯТЬ РАЗІВ НА РІК

Засновник

Східноукраїнський національний університет
імені Володимира Даля

Журнал зареєстровано

в Міністерстві юстиції України

Свідоцтво про державну реєстрацію

серія КВ № 15607-4079ПР

від 18.08.2009 р.

VISNIK

OF THE VOLODYMYR DAHL EAST
UKRAINIAN NATIONAL UNIVERSITY

№ 8 (238) 2017

THE SCIENTIFIC JOURNAL

WAS FOUNDED IN 1996

IT IS ISSUED EIGHTEEN TIMES A YEAR

Founder

Volodymyr Dahl East Ukrainian National
University

Registered by the Ministry

of Justice of Ukraine

Registration Certificate

KB № 15607-4079ПР

dated 18.08.2009

Журнал включено до Переліків наукових фахових видань України (Наказ МОН №1328 21.12.2015 р.), (Наказ МОН №515 16.05.2016 р.), в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук з технічних, економічних та історичних наук відповідно.

ISSN 1998-7927

Головна редакційна колегія:

Поркуян О.В., докт. техн. наук (головний редактор),
Голубенко О.Л., член-кор. Академії педагогічних наук,
докт. техн. наук (заступник головного редактора),
Марченко Д.М., докт. техн. наук (заступник головного
редактора),
Бузько І.Р., докт. екон. наук, (заступник головного
редактора),

Архипов О.Г., докт. техн. наук,
Глікін М.А., докт. техн. наук,
Горбунов М.І., докт. техн. наук,
Рач В.А., докт. техн. наук,
Рязанцев О.І., докт. техн. наук,
Смолій В.М., докт. техн. наук,
Соколов В.І., докт. техн. наук,
Стенцель Й.І., докт. техн. наук,
Суворін О.В., докт. техн. наук,
Татарченко Г.О., докт. техн. наук,
Чернецька-Білецька Н.Б., докт. техн. наук,
Харламов Ю.О., докт. техн. наук,

Даніч В.М., докт. екон. наук,
Заблоцька І.В., докт. екон. наук,
Костирко Л.А., докт. екон. наук,
Рамазанов С.К., докт. техн. наук, докт. екон. наук,
Чернявська Є.І., докт. екон. наук,
Овчаренко Є. Ю., докт. екон. наук,
Д'яченко Ю.Ю., докт. екон. наук,
Войтович Л.В., докт. іст. наук,
Дьомін О.Б., докт. іст. наук,
Михайлюк В.П., докт. іст. наук,
Сергієнко Ю.Г., докт. іст. наук,
Стяжкіна О.В., докт. іст. наук,
Чернявський Г.Й., докт. іст. наук,
Якунін В.К., докт. іст. наук,
Новіков В.П., докт. хім. наук,
Кондратов С.О., докт. хім. наук,
Галстян Г.А., докт. хім. наук,
Галстян А.Г., докт. хім. наук,
Потапенко Е.В., докт. хім. наук,
Голосман Є.З., докт. хім. наук

Відповідальний за випуск: д.т.н., професор Скарга-Бандурова І.С.

Рекомендовано до друку Вченою радою Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля (Протокол № 2 від 27 жовтня 2017 р.)

Матеріали номера друкуються мовою оригіналу.

© Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, 2017
© Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, 2017

ЗМІСТ

Барбарук Л.В., Суворін О.В. СИСТЕМА АНАЛІЗУ ДАНИХ ТА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ З ІНВЕНТАРИЗАЦІЇ ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДІВ.....	5
Барбарук В.М., Татарченко Г.О. МЕТОД ВИБОРУ АТРИБУТІВ ЯК ЕЛЕМЕНТ МЕХАНІЗМУ ВИДОБУТКУ ЗНАНЬ	13
Білобородова Т.О., Скарга-Бандурова І.С. ПІДХОДИ ДО КЛАСИФІКАЦІЇ НЕЗБАЛАНСОВАНИХ ТА ЗСУНУТИХ НАБОРІВ ДАНИХ	17
Деркач М.В., Хишев В.О. ЗАСТОСУВАННЯ АЛГОРИТМУ ФОРДА-ФАЛКЕРСОНА ДЛЯ КАРТИ ДОРІГ МІСТА СЄВЄРОДОНЕЦЬК	25
Додонов В.А., Галич Г.Б. УПРАВЛЕНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЕМ РОБОТА ПО ЗАДАННОМУ МАРШРУТУ В УСЛОВИЯХ ПОМЕХ НА ОСНОВЕ СИТУАЦИОННОГО МЕТОДА	28
Кардашук В. С. МОДЕЛЮВАННЯ НЕСПРАВНОСТЕЙ В ЦИФРОВИХ ПРИСТРОЯХ	36
Коваленко Т.В. МЕТОД И ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ЦИФРОВЫХ ТЕКСТУРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В СИСТЕМАХ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА	39
Кривуля Г.Ф., Липчанский А.И. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ЛИНЕЙНО РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ.....	46
Кунуп Т.В. АНАЛІТИЧНА МОДЕЛЬ РІВНЯ СЕРВІСІВ ТА ДОДАТКІВ МЕРЕЖІ НАСТУПНОГО ПОКОЛІННЯ.....	51
Луцків А.М., Моліцький В.В. АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ТЕСТУВАННЯ ПСИХОЛОГІЧНОЇ ГОТОВНОСТІ ДО ВИКОНАННЯ КРИТИЧНИХ ЗАВДАНЬ НА ОСНОВІ ДИНАМІЧНОГО ПІДПІСУ.....	58
Недзельский Д.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОДСИСТЕМЫ ПОДГОТОВКИ КОМАНД В ЯДРАХ СОВРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССОРОВ	64
Пархоменко А.В., Гладкова О.М., Кравченко О.П., Кравченко Д.П. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ВІДДАЛЕНОГО КЕРУВАННЯ ГРУПОЮ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ.....	67
Сафонова С.О. ПРОГРАМНО-АПАРATНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ.....	75
Сіряк Р.В. ТЕХНОЛОГИИ ИДЕНТИФИКАЦИИ И РАСПОЗНАВАНИЯ ЖЕСТОВ.....	79
Шумова Л.А. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОДДЕРЖКИ ОПЕРАТОРА ХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА ПРИ УПРАВЛЕНИИ ПРЕДАВАРИЙНЫМИ РЕЖИМАМИ	86
Щербаков Є.В., Щербакова М.Є. АНАЛІЗ КЛАСІВ МОВИ ПРОГРАМУВАННЯ JAVASCRIPT	90
Щербакова М. Є., Щербаков Є. В. РОЗПАРАЛЕЛЮВАННЯ ОБЧИСЛЕНЬ В СУЧАСНИХ ВЕБ-БРАУЗЕРАХ.....	94
Марченко Д.М., Жидков А.Б. МОДЕЛЬ НАКОПИЧЕННЯ ВТОМНИХ ПОШКОДЖЕНЬ ТА ФОРМУВАННЯ ПЕРЕДДЕФЕКТНОГО СТАНУ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ.....	98
Трушевський В.Е. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ ГУЧНОМОВНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ ПІШХОДІВ ЗІ СЛАБКИМ ЗОРОМ.....	105
Чернецкая-Белецкая Н.Б., Баранов И.О., Мирошникова М.В. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИДРОТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ВОДОУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА.....	109

CONTENTS

Barbaruk L.V., Suvorin O.V. DATA ANALYSIS AND DECISION SUPPORT SYSTEM FOR INDUSTRIAL WASTE INVENTORY	5
Barbaruk V.M., Tatarchenko G.O. METHOD OF ATTRIBUTES SELECTION AS A ELEMENT OF KNOWLEDGE DISCOVERY IN DATABASES	13
Biloborodova T., Skarga-Bandurova I. APPROACHES FOR CLASSIFICATION OF IMBALANCED AND SKEWED DATASETS	17
Derkach M., Hyshev V. THE APPLICATION OF THE FORD-FALKERSON ALGORITHM FOR THE CITY MAP OF SEVERODONETSK	25
Dodonov V.A., Galich G.B. THE CONTROLL OF THE ROBOT MOVEMENT ALONG A GIVEN ROUTE UNDER OBSTACLE BASED ON THE SITUATIONAL METHOD	28
Kardashuk V. S. MODELING OF MALFUNCTIONS IN DIGITAL DEVICES	36
Kovalenko T. METHOD AND INFORMATION TECHNOLOGY FOR PROCESSING DIGITAL TEXTURES IN AEROSPACE MONITORING SYSTEMS	39
Krivoulya G.F., Lypchansky A.I. INTELLECTUAL DIAGNOSTICS OF LINEARLY DISTRIBUTED OBJECTS USING WIRELESS SENSOR NETWORKS	46
Kunup T. V. ANALYTICAL MODEL OF SERVICE AND APPLICATION LEVEL OF NEXT GENERATION NETWORK	51
Lutskiv A.M., Molitskyi V.V. ON-LINE SIGNATURE AUTOMATED TESTING SYSTEM FOR PSYCHOLOGICAL READINESS TO PERFORM CRITICAL TASKS	58
Nedzelskyi D.A. EFFICACY OF THE COMMAND GENERATING SUBSYSTEM IN MODERN PROCESSOR CORES	64
Parkhomenko A.V., Gladkova O.M., Kravchenko O.P., Kravchenko D.P. RESEARCH&DEVELOPMENT OF AUTOMATED SYSTEM FOR MOVING OBJECTS GROUP REMOTE CONTROL	67
Safonova S.A. HARDWARE AND SOFTWARE PLATFORM FOR AUTOMATED SYSTEM	75
Siryak R.V. GESTURE IDENTIFICATION AND RECOGNITION TECHNIQUES	79
Shumova L. INFORMATION TECHNOLOGY FOR SUPPORTING CHEMICAL OPERATOR IN PREFault CONDITIONS MANAGEMENT	86
Shcherbakov E.V., Shcherbakova M.E. ANALYSIS OF PROGRAMMING LANGUAGE JAVASCRIPT CLASSES	90
Shcherbakova M.E., Shcherbakov E.V. PARALLELIZING COMPUTING IN MODERN WEB BROWSERS	94
Marchenko D.M., Zhydkov A.B. MODEL OF ACCUMULATION OF FATIGUE DAMAGE AND FORMATION OF PREDEFECT STATE OF METAL STRUCTURES	98
Trushevski V. CALCULATION OF LOUDSPEAKER FOR BLIND PEDESTRIANS PARAMETERS	105
Chernetskaya-Beletskaya N., Baranov I., Miroshnykova M. INCREASE EFFICIENCY HYDROTRANSPORTATION OF WATER HEATED FUEL	109

УДК 004.896

СИСТЕМА АНАЛІЗУ ДАНИХ ТА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ З ІНВЕНТАРИЗАЦІЇ ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДІВ

Барбарук Л.В., Суворін О.В.

DATA ANALYSIS AND DECISION SUPPORT SYSTEM FOR INDUSTRIAL WASTE INVENTORY

Barbaruk L.V., Suvorin O.V.

В статті розкрито етапи дослідження та розробки прототипу інструмента інтелектуального аналізу даних та управління непрямыми знаннями баз даних спеціалізованої аналітичної системи обліку інвентаризації промислових відходів та викидів. Важливим аспектом даної роботи є взаємодія існуючих методів Data Mining та розробка змішаних методів, що можуть співпрацювати з існуючими для вилучення знань, що містяться в сховищах даних. Другою особливістю є поєднання засобів динамічного аналізу даних та засобів системи підтримки прийняття природоохоронних рішень, яка здатна запропонувати найкращий метод для видобутку знань в кожному конкретному випадку. В роботі наведено архітектуру аналітичної системи обліку інвентаризації промислових відходів та викидів, а також деякі методи, які покладено в основу функціонування даної системи.

Ключові слова: придбання та управління знаннями, видобуток даних, машинне навчання, сховища даних.

Вступ. Система підтримки прийняття природоохоронних рішень (СППР) може бути визначена як інформаційна аналітична система, яка використовується для накопичення екологічних даних діяльності промислових підприємств, видобутку знань з даних моніторингу навколишнього середовища, зменшення часу прийняття рішень та підвищення якості рішень в системах управління промисловими виробництвами.

СППР є класичним рішенням, орієнтованим на вироблення рекомендацій у сфері охорони навколишнього середовища під час виробничої діяльності промислових підприємств [1, 2]. Основною рисою СППР є вибірка та застосування знань, що і переводить такі системи до рангу інтелектуальних аналітичних систем [3]. Загальна проблема цих систем полягає у низькій ефективності методів отримання знань. Класичні підходи базуються на отриманні знань за допомогою ручних інтерактивних сеансів спільно з експертами.

В системах даного напрямку більш ефективним є поєднання експертів у галузі охорони навколишнього середовища та експертів з організації та проведення технологічних процесів [4]. Але при наявності сховищ даних, в яких зберігається інформація щодо стану та змін показників навколишнього середовища в минулі часи, існує більш перспективний та наукоємний підхід. Він полягає у застосуванні таких загальних автоматизованих методів Data Mining як «Statistics» та «Machine Learning». Поєднавши разом ці методи отримаємо так звану технологію виявлення знань (knowledge discovery technologies).

Огляд існуючих рішень, методів, підходів до побудови СППР. Данні та знання, при правильній організації, дуже важливі для прогнозування задач, керування, нагляду та мінімізації впливу діяльності промислових підприємств на навколишнє середовище взагалі, так і на природу та людей зокрема.

Існує безліч підходів до внутрішньої організації систем ППР. Так у роботах [2-4] зазначено, що основними компонентами подібних систем виступають бази даних, в яких зберігаються вихідні значення основних параметрів у вигляді звичайних і нечітких множин та база знань, в якій зберігаються дані, що описують предметну область у вигляді правил. Роботи [4-8] виділяють окремою проблемою задачі створення компонентів придбання знань, виробки рекомендацій та інструкцій для подолання критичних ситуацій. Але основним недоліком подібних систем є застосування окремих обчислювальних та аналітичних модулів, що працюють у різних часових та просторових масштабах без їх монолітної інтеграції в рамках єдиної системи ППР.

Аналіз вимог до СППР. Сучасні комплекси для екологічного моніторингу повинні містити

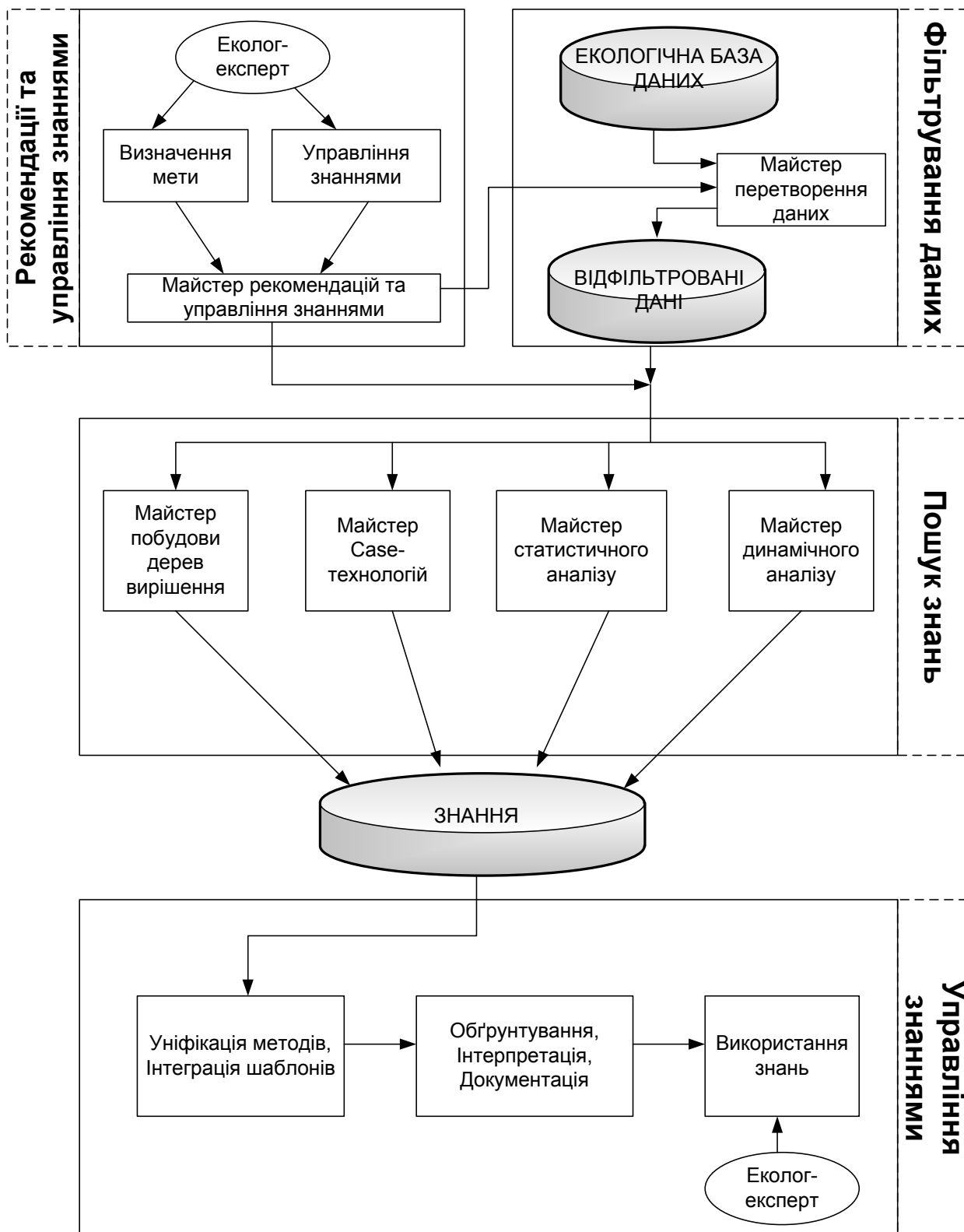


Рис. 1. Архітектура СПППР

засоби збору інформації, її обробки, систематизації, аналізу, оцінки, інтерпретації, прогнозу подальшого розвитку та засоби підтримки прийняття рішень в реальному часі, тобто доведення актуальної інформації до органів муніципального та регіонального управління. До основних функцій систем ПППР відноситься прогнозування стану навколишнього середовища (атмосферного повітря, водного басейну, ґрунту) та виявлення джерел його забруднення в режимі реального часу. Невизначеність даних може розглядатися як нестача адекватної інформації для прийняття рішення, і ставати проблемою, оскільки може перешкодити виробленню найкращого рішення і навіть стати причиною того, що буде прийнято неякісне рішення. Тому однією з найсильніших сторін систем ПППР є їх здатність справлятися з невизначеністю даних, і як слід, невизначеністю отриманих знань, так само успішно, як це роблять справжні експерти.

Аналіз відкритих джерел стосовно систем реагування на хімічні, біологічні, радіологічні, ядерні аварії КАДО [9, 10], RECASS-NT [11], ARGOS [12], NARAC [13] показав, що вони використовують методики розрахунку атмосферного переносу використовують не дані чисельного прогнозу погоди, а лише дані вимірювання метеостанції. Наші дослідження направлені саме на виправлення подібного обмеження, тобто на збільшення достовірності розрахункової області за рахунок використання комбінації обчислювальних та аналітичних методів.

Аналіз особливостей і рівні архітектури систем ПППР. Усі розглянуті аналоги [9-13] мають схожий перелік основних компонент, характерний для систем ППП різноманітного призначення. А саме: база даних; функціональна підсистема розрахунків, контролю та прогнозування; телекомунікаційна підсистема; підсистема адміністрування, клієнтська підсистема. Умовно можливо поділити базу даних цих систем на оперативну базу даних, базу системних та довідникових даних, базу розрахунків. А розрахункові модулі та модулі аналізу і прогнозування реалізовано окремими складовими програмними модулями. У той же час, в роботах [14-18] надано рекомендації щодо повної інтеграції до баз даних апарату аналізу існуючих даних та видобутку нових даних.

Наш проект передбачає створення засобу інтелектуального аналізу даних (Intelligent Data Analysis, IDA) для забезпечення підтримки прийняття рішень в системах обліку інвентаризації промислових відходів та викидів. Запропонований підхід ґрунтується на методах однофакторної (one-way) та двофакторної (two-way) описової статистики. Також будуть інтегровані декілька методів машинного навчання, такі як кластеризація (clustering), дерева рішень (decision tree), навчання з підсиленням (reinforcement learning) та динамічний аналіз (dynamical analysis).

Архітектура запропонованої системи. Метою проекту є розробка та впровадження інтелектуальної системи аналізу даних (Intelligent Data Analysis System, IDAS). На підставі попереднього досвіду авторів проекту було вирішено, що система буде мати багаторівневу архітектуру з 4 рівнів, яка з'єднає користувача з екологічною системою та технологічним процесом. Ці чотири рівні є наступними (рис.1):

1. Фільтрація даних (Data Filtering).
2. Формування рекомендацій та управління знаннями (Recommendation and Meta-Knowledge Management).
3. Знаходження знань (Knowledge Discovery).
4. Управління знаннями (Knowledge Management).

Система використовує комбінацію методів для отримання відповідних знань із екологічних та промислових інформаційних систем через наявні бази даних. Ці знання будуть використані пізніше при впровадженні та розширенні розробленої системи. Використання кроссплатформенної системи програмування дозволить забезпечити переносимість програмного забезпечення. Більш детально зосередимося на методах фільтрації статистичних даних та засобах кластеризації.

Специфіка процесу обліку інвентаризації відходів промислового підприємства визначає структуру сховища даних (рис.2).

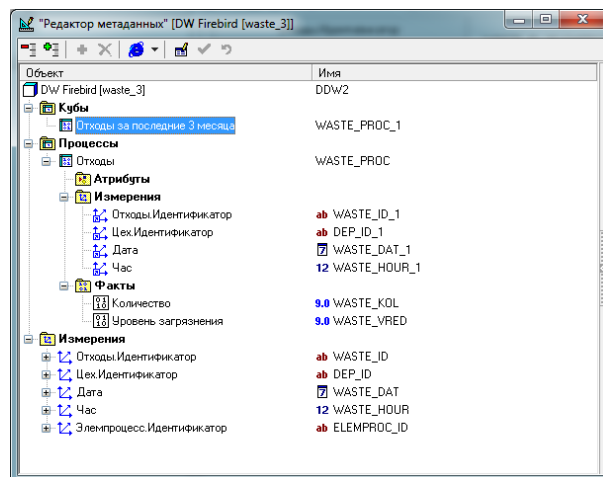


Рис. 2. Структура сховища даних

Багатовимірне сховище даних являє собою набір $\langle G, F \rangle$, в якому G - простір вимірювань D (dimension), F - сукупність фактів-мер M (measure). З огляду на специфіку процесу інвентаризації відходів [19], прикладом лінійного упорядкування може служити ієрархія вимірювання «Виробництво» [цех $\leftarrow$ технологічний процес $\leftarrow$ елементарний технологічний процес]. Кожному рівню вимірювань відповідає набір значень, що належать йому (наприклад, рівень вимірювання «Технологічний процес» має значення «Прийом і зберігання сірчаної кислоти в сховища», «Прийом і зберігання їдкого

натур в сховища», «Приготування розчину їдкого натру в апараті» та ін.).

Осередками даних є дані, що зберігаються в кубі. Кожен осередок визначається набором значень і вимірюванням, яке також має значення (рис.3).

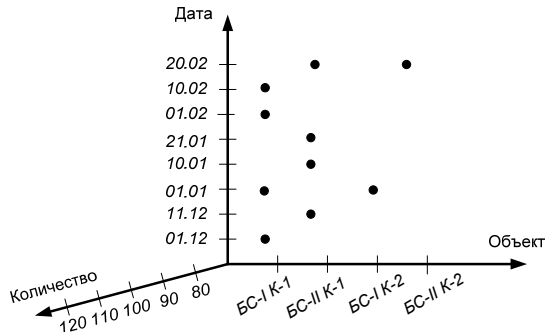


Рис. 3. Початковий куб даних

Засоби фільтрування статистичних даних відповідають за управління базами даних, статистичний аналіз та візуалізацію даних. Ці засоби забезпечують всю систему потужними методами фільтрації даних для підготовки даних для подальшого знаходження знань.

Режим управління даних дозволяє додавати новий вимір до сховища даних, видаляти один вимір зі сховища та змінювати характеристики вимірів (рис.4.). Також підтримується керування фактами.

Статистичний аналіз даних реалізується за допомогою оператора навігації над кубом даних. Мета оператора навігації полягає в тому, щоб за рахунок використання статистичної функції (однієї з

набору {сума, усереднення, кількість, мінімум, ступінь (n), порожня операція}) взяти куб з певного

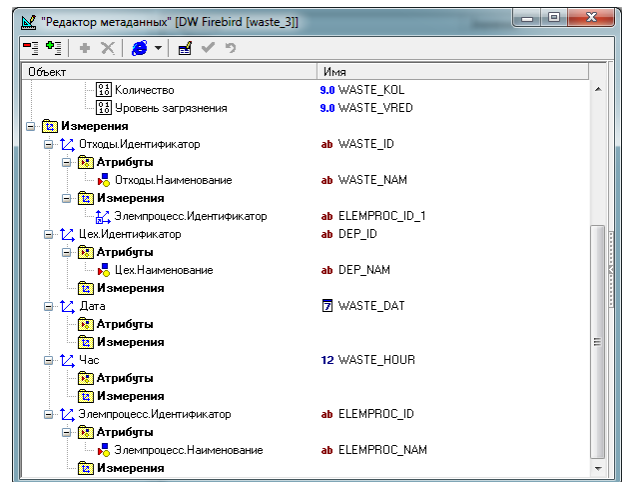


Рис. 4. Деталізація характеристик вимірів

стану, змінити рівень конкретного виміру, упакувати результат і сформувати новий куб з новим станом. Вимірювання нового куба відповідають вимірам старого. Рівні вимірювання також однакові крім того одного виміру, для якого змінений рівень. Графічне представлення результатів аналізу реалізуються як однофакторними ділянками (двовірні графіки), так і двофакторними сюжетами (тривимірні діаграми), а також гістограмами або табличне уявлення для візуалізації розподілу значень у часі.

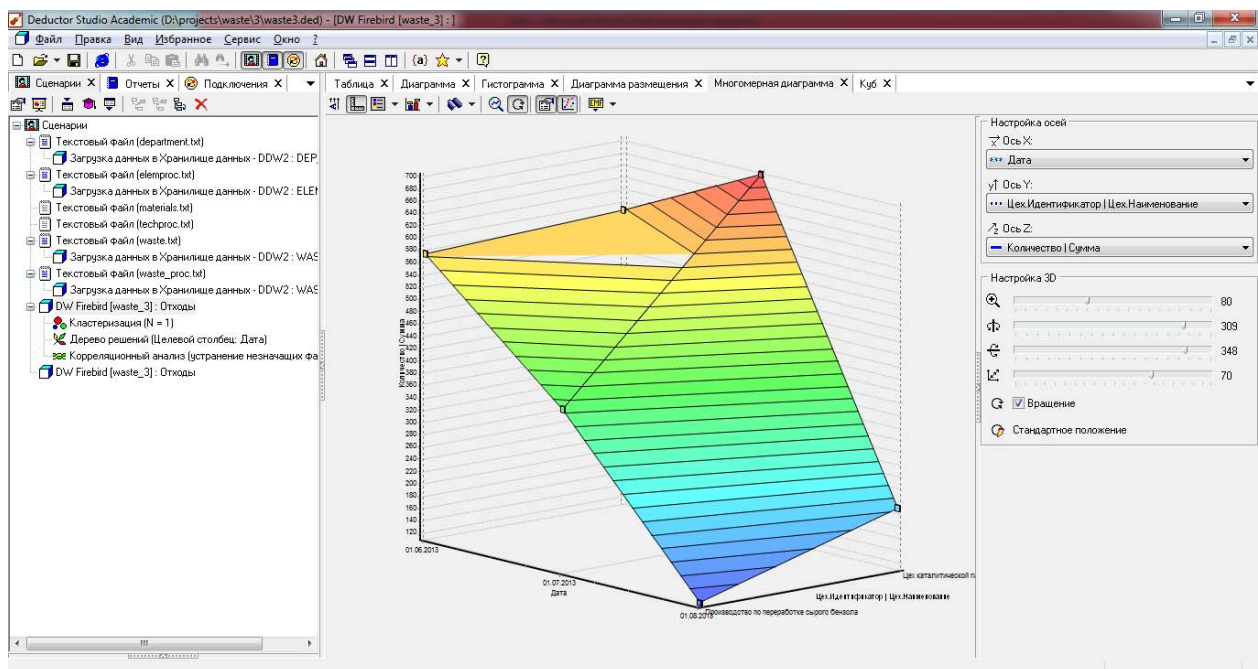


Рис. 5. Можливий описовий статистичний аналіз

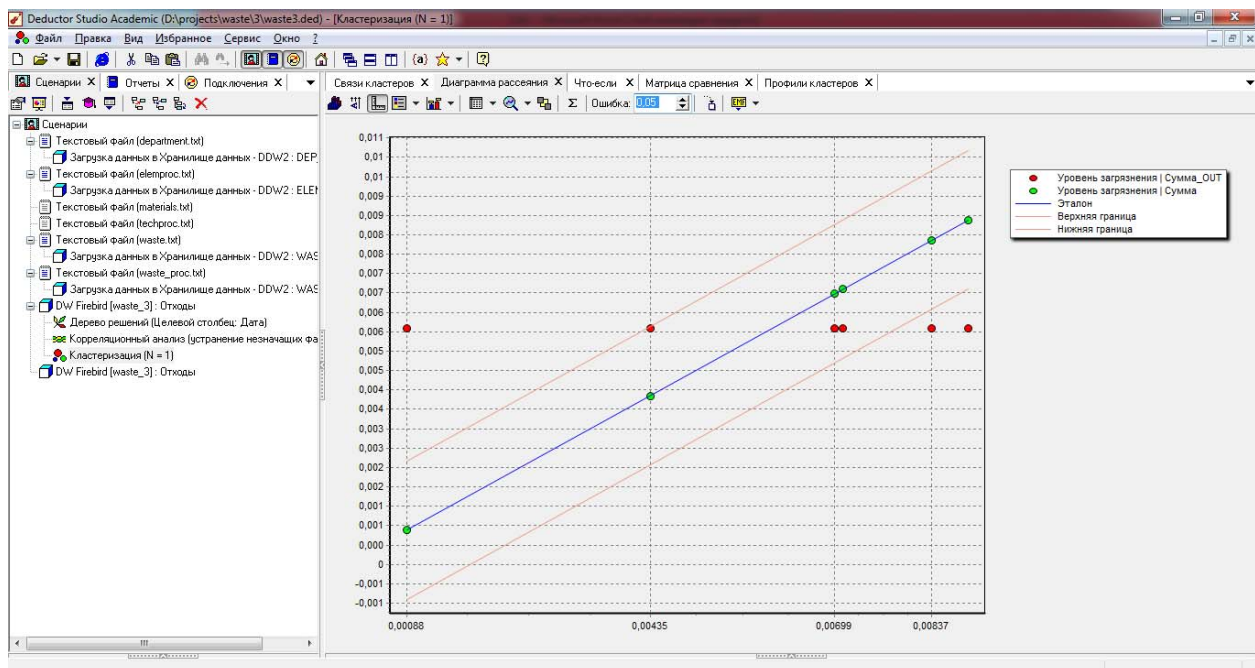


Рис. 6. Діаграма розсіювання

№	Условие	Знак	Значение	Следствие	Поддержка		Достоверность	
					Кол-во	%	Кол-во	%
1	9.0 Количество Сумма	<	293,65	01.08.2013	2	33,33	2	100,00
2	9.0 Количество Сумма	>=	293,65	01.07.2013	2	33,33	2	100,00
3	9.0 Уровень загрязнения	<	0,007045	01.06.2013	2	33,33	2	100,00
	9.0 Уровень загрязнения	>=	0,007045					

Рис. 7. Правила дерева рішень

Кластерний аналізатор є складовою частиною засобів обробки даних [20]. На даному етапі дослідження вже проведено роботу з K-means (рис.6) та G-means алгоритмами над даними аналітичної системи обліку використаної сировини і утворення відходів на прикладі промислового виробництва по переробці сирого бензолу. Метою K-засобів є класифікація набору даних таким чином, щоб ті дані, що належать до певної групи, були максимально схожі та ідентично представлені користувачеві.

Дерева рішень є одним з найбільш потужних засобів вирішення завдання віднесення будь-якого об'єкта (рядків набору даних) до одного з заздалегідь відомих класів [20]. Дерево рішень - це класифікатор, отриманий з навчальної множини, що містить об'єкти і їх характеристики, на основі навчання. Дерево складається з вузлів і листя, що вказують на клас (рис.7).

Результатом роботи алгоритму є список ієрархічних правил, що утворюють дерево. Кожне правило - це інтуїтивно-зрозуміла конструкція виду «Якщо ... то ...» (if-then). Дерево може

використовуватися для класифікації об'єктів, що не увійшли в навчальну множину. Щоб прийняти рішення, до якого класу слід віднести деякий об'єкт або ситуацію, потрібно відповісти на питання, що стоїть в вузлах цього дерева, починаючи з його кореня. Питання мають вигляд «значення параметра А більше В?». Якщо відповідь позитивна, здійснюється перехід до правого вузла наступного рівня. Потім знову йде питання, пов'язане з відповідним вузлом, і т. д.

Висновки та перспективи. Розроблено чотирьох рівневу архітектуру інтелектуальної системи аналізу екологічних даних. Виконано програмну реалізацію системи на базі платформи Deductor Studio з додатково розробленим набором різноманітних інструментів кубічних операцій та статистичних методів. Запропонована система є прототипом СППР для задачі обліку інвентаризації промислових відходів та викидів. Результати роботи показали перспективність подальшого розвитку описаних методів.

Поєднання засобів статистичного аналізу з засобами візуалізації даних надає користувачеві більш детальну інформацію, та поліпшує розуміння трактування остаточних результатів.

Література

1. Методическое руководство для проведения национальной инвентаризации опасных отходов в рамках Базельской конвенции [Электронный ресурс] / Серия / СБК No: 99/009 (Е) Женева, Май 2000. – Режим доступа: <http://www.basel.int/Portals/4/Basel%20Convention/docs/pub/metologicalguide-r.pdf> - 10.02.2013
2. Ситник В.Ф. Системи підтримки прийняття рішень: навч. посіб. / Ситник В.Ф. – К.: КНЕУ, 2004. – 614 с.
3. Верес О.М. Види архітектурних систем підтримки прийняття рішень / О.М. Верес // Вісник Національний університету «Львівська політехніка». Комп'ютерні системи проектування. Теорія і практика. – 2010. – № 685. – С. 190 – 197.
4. Єпик М.О. Гібридна експертна система моніторингу забруднення атмосфери на металургійному підприємстві [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.13.06 / Єпик Марина Олександрівна ; Донец. нац. ун-т. - Донецьк, 2012. - 20 с. : рис.
5. Application of Decision Support System JRODOS for Assessments of Atmospheric Dispersion and Deposition from Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident / Ie. Ievdin, O. Khalchenkov, I. Kovalets [et al.] // International Journal of Energy for a Clean Environment. – 2012. – Vol. 13. – P. 179 – 190.
6. Towards automation of model execution from a decision support environment / R. Denzer, S. Schlobinski, T. Hell. [et al.] // Proceeding of 19th International Congress on Modelling and Simulation, (Perth, 12–16 December 2011). – Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand, 2011. –P. 1202 – 1208.
7. Environmental modeling framework invasiveness: analysis and implications / W. Lloyd, O. David, J.C. Ascough II [et al.] // Proceedings of the International Congress on Environmental Modelling and Software, Fifth Biennial Meeting, (Ottawa, July 5-8 2010). – Ottawa, Canada, 2011. – Vol. 26. – P. 1240 – 1250.
8. Гофман Д.С. Застосування програмно-інструментальної системи LIANA для інтеграції прикладних задач, ГІС і баз даних у системи підтримки прийняття рішень, засновані на моделях / Д.С. Гофман // Математичні машини і системи. – 1998. – № 1. – С. 75 – 88.
9. Бончук Ю. В. Программный комплекс анализа дозиметрической обстановки при аварийных выбросах АЭС Украины / Ю. В. Бончук, Н. Н. Талерко, А. Г. Кузьменко // Проблемы безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. – 2009. – № 12. – С. 30 – 38.
10. Національна доповідь “Про виконання зобов’язань України відповідно до Конвенції про ядерну безпеку” [Електронний ресурс]. – К., 2004. – 134 с. – Режим доступу : <http://www.snrc.gov.ua/nuclear/doccatalog/document?id=37815>
11. Mobile Measurement Facilities for the Real-Time Interaction with the Recass NT System in Antiterrorism Actions / A.M. Gariyants, V.G. Bulgakov, V.M. Shershakov, G.P. Zhukov // Countering Nuclear and Radiological Terrorism. – Dordrecht: Springer, 2006. – P. 191 – 198.
12. ARGOS Decision Support System for Emergency Management [Електронний ресурс] / S. Hoe, P. McGinnity, T. Charnock [et al.] // Argentine Radiation Protection Society. – 2009. – Режим доступу : http://orbit.dtu.dk/fedora/objects/orbit:55890/datastream/s/file_3924948/content.
13. Bradley M.M. NARAC: an emergency response resource for predicting the atmospheric dispersion and assessing the consequences of airborne radionuclides / M.M. Bradley // Journal of environmental radioactivity. – 2007. – Vol. 96. – N. 1. – P. 116 – 121.
14. Sánchez-Marré M., Gibert, K., Rodríguez-Roda, I., et al. (2002) Development of an Intelligent Data Analysis System for Knowledge Management in Environmental Data Bases. First Int’l Conf. of Int’l EMS Society. Vol III 420-425. Lugano, Suiza.
15. Comas J., Dzeroski S. Gibert, K., Rodríguez-Roda I. and Sánchez-Marré M. Knowledge Discovery by means of inductive methods in wastewater treatment plant data. AI Communications 14(1):45-62, January 2001.
16. Gibert K., T. Aluja and U. Cortés, Knowledge Discovery with Clustering Based on Rules. Interpreting Results, In Principles of Data Mining and Knowledge Discovery, J. M. Żytkow, M. Quafafou Eds., LNAI 510, p 83-92, Springer-Verlag, 1998.
17. Sánchez-Marré M., U. Cortés, J. Lafuente, I. R.- Roda y M. Poch. DAI-DEPUR: an integrated and distributed architecture for wastewater treatment plants supervision. Artificial Intelligence in Engineering 10(3):275-285. Elsevier Science Ltd., 1996.
18. Serra P., M. Sánchez-Marré, J. Lafuente, U. Cortés y M. Poch. DEPUR: a knowledge based tool for wastewater treatment plants. Engineering Applications of Artificial Intelligence 7(1):23-30, 1994.
19. Барбарук Л. Методы формирования многомерных отчетов для задач учета ресурсопотребления. Теоретичні та прикладні аспекти комп'ютерних наук та інформаційних технологій: Матеріали I міжнародної конференції TACSIT-2015. –

Севродонецьк: Східноукраїнський національний університет, 2015. с. 35-40.

20. Довідникова система Deductor Studio Academic

References

1. Metodicheskoe rukovodstvo dlja provedenija nacional'noj inventarizacii opasnyh othodov v ramkah Bazel'skoj konvencii [Elektronij resurs] / Serija / SBK No: 99/009 (E) Zheneva, Maj 2000. – Available at: <http://www.basel.int/Portals/4/Basel%20Convention/doc/s/pub/metologicalguide-r.pdf> - 10.02.2013
2. Sitnik V.F. Sistemi pidtrimki priijnattja rishen': navch. posib. / Sitnik V.F. – K.: KNEU, 2004. – 614 s.
3. Veres O.M. Vidi arhitekturnih sistem pidtrimki priijnattja rishen' / O.M. Veres // Visnik Nacional'nij universitetu «Lvivs'ka politehnika». Komp'juterni sistemi proektuvannja. Teorija i praktika. – 2010. – № 685. – P. 190 – 197.
4. Epik M.O. Gibridna ekspertna sistema monitoringu zabrudnennja atmosferi na metalurgijnomu pidpriemstvi [Text]: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk : 05.13.06 / Epik Marina Oleksandrivna; Donec. nac. un-t. - Donec'k, 2012. - 20 p. : ris.
5. Application of Decision Support System JRODOS for Assessments of Atmospheric Dispersion and Deposition from Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident / Ie. Ievdin, O. Khalchenkov, I. Kovalets [et al.] // International Journal of Energy for a Clean Environment. – 2012. – Vol. 13. – P. 179 – 190.
6. Towards automation of model execution from a decision support environment / R. Denzer, S. Schlobinski, T. Hell. [et al.] // Proceeding of 19th International Congress on Modelling and Simulation, (Perth, 12–16 December 2011). – Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand, 2011. –P. 1202 – 1208.
7. Environmental modeling framework invasiveness: analysis and implications / W. Lloyd, O. David, J.C. Ascough II [et al.] // Proceedings of the International Congress on Environmental Modelling and Software, Fifth Biennial Meeting, (Ottawa, July 5-8 2010). – Ottawa, Canada, 2011. – Vol. 26. – P. 1240 – 1250.
8. Gofman D.S. Zastosuvannja programno-instrumental'noi sistemi LIANA dlja integracii prikladnih zadach, GIS i baz danih u sistemi pidtrimki priijnattja rishen', zasnovani na modeljah / D.S. Gofman // Matematichni mashini i sistemi. – 1998. – № 1. – P. 75 – 88.
9. Bonchuk Ju . V . Programmnyj kompleks analiza dozimetricheskoj obstanovki pri avarijnyh vybrosah AJeS Ukrainy / Ju . V . Bonchuk , N . N . Talerko , A . G . Kuz'menko//Problemi bezpeki atomnih elektrostancij i Chornobilja . – 2009. – № 12. – С. 30 – 38.
10. Nacional'na dopovid' "Pro vikonannja zobov'jazan' Ukraїni vidpovidno do Konvencii pro jadernu bezpeku" [Internet source]. – K ., 2004. – 134 p. – Available at: <http://www.snrc.gov.ua/nuclear/doccatalog/document?id=37815>
11. Mobile Measurement Facilities for the Real-Time Interaction with the Recass NT System in Antiterrorism Actions / A.M. Gariyants, V.G. Bulgakov, V.M. Shershakov, G.P. Zhukov // Countering Nuclear and Radiological Terrorism. – Dordrecht: Springer, 2006. – P. 191 – 198.
12. ARGOS Decision Support System for Emergency Management [Elektronij resurs] / S. Hoe, P. McGinnity, T. Charnock [et al.] // Argentine Radiation Protection Society. – 2009. – Available at:

http://orbit.dtu.dk/fedora/objects/orbit:55890/datastream/s/file_3924948/content.

13. Bradley M.M. NARAC: an emergency response resource for predicting the atmospheric dispersion and assessing the consequences of airborne radionuclides / M.M. Bradley // Journal of environmental radioactivity. – 2007. – Vol. 96. – N. 1. – P. 116 – 121.
14. Sánchez-Marrè M., Gibert, K., Rodríguez-Roda, I., et al. (2002) Development of an Intelligent Data Analysis System for Knowledge Management in Environmental Data Bases. First Int'l Conf. of Int'l EMS Society. Vol III 420-425. Lugano, Suiza.
15. Comas J., Dzeroski S. Gibert, K., Rodríguez-Roda I. and Sánchez-Marrè M. Knowledge Discovery by means of inductive methods in wastewater treatment plant data. AI Communications 14(1):45-62, January 2001.
16. Gibert K., T. Aluja and U. Cortés, Knowledge Discovery with Clustering Based on Rules. Interpreting Results, In Principles of Data Mining and Knowledge Discovery, J. M. \{Z\}ytkow, M. Quafafou Eds., LNAI 510, p 83-92, Springer-Verlag, 1998.
17. Sánchez-Marrè M., U. Cortés, J. Lafuente, I. R.- Roda y M. Poch. DAI-DEPUR: an integrated and distributed architecture for wastewater treatment plants supervision. Artificial Intelligence in Engineering 10(3):275-285. Elsevier Science Ltd., 1996.
18. Serra P., M. Sánchez-Marrè, J. Lafuente, U. Cortés y M. Poch. DEPUR: a knowledge based tool for wastewater treatment plants. Engineering Applications of Artificial Intelligence 7(1):23-30, 1994.
19. Barbaruk L. Metody formirovaniya mnogomernyh otchetov dlja zadach ucheta resursopotrebleniya. Theoretical and Applied Computer Science and Information Technologies: I International Conference TACSIT-2015 Proceedings – Severodonetsk: Shidnoukraїns'kij nacional'nij universitet, 2015. p. 35-40.
20. Quick Help Deductor Studio Academic.

Барбарук Л.В., Суворин А.В. Система анализа данных и поддержки принятия решений по инвентаризации промышленных отходов

В статье раскрыты основные этапы разработки прототипа инструмента интеллектуального анализа данных в специализированной аналитической системе учета инвентаризации промышленных отходов и выбросов. Важным аспектом данной работы является реализация взаимодействия существующих методов Data Mining и разработка смешанных методов, которые могут взаимодействовать друг с другом для извлечения знаний, содержащихся в хранилищах данных. Второй особенностью является сочетание средств динамического анализа данных и средств поддержки принятия природоохранных решений, которая способна предложить лучший метод для добычи знаний в каждом конкретном случае.

В работе приведены архитектура аналитической системы учета инвентаризации промышленных отходов и выбросов, а также некоторые методы, положенные в основу функционирования данной системы.

Ключевые слова: приобретение и управление знаниями, добыча данных, машинное обучение, хранилища данных.

Barbaruk L.V., Suvorin A.V. Data Analysis and Decision Support System for Industrial Waste Inventory

The article reveals the main stages of development of the prototype of the data mining tool in a specialized analytical system for recording inventories of industrial wastes and emissions. An important aspect of this work is the implementation of the interaction of existing data mining techniques and the development of mixed methods that can interact with each other to extract knowledge contained in industrial data warehouses. The second feature is the combination of dynamic data analysis tools and environmental decision support tools, which is able to offer the best method for extracting knowledge in each specific case.

The paper presents the architecture of the analytical system for recording inventory of industrial wastes and emissions, as well as some of the methods that form the basis for the functioning of this system.

Keywords: data acquisition, knowledge management, data mining, machine learning, data storage.

Барбарук Л.В. – старший викладач кафедри комп'ютерної інженерії Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, e-mail: barbaruk.angelina@gmail.com

Суворін О.В. – д.т.н., проф., завідувач кафедри хімічної інженерії та екології Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, e-mail: avsuvorin@rambler.ru

Рецензент: д.т.н., проф. **Рязанцев О.І.**

Стаття подана 01.09.2017

УДК: 004.65, 004.82

МЕТОД ВИБОРУ АТРИБУТІВ ЯК ЕЛЕМЕНТ МЕХАНІЗМУ ВИДОБУТКУ ЗНАНЬ**Барбарук В.М., Татарченко Г.О.****METHOD OF ATTRIBUTES SELECTION AS A ELEMENT OF KNOWLEDGE DISCOVERY IN DATABASES****Barbaruk V.M., Tatarchenko G.O.**

Концепція вибору атрибутів є корисною для вирішення проблем природоохоронної науки, оскільки виявлення найбільш релевантних або прогнозованих атрибутів сприятиме зростанню економічного ефекту процесів збору та керування даними. В якості інструменту пошуку знань для оцінки структури дерева рішень, був розроблений метод вибору вузлів дерева рішень, щоб витягнути зв'язки між атрибутами та рішеннями в дереві.

У статті наводиться короткий опис концепції вибору атрибутів, деталі модернізації алгоритму вибору вузлів дерева рішень та опис програмної реалізації алгоритму для аналітичної платформи WEKA.

Ключові слова: атрибут, дерево рішень, база знань, метод

Вступ. Невідповідні, надмірні та невизначені особливості можуть заплутати алгоритми навчання експертних систем та змусити їх будувати погані класифікатори станів [1]. Для удосконалення результатів або чіткості були введені та випробувані дослідниками низка методів вибору атрибутів, наприклад, «Information Gain» [2] та «Relief» [3, 4]. Інші дослідники класифікаторів [5] запропонували формувати набір атрибутів, які найбільш передбачають результат без втрати первісного їх значення після зменшення кількості вагомих атрибутів.

Аналіз останніх досліджень. Методи виділення атрибутів, як правило, реалізуються як операції пакування або фільтрації. Операції пакування формують набір атрибутів, оптимізований для даного алгоритму класифікації, котрий розглядається як чорний ящик. Багаторазово виконуючи алгоритм на різних вхідних наборах даних і вимірюючи якість набору кожного разу забезпечуються кращі результати завдяки взаємодії між пошуковим алгоритмом та схемами навчання [5]. Цей метод не є вигідним з точки зору практичного використання. Фільтрація вибирає

незалежний набір атрибутів алгоритму класифікації, і ця операція займає менше часу [6]. Зазвичай, метод виділення атрибутів використовується на етапі попередньої обробки даних, щоб значно скоротити кількість атрибутів, які, наприклад, часто зустрічаються в структурованому тексті або спеціалізованих класифікаціях. Тому складність з обчислень може бути мінімізована. Але методи виділення атрибутів можуть використовуватися як інструмент пошуку знань для малих і середніх наборів даних [7], за рахунок того, що нерелевантні атрибути можуть використовуватися для підтримки операцій збору та управління даними. Технології обробки даних можуть обробляти великі набори булевих, безперервних та дискретних даних. Проте дані з природознавства, як правило, складаються з малого та середнього числа примірників та атрибутів (в кількості порядку кілька тисяч), а не десятків тисяч або мільйонів точок даних.

Мета. Деякі дослідники [8] радили використовувати прості методи, такі як широко відомий алгоритм C4.5, маючи на увазі той факт, що при зростанні кількості даних, дисперсія класичних оцінок прагне до нуля. Це означає, що малі відмінності у вибірках даних за різними атрибутами можуть виявитися статистично значимими при видобутку знань.

Модифікація алгоритму вибору вузла дерева рішень C4.5. Вивчення та застосування дерева рішень, на прикладі алгоритму C4.5 [2], практично і широко використовується як простий метод класифікації даних для індукційного аналізу [9] і описує процес прийняття рішення в зручному для розуміння вигляді.

Нехай буде згенеровано дерево рішень $T = (V, E, Lv, Lf)$ (рис. 1.a). Вузли представлені у вигляді $V(T) = \{v_1, \dots, v_{nv}\}$, де nv - загальна кількість вузлів у дереві рішень T (за винятком листових вузлів). Нехай A являє собою набір вхідних атрибутів, де $A = \{a_1, \dots, a_{na}\}$, де na - кількість атрибутів. Мітки, що

відповідають вузлам у дереві $V(T)$, представлені у вигляді $L_v = \{L(v_1), \dots, L(v_{nv})\}$ і $L(v_i) \in A \forall v_i \in V(T)$, де $L(v_i)$ є міткою для вузла v_i .

Не всі атрибути потрібно використовувати. Наприклад, (рис. 1 праворуч), коли існує чотири вхідних атрибути ($na = 4$), для побудови дерева T можна використати лише два атрибути та три вузли ($nv = 3$), тому $V(T) = \{v_1, v_2, v_3\}$, а відповідні мітки $L_v(T)$ можуть бути $\{a_1, a_2, a_2\}$, що вказує на те, що вузол v_1 помічений атрибутом a_1 , а вузли v_2 та v_3 позначені одним тим же атрибутом, a_2 .

Подібним чином вузли листів представлені як $F(T) = \{f_1, \dots, f_{nf}\}$, де nf - кількість листових вузлів. Отже, розмір дерева рішень (T) становить $nv + nf$. Нехай C являє собою набір класів, де $C = \{c_1, \dots, c_{nc}\}$, де nc - кількість класів. Мітки, що відповідають листовим вузлам $F(T)$, представлені як $L_f = \{L(f_1), \dots, L(f_{nf})\}$ і $L(f_i) \in C \forall f_i \in F$, де $L(f_i)$ мітка для аркуша вузла f_i . Наприклад, якщо існують два вхідних класи ($nc = 2$; клас c_1 для yes і c_2 для no) і чотири листові вузли були створені як $F(T) = \{f_1, f_2, f_3, f_4\}$, відповідні мітки для $F(T)$ можуть бути позначені $L(f_i) = \{c_1, c_1, c_2, c_1\}$, що вказує на те, що f_1, f_2 і f_4 помічено з класом yes (c_1), а f_3 помічено з класом no (c_2), як це показано на рис. 1.б. З'єднання між парами вузлів (в тому числі і для кінцевих вузлів) представлені ребрами, $E(T) = \{e_1, \dots, e_{ne}\}$ де ne число ребер в T . Ребро e_i між двома вузлами (v_j і v_k) визначається як $e_i = (v_j, v_k) \mid v_j, v_k \in V(T)$, а ребро e_i між вузлом v_j та вузлом листів f_k визначається як $e_i = (v_j, f_k) \mid v_j \in V(T), f_k \in F(T)$.

Позначимо через I загальну кількість правильно класифікованих екземплярів у вузлі дерева або листа, так що $I(f_i)$ являє собою число правильно класифікованих екземплярів у вузлі листа f_i , а $I(v_i)$ визначається рекурсивним виразом,

$$I(v_i) = \sum I(f_j) \forall f_j \mid (v_i, f_j) \in E + \sum I(v_k) \forall v_k \mid (v_i, v_k) \in E. \quad (1)$$

Слід зауважити, що I розраховується на вузлі листа з числа класифікованих екземплярів, за мінусом кількості неправильно класифікованих екземплярів.

Наприклад,

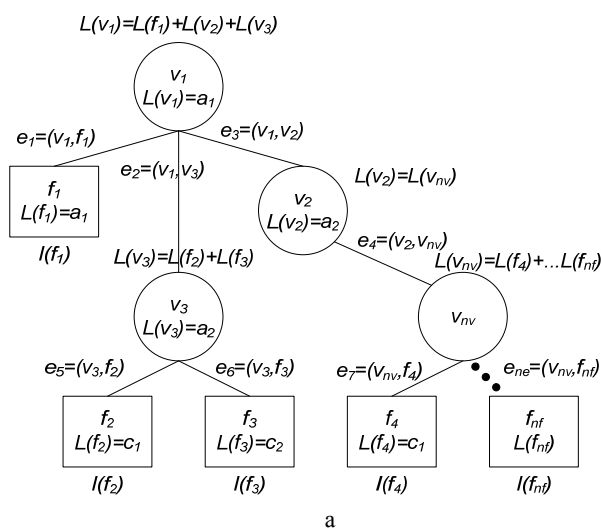
$$\begin{aligned} I(v_1) &= I(f_1) \text{ де } j = 1, (v_1, f_1) \in E + I(v_2) \\ &\text{де } k = 2, (v_1, v_2) \in E \\ &+ I(v_3) \text{ де } k = 3, (v_1, v_3) \in E. \end{aligned} \quad (2)$$

Кількість екземплярів класифікованих по шляхах, включаючи вузол v_3 обчислюється як $I(v_3) = 20 + 30$, так як $I(f_2) = 20$ і $I(f_3) = 30$. Тоді, $I(f_1) = 10$, $I(v_2) = I(v_{nv})$ і $I(v_3) = 50$, так що загальна кількість примірників, класифікованих по шляхах, включаючи вузол v_1 обчислюється як $I(v_1) = 10 + I(v_{nv}) + 50$.

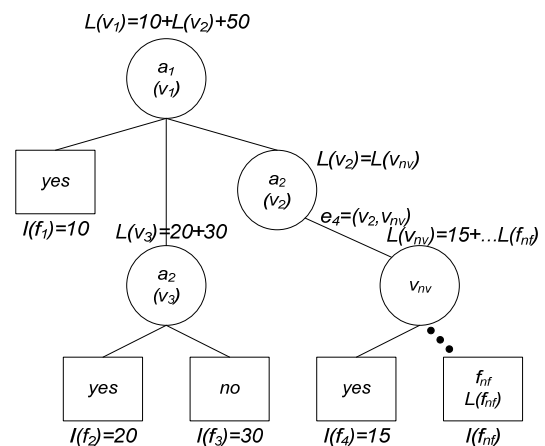
Таким чином, кожен атрибут a_i оцінюється за загальними екземплярами, розрахованими із загальної кількості екземплярів d вузлах, позначених a_i ,

$$I(a_i) = \sum I(v_k) \forall v_k \mid L(v_k) = a_i. \quad (3)$$

Атрибут найвищого рангу a_i має найбільше значення $I(a_i)$, що вказує на те, що, по-перше, атрибут частіше використовується в дереві рішення T , а, по-друге, що більша кількість примірників класифікується за правилами, що включають a_i для визначення класу. Слід звернути увагу на те, що рейтинг атрибутів базується на правильно класифікованих екземплярах, але і атрибути також можна класифікувати за допомогою загальних або неправильно класифікованих екземплярів.



а



б

Рис. 1. а – Опис процесу вибору вузла дерева,
б – приклад дерева рішень

Реалізація алгоритму вузла дерева рішень C4.5. Алгоритм вибору вузла дерева рішень C4.5 [10] було реалізовано у вільному програмному забезпеченні для аналізу даних WEKA 3.8.1, як скрипкова модифікація існуючого алгоритму J48 (рис.2).

```

public class C45 extends WekaLearner {
    private static final long serialVersionUID = 1L;
    public C45() {
        wekaCl = new J48();
        learnerName = "C4.5";
        J48 tree = new J48();
        try {
            if (!m_reducedErrorPruning)
                result = new C45PruneableClassifierTree(null,
!m_unpruned, m_CF, m_subtreeRaising,
!m_noCleanup, m_collapseTree).getCapabilities();
            else
                result = new PruneableClassifierTree(null,
!m_unpruned, m_numFolds, !m_noCleanup,
m_Seed).getCapabilities();
        }
        catch (Exception e) {
            result = new Capabilities(this);
            result.disableAll();
        }
        result.setOwner(this);    tree.setOptions(options);
        tree.buildClassifier(data); }
    public void getParametersFromOptionsLine(String
options) {
        }
    }
}

```

Рис. 2. Фрагмент Java-скрипта

рішень визначають також як метод підтримки прийняття рішень, заснований на пошуку та аналізі залежностей між даними.

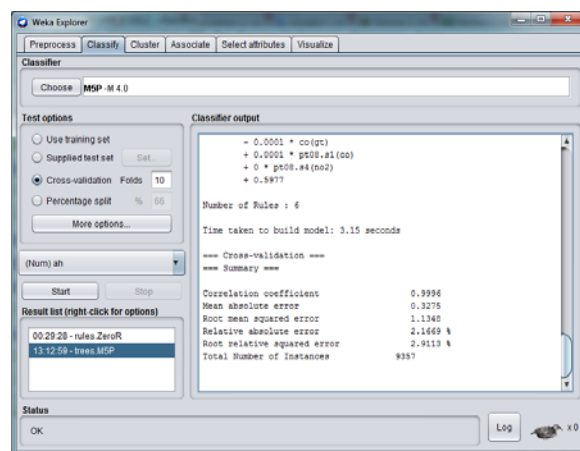


Рис. 4. Етапи генерації дерева

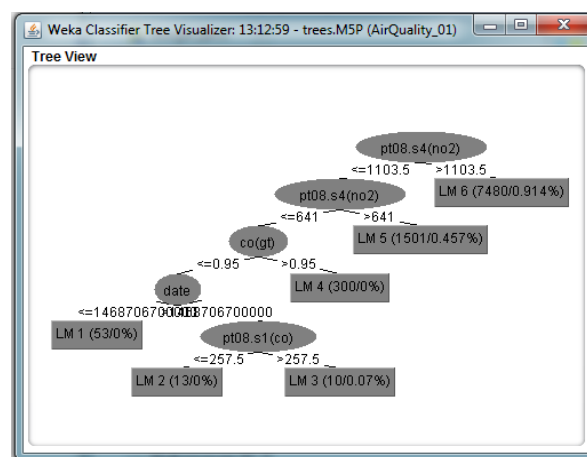


Рис. 5. Результуюче дерево рішень

Висновки. У цьому дослідженні запропоновано новий метод вибору вузлів дерева рішень, який досліджує попередньо сформоване дерево рішень як джерело інформації для вибору декількох найбільш інтелектуальних атрибутів, які допомагають будувати інші моделі. Цікавою особливістю методу вибору вузлів дерева рішень є оцінювання інформації як з попередньо згенерованих обрізаних, так і необрізаних дерев рішень. У майбутньому було б цікаво використовувати різні схеми навчання індукції дерева та вдосконалені алгоритми побудови дерева рішень, наприклад, алгоритм попереднього перегляду ID3 [6], який розраховує рентабельність розколу в вузлі, оцінюючи його вплив на більш глибокі нащадки вузла.

Наразі програмне забезпечення вибору вузлів дерева рішень - це скрипт, який запускає WEKA для генерації дерева рішень та перевірки атрибутів наборів даних.

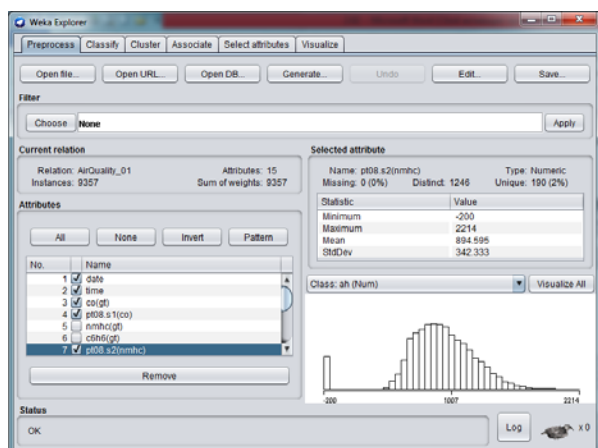


Рис. 3. Завантаження даних

Після завантаження файлу з початковими даними (рис.3) обираємо атрибуту та переходимо до формування дерева рішень (рис.4) за допомогою модифікованого скрипта. Спираючись на дерево рішень (рис.5) вдається витягнути з різних, в тому числі і дуже великих, баз даних раніше невідому і достовірну інформацію, яка служить основою для прийняття рішень. Тому метод вибору вузла дерева

Література

1. Last M, Kandel A, Maimon, O (2001) Information-theoretic algorithm for feature selection. Pattern Recognit lett 22: 799-811.
2. Quinlan JR (1993) C4.5: Programs for Machine Learning, Morgan Kaufmann, San Mateo.
3. Kira K, Rendell L (1992) A practical approach to feature selection. In Proc. 9 th ICML 1992, 249-256.
4. Kononenko I (1994) Estimating attributes: Analysis and Extensions of Relief, In Proc. of 7 th ECML, 171-182.
5. Hall MA, Holmes G (2003) Benchmarking Attribute Selection Techniques for Discrete Class Data Mining, IEEE Trans Knowl Eng 15: 1437-1447. (4)
6. Esmeir S, Markovitch S (2004) Lookahead-based algorithms for anytime induction of decision trees. In Proc. of 21 st ICML 2004, 257-264.
7. Jensen R, Shen Q (2007) Fuzzy-rough sets assisted attribute selection. IEEE Trans Fuzzy Syst 15: 73-89.
8. Spate JM, Gibert K, Sánchez-Marré M, Frank E, Comas J, Athanasiadis I, Letcher R (2006) Data mining as a tool for environmental scientists. In: Voinov, A, Jakeman AJ, Rizzoli AE (eds). In Proc. of the 3 rd iEMSs, 0-22, Burlington
9. Mitchell TM (1997) Machine learning, McGraw-Hill, New York.
10. WEKA (2008) Documentation in Weka 3: Data Mining Software in Java, available at: <http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>. Accessed on 28 July 2008.

References

1. Last M, Kandel A, Maimon, O (2001) Information-theoretic algorithm for feature selection. Pattern Recognit lett 22: 799-811.
2. Quinlan JR (1993) C4.5: Programs for Machine Learning, Morgan Kaufmann, San Mateo.
3. Kira K, Rendell L (1992) A practical approach to feature selection. In Proc. 9 th ICML 1992, 249-256.
4. Kononenko I (1994) Estimating attributes: Analysis and Extensions of Relief, In Proc. of 7 th ECML, 171-182.
5. Hall MA, Holmes G (2003) Benchmarking Attribute Selection Techniques for Discrete Class Data Mining, IEEE Trans Knowl Eng 15: 1437-1447. (4)
6. Esmeir S, Markovitch S (2004) Lookahead-based algorithms for anytime induction of decision trees. In Proc. of 21 st ICML 2004, 257-264.
7. Jensen R, Shen Q (2007) Fuzzy-rough sets assisted attribute selection. IEEE Trans Fuzzy Syst 15: 73-89.
8. Spate JM, Gibert K, Sánchez-Marré M, Frank E, Comas J, Athanasiadis I, Letcher R (2006) Data mining as a tool for environmental scientists. In: Voinov, A, Jakeman AJ, Rizzoli AE (eds). In Proc. of the 3 rd iEMSs, 0-22, Burlington

9. Mitchell TM (1997) Machine learning, McGraw-Hill, New York.
10. WEKA (2008) Documentation in Weka 3: Data Mining Software in Java, available at: <http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>. Accessed on 28 July 2008.

Барбарук В.Н., Татарченко Г.О. Метод выбора атрибутов как элемент механизма добычи знаний.

Концепция выбора атрибутов является полезной для решения проблем природоохранной науки, поскольку выявление наиболее релевантных или прогнозируемых атрибутов способствует росту экономического эффекта процессов сбора и управления данными. В качестве инструмента поиска знаний для оценки структуры дерева решений, был разработан метод выбора узлов дерева решений, с целью установления связей между атрибутами и решениями в дереве.

В статье представлено краткое описание концепции выбора атрибутов, детали модернизации алгоритма выбора узлов дерева решений и описана программная реализация алгоритма на базе аналитической платформы WEKA.

Ключевые слова: атрибут, дерево решений, база знаний, метод

Barbaruk V.M., Tatarchenko G.O. Attributes Selection Method as an Element of Knowledge Discovery in Databases

The concept of the attributes selection is useful for addressing environmental science issues, since identifying the most relevant or predicted attributes will increase the economic effect of data collection and management processes. As a search tool for evaluating the decision tree structure, a decision tree method has been developed to draw relationships between attributes and solutions in a tree.

The article gives a brief description of the concept of the attributes choice, details of the upgrade of the algorithm for choosing decision tree nodes and a description of the program implementation of the algorithm for the WEKA analytical platform.

Keywords: attribute, decision tree, knowledge base, method

Барбарук В.М. – к.т.н., доцент, доцент кафедры комп'ютерної інженерії Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, e-mail: barbaruk.viktor@gmail.com

Татарченко Г.О. – д.т.н., проф., завідувач кафедри міського будівництва та господарства Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, email: tatarchenkogalina@gmail.com

Рецензент: д.т.н., проф. **Рязанцев О.І.**

Стаття подана 28.08.2017

УДК 004.67:618.3

ПІДХОДИ ДО КЛАСИФІКАЦІЇ НЕЗБАЛАНСОВАНИХ ТА ЗСУНУТИХ НАБОРІВ ДАНИХ

Білобородова Т.О., Скарга-Бандурова І.С.

APPROACHES FOR CLASSIFICATION OF IMBALANCED AND SKEWED DATASETS

Biloborodova T., Skarga-Bandurova I.

Розглянуто проблему вибору підходу, алгоритму для бінарної класифікації незбалансованих та зсунутих наборів даних. Проаналізовано математичні моделі, виділені властивості кожного з підходів. Проведена класифікація з використанням алгоритмів, що представляють кожен з підходів. Виконана перевірка якості та ефективності моделей з використанням таких показників, як помилки першого та другого роду, частка істинно позитивних та істинно негативних спостережень, чутливість та специфічність побудованих моделей для тестового набору даних. За допомогою Biased Minimax Probability Machine (BMPM), отримані характеристики класифікації даних, що враховують властивості даних. Підтверджено якість мінімаксного підходу до класифікації незбалансованих даних.

Ключові слова: лінійна бінарна класифікація, розрізнявальний, породжувальний, мінімаксний підходи, незбалансовані дані

Опис проблеми та аналіз літературних даних. На даний момент існує безліч підходів до класифікації даних, що використовують різноманітні алгоритми. Якість, точність та ефективність класифікації даних безпосередньо залежить від відповідності обраного алгоритму властивостям досліджуваних даних. Вибір підходу – це пошук компромісу між якістю класифікації та інтерпретованістю отриманих результатів. У цьому контексті, особливу увагу потребує класифікація наборів даних, що містять різноманітні дефекти, такі як пропуски значень, незбалансованість, нерівномірність розподілу класів в навчальних вибірках та ін. Бінарна класифікація для вирішення реальних проблем, що виникають в промисловості, наприклад, при виявленні дефектів продукту або технологічного обладнання, в медицині - при діагностиці деяких важких захворювань, часто проводиться на зсуненому та незбалансованому наборі даних, де спостережень, що належать одному

з класів, набагато менше, ніж тих, що належать іншому класу. Класифікація навчального набору з великим зсувом зазвичай видає моделі не схильні до перенавчання, які не можуть перелаштуватися до тестових даних і не в змозі врахувати їх важливі закономірності. Як наслідок, алгоритми правильно класифікують спостереження, що належать більшості, але показують дуже низьку якість класифікації для спостережень з класом, що є в меншості.

Одним з методів подолання проблеми зсунених та незбалансованих даних є розробка та випробування нових підходів та алгоритмів, або, у більшості випадків, їх комбінації. Так, проблема бінарної класифікації незбалансованого набору даних була розглянута у [1], де автори спробували збалансувати вихідний набір даних і підвищити точність класифікації завдяки поєднанню процедур передискретизації та відміни дискретизації. Удосконалення розрізнявального підходу з використанням алгоритму SVM до класифікації незбалансованих даних виконано у роботі [2]. Запропонований алгоритм поєднує бінарний SVM та однокласний SVM з Гаусовою радіальною базисною функцією. Автори [3] запропонували для вирішення проблеми незбалансованих даних ансамбль класифікаторів. В дослідженні відстежено залежність якості класифікації від комбінації алгоритмів в ансамблі та характеристики даних. Автори дослідження [4] набору незбалансованих даних електрокардіограм пацієнтів для виявлення апное довели переваги використання методу передискретизації даних з використанням Гаусового розподілу в якості функції визначення розподілу. В роботі [5] запропонований різновид мінімаксного підходу до класифікації незбалансованих даних - Biased Minimax Probability Machine, який є першим кількісним методом контролю за тим, як рішення гіперплощини змінюється на користь класифікації

більш важливого класу, для вирішення упереджених задач класифікації.

Зважаючи на суттєві здобутки, питання розробки якісної моделі для класифікації незбалансованих даних залишається відкритим. Складність отримання точної моделі полягає в тому, що коректний вибір підходу повністю залежить від даних. Те, що працює в одному випадку, може виявитися абсолютно некоректним з іншим набором даних. Евристичний підхід, з великою ймовірністю, дасть низьку прогностичну ефективність. Цілеспрямований вибір підходу, алгоритму допоможе забезпечити при класифікації максимально можливу для досліджуваних даних точність.

Постановка задачі. Таким чином, для визначення найкращої моделі в роботі ставиться задача провести аналіз відповідності підходів до класифікації даних з урахуванням їх властивостей та виконати оцінку ефективності моделей класифікації для досліджуваного набору даних.

Підходи до класифікації даних. Для лінійної бінарної класифікації даних використовуються два широко відомих підходи - класифікація за допомогою породжувальних моделей (generative model) та класифікація з використанням розрізнявальних (умовних) моделей (discriminative models). З метою оцінювання відповідності підходів до класифікації даних з урахуванням їх властивостей, таких як тип даних, величина досліджуваного набору, кількість вхідних параметрів, кількість класів вихідної змінної, наявність зсуву, незбалансованості, відсутність даних, тощо, проведений аналіз останніх досліджень [6, 7, 8, 9], за результатами якого, можна зробити висновок, що в деяких випадках [7, 8] проаналізовані підходи однаково підходять до різних типів даних та для класифікації наборів даних з бінарною вихідною змінною [6] (табл. 1).

Алгоритми породжувального підходу показують кращу якість моделі при використанні для великих наборів даних з великою кількістю вхідних параметрів [8, 10, 11]. Це є необхідною умовою при їх використанні для отримання високих показників якості отриманої моделі. Алгоритми розрізняльного підходу, навпаки, показують

кращі результати при класифікації невеликих наборів даних з обмеженою кількістю вхідних змінних [10, 11]. Дослідження в порівнянні цих підходів і визначення найбільш якісного методу, залишаються актуальним завданням обробки даних [12]. Також, невирішене питання якості використання породжувального підходу для невеликих наборів даних. Крім того, для реальних даних досі не знайдений теоретично правильний загальний критерій вибору між розрізняльним та породжувальним підходами до класифікації даних.

MPM являє собою розрізняльний класифікатор, заснований на породжувальних попередніх знаннях. Він дозволяє безпосередньо оцінити вірогідну точність, мінімізуючи максимальну ймовірність помилкової класифікації. MPM створює класифікатор, який забезпечує найгіршу оцінку ймовірності помилкової класифікації майбутніх тестових даних на підставі надійних оцінок середнього і коваріаційних матриць класів, отриманих при класифікації навчального набору даних. MPM знаходить межу між середніми значеннями класів. Використання мінімаксного підходу для мультикласової класифікації [9] будеться на використанні стратегії "один проти всіх", генетичного алгоритму та параметричної редукції. Автори визначили стандартне відхилення та середню помилку для різних модифікацій мінімаксного підходу та на підставі порівняння цих параметрів зробили висновок про перевагу запропонованого ними підходу. Дослідження по порівнянню запропонованого мінімаксного підходу до мультикласової класифікації даних з розрізняльним та породжувальним підходами авторами не було проведене і тому не може свідчити про його перевагу. Загалом, для мінімаксного підходу кількість вхідних змінних не має значення, тому в цьому сенсі він є універсальним. Перевагами мінімаксного підходу є те, що він може працювати з урахуванням розподілу, припускаючи, що середнє і коваріація, які безпосередньо оцінюються по даним, достовірно представляють реальне середнє коваріації даних, або без будь-якого припущення про розподіл даних, будуючи класифікатор безпосередньо з даних.

Таблиця 1

Відповідність підходів класифікації властивостям даних

Підходи	Різний тип даних	Велика кількість вхідних змінних	Кількість вхідних змінних обмежена	Бінарна вихідна змінна	Мультикласова вихідна змінна	Великі дані	Невеликі набори даних	Зсувені, незбалансовані дані	Відсутні значення
Породжувальний	+	+		+			+		
Розрізняльний	+		+	+	+	+			+
Мінімаксний	+	+	+	+			+	+	+

За наявності відсутніх значень в проаналізованих роботах автори використовують розрізнявальний [7] або мінімакний підходи [5]. Вид мінімакного підходу ВМРМ [6, 13] показує високу якість отриманої моделі при використанні для класифікації зсунених або незбалансованих даних. Разом з тим, доцільність використання мінімакного підходу для великих даних також не доведена.

Припущення. На підставі вищевказаного, висунене теоретичне припущення про важливість урахування властивостей даних при виборі підходу до лінійної бінарної класифікації даних, за якими мінімакний підхід має перевагу перед розрізнявальним та генеративним підходами при класифікації даних, що характеризуються зсувами, незбалансованістю та мають відсутні значення.

Опис досліджуваних даних. Прикладом задачі класифікації зсунених та незбалансованих даних з відсутніми значеннями є задача прогнозування гіпоксії новонародженого. Цей стан виникає при відхиленні певних показників перебігу вагітності, що нотуються лікарем протягом всього періоду. Даний стан зустрічається досить нечасто, але може призводити до таких тяжких наслідків як дитячий церебральний параліч або, навіть, смерть новонародженого. Прогнозування гіпоксії новонародженого по поєднанню певних значень показників перебігу вагітності, що сигналізують про можливий розвиток гіпоксії у майбутньої дитини допоможе лікарям своєчасно прийняти міри по наданню спеціалізованої допомоги та уникнути або зменшити вплив можливих негативних наслідків для новонародженого.

В якості залежних змінних, які є найбільш специфічними для досліджуваного стану новонародженого (наявність або відсутність гіпоксії), використані показники перебігу вагітності, відібрані в результаті розвідувального аналізу досліджуваних даних [14], який дозволив виділити статистично значущі характеристики - показники перебігу вагітності, і, за рахунок цього, зменшити початкову кількість показників з 29 до 6. Решта показників: ступінь зрілості плаценти при ультразвуковому дослідженні на 30-38 тижнях вагітності, товщина плаценти при ультразвуковому дослідженні на 30-38 тижнях вагітності, протромбіновий індекс крові, вертикальний розмір амніотичної рідини при ультразвуковому дослідженні на 30-38 тижнях вагітності, швидкість осідання еритроцитів крові на 21 тиждень вагітності, швидкість осідання еритроцитів крові на 30 тиждень вагітності, вказують лише на їх релевантність до діагнозу новонародженого, не надаючи інформації про значення цих показників, що нададуть змогу з достатнім ступенем впевненості, діагностувати наявність гіпоксії у новонародженого. Саме значення релевантних показників перебігу вагітності є предикторами виникнення патології.

Особливості вихідних даних. Вихідна залежна змінна, що містить інформацію про діагноз новонародженого, є номінальною. Вихідна змінна є незбалансованою. Випадків новонароджених з патологією зазвичай набагато менше ніж новонароджених з відсутністю патології. Вхідні змінні – швидкість осідання еритроцитів крові на 21, 30 тижнях вагітності, вертикальний розмір амніотичної рідини і товщина плаценти при ультразвуковому дослідженні на 30-38 тижнях вагітності є кількісними. Змінні протромбіновий індекс і ступінь зрілості плаценти - порядкові. У даній роботі досліджуються безперервні вхідні змінні, тому змінні протромбіновий індекс і ступінь зрілості плаценти виключені.

Задача дослідження – оцінка ефективності досліджуваних моделей класифікації для визначення станів новонародженого, визначення найкращої в сенсі якості та точності моделі для досліджуваних даних. Для вирішення цієї задачі надалі розглядається характеристика досліджуваних підходів.

Математична модель лінійної бінарної класифікації. При вирішенні лінійних задач бінарної класифікації [6], дані представляються у вигляді елементів векторного простору. Завдання класифікації зводиться до зіставлення кожного вектора значень вхідних змінних x значенню вихідної змінної y , визначальною поділ об'єктів на класи.

Для досліджуваних даних, бінарна класифікація - це класифікація бінарної вихідної змінної - діагноз новонародженого. Клас $y_1 = 1$ відповідає новонародженим, яким при народженні поставлений діагноз гіпоксія, а $y_2 = -1$ - новонароджені, в яких при народженні відсутня гіпоксія.

Досліджувані дані перебігу вагітності та діагнозу новонародженого представляють собою набір даних, що містить вхідні змінні $(x_1, x_2, \dots, x_m) \in \mathbb{R}^m$ та відповідні їм значення $y_m = \{1, -1\}$, які є міткою класу для значень показників об'єкта x_m .

Задача класифікації полягає в знаходженні вирішального правила, яке по заданому вектору значень вхідних змінних x вказує до якого класу y належить відповідне спостереження i . Побудова такого правила еквівалентна розбиттю простору ознак на множину областей, що не перетинаються. Графічне відображення лінійної бінарної класифікації представлено на рис. 1.

Гіперплоскість рішення $w^T z = b$ ($w \neq 0, z \in \mathbb{R}, b \in \mathbb{R}$, індекс T означає транспонування) розділяє дані на два класи. Рішення про відповідність певного спостереження до певного класу приймається якщо відповідний спостереженню вектор значень вхідних змінних належить до певної області. Вирішальне правило, яке ще називають класифікатором, вказує до якої

області простору ознак належить вектор значень змінних x .

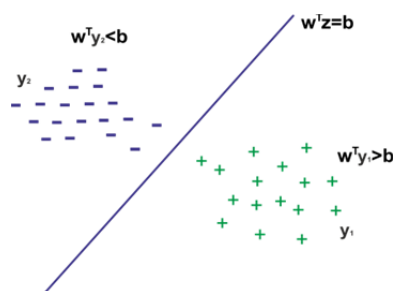


Рис. 1. Лінійна бінарна класифікація

Розрізнявальний та породжувальний підходи до класифікації даних. Фундаментальна відмінність між розрізняльними та породжувальними моделями полягає в наступному. Розрізняльні моделі вивчають межу між класами, а породжувальні моделі моделюють розподіл окремих класів. Візуальне представлення підходів продемонстровано на рис. 2.

Адаптуючи [11] до наших даних, різницю між цими підходами можна описати наступним чином. Вихідна змінна досліджуваних даних має два класи стану новонародженого: з патологією ($y_1 = 1$) та без досліджуваної патології ($y_2 = -1$) та вхідні змінні x — показники перебігу вагітності. Беручи до уваги модель, отриману за допомогою навчального набору даних, алгоритм намагається знайти границю рішення, яка відокремлює новонароджених с патологією та новонароджених без досліджуваної патології. Для того, щоб класифікувати нові дані перебігу вагітності для виявлення майбутнього стану новонародженого, алгоритм перевіряє до якої сторони рішення належить випадок, та пропонує прогнозування у відповідності до цього. Така стратегія застосовується при класифікації з використанням алгоритмів розрізняльного підходу.

Класифікація за допомогою алгоритмів породжувального підходу відбувається наступним чином. По-перше, маючи дані спостереження перебігу вагітності з наявністю патології у новонародженого, будується модель показників перебігу вагітності з патологією новонародженого. Потім, маючи дані спостереження перебігу вагітності без патології у новонародженого, можна побудувати окрему модель показників перебігу вагітності для новонародженого без патології. Для класифікації нового спостереження перебігу вагітності, необхідно зіставити нові показники перебігу вагітності з моделлю перебігу вагітності з патологією новонародженого, щоб побачити чи схожі нові показники на показники перебігу вагітності з патологією чи без патології, які використовувались в навчальному наборі.

Породжувальні класифікатори [11] моделюють спільний розподіл $p(x, y)$ вхідних змінних x і вихідних змінних y , факторизовані у вигляді $p(x | y)p(y)$ та вивчають параметри моделі шляхом максимізації ймовірності, що задана $p(x | y)p(y)$.

При побудованні моделі з використанням породжувального підходу алгоритм використовує приховані параметри, оцінюючи припущення і розподіл моделі. Ця інформація використовується для прогнозування невідомих даних, оскільки передбачається, що модель отримана за допомогою навчального набору реальних даних. Прикладом породжувальної моделі є байєсовський класифікатор.

Недоліком породжувального підходу є те, що розподіл навчального та тестового наборів може відрізнятися, що ставить під сумнів якість класифікації.

Розрізняльні класифікатори [15] моделюють умовний розподіл $p(x | y)$ класів вихідної змінної з урахуванням їх особливостей і вивчають параметри моделі шляхом максимізації умовної правдоподібності на підставі $p(x | y)$.

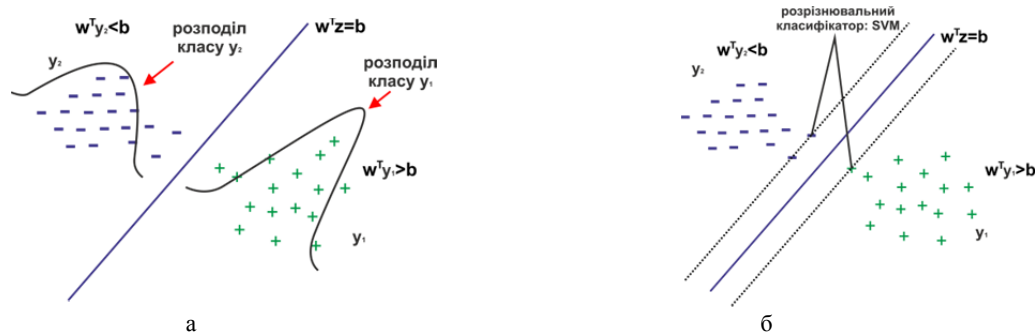


Рис. 2. Візуальне представлення: а – породжувального та б – розрізняльного підходів

Розрізнявальні класифікатори визначають параметр α дискримінантної функції $\lambda(a)$ через максимізацію умовної ймовірності $\hat{\alpha} = \arg \max_{\alpha} p(\underline{y}_{tr} | \underline{x}_{tr}, \alpha)$. Тобто, процедура оцінки мінімального емпіричного ризику може виступати як оцінка максимальної правдоподібності з функцією правдоподібності $p(\underline{y}_{tr} | \underline{x}_{tr}, \alpha)$. Відомо, що якщо використовується бінарна функція втрат, то коефіцієнт помилки класифікації є загальним ризиком.

Розрізнявальні моделі не пропонують чітких уявлень про зв'язки між особливостями і класами в наборі даних. Замість того, щоб використовувати ресурси для повного моделювання кожного класу, вони зосереджені на моделюванні кордону між класами. Прикладом розрізнявального класифікатора є SVM алгоритм, нейронні мережі, гаусові процеси та ін. Недоліком розрізнявального підходу є те, що розподіл даних при класифікації все ж таки необхідно брати до уваги.

Виходячи з вищевказаного, можна зробити висновок, що для класифікації досліджуваного набору даних, у відповідності до його характеристики, більш доцільним є використання алгоритмів породжувального або комбінованого підходів.

Мінімаксний підхід для класифікації даних. Lanckriet et al. [16] запропонували метод мінімізації максимальної ймовірності помилкової класифікації – Minimax Probability Machine (MPM).

Припустимо, що два випадкових n -мірних вектора y_1 і y_2 є два класи даних, що належать сімейству розподілів із заданими середніми і коваріаційними матрицями, що позначаються як $\{\bar{y}_1, \Sigma_{y_1}\}$, $\{\bar{y}_2, \Sigma_{y_2}\}$ відповідно до задачі класифікації по двом класам, де $y_1, y_2, \bar{y}_1, \bar{y}_2 \in \mathbb{R}^n$ та $\Sigma_{y_1}, \Sigma_{y_2} \in \mathbb{R}^{n \times n}$. Клас y_1 представляє переважаючий клас, а клас y_2 відповідно менш переважаючий клас.

З надійною оцінкою $\{\bar{y}_1, \Sigma_{y_1}\}$, $\{\bar{y}_2, \Sigma_{y_2}\}$ для двох класів даних, мінімаксний підхід намагається визначити гіперплоскість $w^T z = b$ ($w \neq 0, z \in \mathbb{R}, b \in \mathbb{R}$, індекс T означає транспонування), яка розділяє дані на два класи з максимальною ймовірністю.

Передбачається, що ця гіперплоскість рішення мінімізує найгіршу (максимальну) ймовірність помилкової класифікації або частоту помилок для класифікації майбутніх точок даних. Мінімаксна оптимізація класифікації полягає в приведенні задачі лінійної класифікації до проблеми опуклої оптимізації, а точніше до вигляду конічного програмування другого порядку (SOCP) з глобальним оптимальним рішенням. Для її вирішення використовується ітеративний підхід найменших квадратів. Припущення про розподіл призводить до оптимізації, в результаті якої

отримано рівняння Чернова. Таким чином, ми вирішуємо ту ж задачу оптимізації, але з монотонно зростаючою нижньою межею точності α . Тому гіперплоскість матиме вищу прогнозовану ймовірність правильної класифікації майбутніх даних.

Для більш ефективної роботи MPM також може бути розширений до вирішення нелінійної задачі з використанням параметричної редукції. Ефективність досягається шляхом препроцесорного кроку, в якому вхід алгоритму замінюється на менший вхід, що називається «ядром».

Класифікація з використанням мінімаксного підходу по даним перебігу вагітності для прогнозування виникнення патології у новонародженого включає вивчення всіх можливих варіантів значень показників. Проводиться оцінка кожного спостереження. Для того, щоб визначити, до якого класу приведе спостереження, необхідно зробити припущення, що для прогнозування стану новонародженого кожне подальше спостереження буде характеризувати перебіг вагітності з певним станом новонародженого найкращим чином. Алгоритм вибере найбільш характерні значення показників, що характеризують певний стан новонародженого, припустивши при цьому, що кожен наступний вибір буде відповідати найбільш характерним значенням показників і т.д.

Ефективність цього метода доведена в дослідженні [6] на синтетичних і реальних наборах даних.

При мінімаксному підході та при використанні більшості алгоритмів, модель показує прийнятні результати, коли кількість екземплярів кожного класу приблизно однаково. Коли число екземплярів одного класу набагато перевищує число екземплярів другого класу, виникають проблеми. Класифікація навчального набору з великим зсувом зазвичай видає моделі не схильні до перенавчання, які не можуть перелаштуватися до тестових даних і не в змозі врахувати їх важливі закономірності.

Проблемою використання мінімаксного підходу для незбалансованих даних є те, що в реальних випадках значення для двох класів не завжди одне і те ж саме, що означає, що нижня межа α для двох класів не обов'язково однакова. Ця проблема вирішується за допомогою різновиду мінімаксного підходу для класифікації зсунених даних, який називається Biased Minimax Probability Machine (BMPM) [17]. Метою застосування цього підходу є підвищення точності переважаючого класу, а не загальної точності, наскільки це можливо, при збереженні точності менш переважаючого класу на прийнятному рівні. На відміну від традиційних збалансованих (упереджених) методів навчання, BMPM може кількісно включати в себе упередженість для одного класу і, отже, підкреслювати більш значущі класи. Дослідження [5] показали перспективність цього методу в незбалансованому навчанні та медичній діагностиці. Він підходить для діагностики

патологій новонародженого, тому що класи досліджуваних даних незбалансовані, випадків новонароджених з патологією зазвичай набагато менше ніж новонароджених з відсутністю патології.

Проведення класифікації з використанням алгоритмів розрізняючого, породжувального та мінімаксного підходів. Для визначення найкращого підходу до класифікації реальних медичних даних, проведена класифікація за допомогою класифікатора породжувального підходу з використанням байєсового алгоритму, класифікація за допомогою розрізняючого підходу з використанням алгоритму SVM та класифікація з використанням ВМРМ.

В якості алгоритму класифікації об'єктів для розрізняючого підходу використано алгоритм SVM. Цей алгоритм підходить для вирішення завдань бінарної класифікації, працює з різними типами даних і, також, з відсутніми значеннями. В якості алгоритма породжувального підходу до класифікації об'єктів, використано байєсовий алгоритм. Для мінімаксного підходу використовується ВМРМ [17]

Нижче приведені результати оцінки ефективності обраних методів, що випробувались на реальних даних перебігу вагітності. В контексті діагностики захворювань [7] частку істинно позитивних спостережень зазвичай називається чутливістю, а частку істинно негативних спостережень називається специфічністю. Мета класифікації станів новонароджених по даним перебігу вагітності - максимально висока чутливість при прийнятному значенні специфічності. Нижче наведені експериментальні результати з використанням SVM, байєсового алгоритмів та ВМРМ. Дані розділені випадковим чином на навчальний набір, що містить 80% даних, та тестовий набір, що містить відповідно 20% даних. За допомогою навчальних наборів даних отримані моделі. Проведена за їх допомогою класифікація тестових наборів даних, та виконана оцінка ефективності класифікації тестового набору даних.

Для перевірки якості моделі, по-перше, визначена кількість помилок класифікації першого (позитивний результат прийнятий за негативний) і другого роду, коли в результаті класифікації негативний результат прийнятий за позитивний для тестових наборів даних для кожного підходу. Результат представлений в табл.2.

З табл.2 виходить, що байєсовський алгоритм та SVM при проведенні класифікації для тестового набору показали стовідсоткові помилки першого роду для досліджуваних даних. Алгоритм ВМРМ показав найбільшу помилку другого роду. По результатах цих показників важко зробити висновки про ефективність моделей, тому далі представлені визначені частки істинно позитивних та істинно негативних спостережень для досліджуваних моделей.

Таблиця 2

Помилки першого та другого роду для тестового набору даних для порівнюваних підходів.

Метод	Помилки першого роду		Помилки другого роду	
	кількість	%	кількість	%
SVM	15	100	1	4.34
Байєс	15	100	0	0
ВМРМ	12	80	3	14.29

Таблиця 3

Частка істинно позитивних та істинно негативних спостережень

Метод	Істинно позитивні спостереження		Істинно негативні спостереження	
	кількість	%	кількість	%
SVM	0	0	22	95.66
Байєс	0	0	23	100
ВМРМ	3	20	20	85.71

По показникам істинно позитивних та істинно негативних спостережень, представлених в табл. 2, найкращі результати якості побудованої моделі показав алгоритм ВМРМ.

Чутливість та специфічність побудованих моделей, визначена на підставі показників, представлених в табл.2, 3. Отримані результати наведені в табл. 4.

Таблиця 4

Результати показників ефективності моделей

Метод	Специфічність	Чутливість
SVM	0	0.59
Байєс	0	0.60
ВМРМ	0.2	0.62

Оцінка специфічності для тестового набору даних показує найкраще прогнозування для спостережень з наявністю патології у новонародженого при використанні моделі ВМРМ. Оцінка чутливості показує, що найкраще прогнозування для спостережень без патології у новонародженого дає модель ВМРМ.

Висновки. В роботі розглянуті підходи лінійної бінарної класифікації даних до прогнозування клінічних станів з урахуванням характеристик досліджуваних даних. В дослідженні використані алгоритми розрізняючого, породжувального та мінімаксного підходів для лінійної бінарної класифікації даних. Отримані результати оцінки ефективності тестування запропонованих моделей на реальних даних перебігу вагітності та стану новонародженого.

Отримані результати класифікації досліджуваних даних доводять наступне: 1) класифікація з використанням мінімаксного підходу є конкурентоздатнішою в порівнянні з існуючими розрізняючими та породжувальними підходами; 2) мінімаксний підхід показав найменшу помилку першого роду та другий результат по помилкам другого роду для тестового набору даних; 3)

найкращу якість класифікації тестового набору даних на підставі оцінок специфічності та чутливості дає мінімаксна модель для незбалансованих даних ВМРМ. Отримані результати оцінки якості та ефективності класифікації свідчать про перевагу мінімаксного підходу до класифікації з використанням алгоритму ВМРМ.

Визначені параметри досліджуваних даних, урахування яких визначає вибір кращого підходу до лінійної бінарної класифікації даних. Ці параметри включають такі показники: тип даних, кількість вхідних змінних, бінарність або мультикласовість вихідної змінної, об'єм досліджуваних даних, зсуненість, незбалансованість даних, відсутні значення.

Підтверджені теоретичні припущення щодо якості мінімаксного підходу – з урахуванням властивостей даних при виборі підходу до лінійної бінарної класифікації даних алгоритм ВМРМ демонструє перевагу щодо алгоритмів інших підходів.

Продемонстровано та деталізовано підходи до лінійної бінарної класифікації зсунених або незбалансованих наборів даних. Оцінка моделей визначена на тестовому наборі реальних даних перебігу вагітності по наступним критеріям: помилки першого та другого роду, частка істинно позитивних та істинно негативних спостережень, специфічність, чутливість. По цим критеріям найкращі показники в порівнянні з іншими методами, представниками яких обрані алгоритми SVM, байєсовський, ВМРМ. Найкращі результати якості та ефективності моделі показав метод з використанням алгоритма мінімаксного підходу для зсунених або незбалансованих даних - ВМРМ.

Урахування визначених в дослідженні властивостей даних дозволило обрати кращий підхід до лінійної бінарної класифікації при вирішенні конкретної прикладної задачі прогнозування стану новонародженого на підставі даних перебігу вагітності. Визначена краща стратегія при проведенні аналізу невеликих наборів з незбалансованими даними.

Література

1. Catani S., Colla V., Vannucci M. A method for resampling imbalanced datasets in binary classification tasks for real-world problems //Neurocomputing. – 2014. – Т. 135. – С. 32-41.
2. Li P., Chan K. L., Fang W. Hybrid kernel machine ensemble for imbalanced data sets //Pattern Recognition, 2006. ICPR 2006. 18th International Conference on. – IEEE, 2006. – Т. 1. – С. 1108-1111.
3. Yijing L. et al. Adapted ensemble classification algorithm based on multiple classifier system and feature selection for classifying multi-class imbalanced data //Knowledge-Based Systems. – 2016. – Т. 94. – С. 88-104.
4. Sanabila H. R., Kusuma I., Jatmiko W. Generative oversampling method (GenOMe) for imbalanced data on apnea detection using ECG data //Advanced Computer

- Science and Information Systems (ICACSIS), 2016 International Conference on. – IEEE, 2016. – С. 572-579.
5. Huang K. et al. Biased Minimax Probability Machine for Medical Diagnosis //ISAIM. – 2004.
6. Gu B., Sun X., Sheng V. S. Structural minimax probability machine, IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems. – 2017.
7. Huang K. Z., Yang H., Lyu M. R. Machine learning: modeling data locally and globally. – Springer Science & Business Media, 2008.
8. Huang K. Learning From Data locally and globally : дис. – Chinese University of Hong Kong, 2004.
9. Dang T. D., Nguyen H. N. Multi-class minimax probability machine //Knowledge and Systems Engineering, 2009. KSE'09. International Conference on. – IEEE, 2009. – С. 150-153.
10. Xue J. H., Titterton D. M. Comment on “On discriminative vs. generative classifiers: A comparison of logistic regression and naive Bayes”, Neural processing letters. – 2008. – Т. 28. – №. 3. – С. 169-187.
11. Andrew Ng CS229 Generative Learning algorithms, Part IV of Lecture notes, режим доступу: <http://cs229.stanford.edu/notes/cs229-notes2.pdf>,
12. Ng A. Y., Jordan M. I. On discriminative vs. generative classifiers: A comparison of logistic regression and naive bayes, Advances in neural information processing systems. – 2002. – С. 841-848.
13. Huang K. et al. Learning classifiers from imbalanced data based on biased minimax probability machine //Computer Vision and Pattern Recognition, 2004. CVPR 2004. Proceedings of the 2004 IEEE Computer Society Conference on. – IEEE, 2004. – Т. 2. – С. II-II.
14. Скарга-Бандурова І.С., Білобородова Т.О., Пошуковий аналіз даних для визначення релевантних факторів гіпоксичного ураження плода, Вісник НТУ "ХПІ". Збірник наукових праць. Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2016. – № 44 (1216). – 102-115 с.
15. Ng A. Y., Jordan M. I. On discriminative vs. generative classifiers: A comparison of logistic regression and naive bayes, Advances in neural information processing systems. – 2002. – С. 841-848.
16. Lanckriet G. et al. Minimax probability machine, Advances in neural information processing systems. – 2002. – С. 801-807.
17. Haiqin Yang, Kaizhu Huang, Irwin King, Michael R. Lyu and Laiwan Chan. Matlab Toolbox for Biased Minimax Probability Machine (BMPM-1.0), режим доступу: http://www.cse.cuhk.edu.hk/~miplab/memppm_toolbox/index.htm, 2004.

References

1. Catani S., Colla V., Vannucci M. A method for resampling imbalanced datasets in binary classification tasks for real-world problems //Neurocomputing. – 2014. – Т. 135. – С. 32-41.
2. Li P., Chan K. L., Fang W. Hybrid kernel machine ensemble for imbalanced data sets //Pattern Recognition, 2006. ICPR 2006. 18th International Conference on. – IEEE, 2006. – Т. 1. – С. 1108-1111.
3. Yijing L. et al. Adapted ensemble classification algorithm based on multiple classifier system and feature selection for classifying multi-class imbalanced data //Knowledge-Based Systems. – 2016. – Т. 94. – С. 88-104.
4. Sanabila H. R., Kusuma I., Jatmiko W. Generative oversampling method (GenOMe) for imbalanced data on apnea detection using ECG data //Advanced Computer

- Science and Information Systems (ICACSIS), 2016 International Conference on. – IEEE, 2016. – С. 572-579.
5. Huang K. et al. Biased Minimax Probability Machine for Medical Diagnosis //ISAIM. – 2004.
6. Gu B., Sun X., Sheng V. S. Structural minimax probability machine, IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems. – 2017.
7. Huang K. Z., Yang H., Lyu M. R. Machine learning: modeling data locally and globally. – Springer Science & Business Media, 2008.
8. Huang K. Learning From Data locally and globally : дис. – Chinese University of Hong Kong, 2004.
9. Dang T. D., Nguyen H. N. Multi-class minimax probability machine //Knowledge and Systems Engineering, 2009. KSE'09. International Conference on. – IEEE, 2009. – С. 150-153.
10. Xue J. H., Titterton D. M. Comment on “On discriminative vs. generative classifiers: A comparison of logistic regression and naive Bayes”, Neural processing letters. – 2008. – Т. 28. – №. 3. – С. 169-187.
11. Andrew Ng CS229 Generative Learning algorithms, Part IV of Lecture notes, режим доступу: <http://cs229.stanford.edu/notes/cs229-notes2.pdf>,
12. Ng A. Y., Jordan M. I. On discriminative vs. generative classifiers: A comparison of logistic regression and naive bayes, Advances in neural information processing systems. – 2002. – С. 841-848.
13. Huang K. et al. Learning classifiers from imbalanced data based on biased minimax probability machine //Computer Vision and Pattern Recognition, 2004. CVPR 2004. Proceedings of the 2004 IEEE Computer Society Conference on. – IEEE, 2004. – Т. 2. – С. II-II.
14. Skarga-Bandurova I.S., Biloborodova T.O., Poshukoviy analiz danyh dlya vyznachennya relevantnyh factoriv hipoxichnogo urajennya ploda, Visnyk NTU "HPI". Zbirnyk naukovykh prac. Seriya: Informatyka i modeluvannya. – Harkiv: NTU "HPI". – 2016. – № 44 (1216). – 102-115 p.
15. Ng A. Y., Jordan M. I. On discriminative vs. generative classifiers: A comparison of logistic regression and naive bayes, Advances in neural information processing systems. – 2002. – С. 841-848.
16. Lanckriet G. et al. Minimax probability machine, Advances in neural information processing systems. – 2002. – С. 801-807.
17. Haiqin Yang, Kaizhu Huang, Irwin King, Michael R. Lyu and Laiwan Chan. Matlab Toolbox for Biased Minimax Probability Machine (BMPM-1.0), available at: http://www.cse.cuhk.edu.hk/~miplab/memppm_toolbox/index.htm, 2004.

Белобородова Т.А., Скарга-Бандурова И.С.
Подходы к классификации несбалансированных и ассиметричных наборов данных

Рассмотрена проблема выбора подхода, алгоритма для бинарной классификации с учетом свойств входных данных. Проанализированы математические модели, выделены свойства каждого из подходов. Проведена классификация с использованием алгоритмов, представляющих каждый из подходов. Выполнена оценка качества и эффективности моделей с использованием таких показателей, как ошибки первого и второго рода, доля истинно положительных и истинно отрицательных наблюдений, чувствительность и специфичность полученных моделей для тестового набора данных. С помощью Biased Minimax Probability Machine (BMPM), получены характеристики классификации данных, учитывающих свойства данных. Подтверждено качество минимаксного подхода к классификации несбалансированных данных.

Ключевые слова: линейная бинарная классификация, дискриминантный, генеративный, минимаксный подходы, несбалансированные данные

Biloborodova T.O., Skarga-Bandurova I.S.
Approaches for Classification of Imbalanced and Skewed Datasets

The problem of choosing data classification approach taking into account data features is considered. Mathematical models are analyzed, the properties of each approach are highlighted. The estimation of quality and efficiency of models with different indicators as the type 1 and type 2 errors, a share of truly positive and truly negative observations, sensitivity and specificity of the received models for a test data set is carried out. With the Biased Minimax Probability Machine, the data classification characteristics factored in data properties are obtained. The quality of the minimax approach to the classification of unbalanced data has been confirmed.

Keywords: linear binary classification, generative and discriminative classifiers, minimax, biased data

Білобородова Т.О. – аспірант, старший викладач кафедри комп'ютерної інженерії Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, e-mail: beloborodova.t@gmail.com

Скарга-Бандурова І.С. – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри комп'ютерної інженерії Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, e-mail: skarga_bandurova@ukr.net

Рецензент: д.т.н., проф. **Смолій В.М.**

Стаття подана 01.09.2017

УДК: 004.9

ЗАСТОСУВАННЯ АЛГОРИТМУ ФОРДА-ФАЛКЕРСОНА ДЛЯ КАРТИ ДОРІГ МІСТА СЕВЕРОДОНЕЦЬК

Деркач М.В., Хишев В.О.

THE APPLICATION OF THE FORD-FALKERSON ALGORITHM FOR THE CITY MAP OF SEVERODONETSK

Derkach M., Hyshev V.

У статті розглянуто питання щодо визначення максимального потоку в транспортній мережі за допомогою алгоритму Форда-Фалкерсона на прикладі міста Северодонецька. Приведено безпосередньо сам алгоритм і його практичне застосування. Виконано пошук максимально можливої пропускної здатності транспортної мережі міста, який надає можливість прийняти оптимальне рішення відносно розташування інформаційних табло на зупинках, що в свою чергу дозволяє знизити фінансові затрати міста, за рахунок розміщення інформаційних табло на найбільш навантажених ділянках дороги.

Ключові слова: транспортні мережі, алгоритм, максимальний потік, граф

Вступ. В рамках концепції технології інтернету речей одним з найбільш перспективних напрямків є транспортна галузь, для дослідження якої досить часто застосовують графові моделі. Сучасна тенденція розвитку міст призводить до збільшення кількості транспортних засобів у мережах дорожнього руху. Внаслідок чого зростає потреба в організації раціонального підходу транспортних потоків. В зв'язку, з чим доцільно скористатися алгоритмом Форда-Фалкерсона, тому що даний алгоритм дозволяє визначити максимальний потік в транспортній мережі, розглядаючи карту доріг у вигляді графу.

Постановка проблеми. На практиці часто виникає проблема визначення максимального потоку деякої реальної мережі, в даному випадку транспортної мережі. Такого роду завдання вирішуються за допомогою алгоритмів, які працюють безпосередньо на мережах, їх суть зводиться до пошуку максимально можливої пропускної здатності мережі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Застосування алгоритму Форда-Фалкерсона в галузі транспортних мереж розглядалось в роботах Noraini Abdullah, Ting Kien Hua, Biyuan Yao, Jianhua Yin,

Hui Zhou, Wei Wu, Максимей И.В., Сукач Е.И., Гируц П.Л. [1,2,3] та інших вчених. Однак і сьогодні, під час дослідження максимального потоку мережі виникає багато запитань.

Мета статті. Завдяки алгоритму Форда-Фалкерсона виявити максимально можливу пропускну здатність транспортної мережі міста Северодонецьк.

Робота алгоритму полягає в знаходженні такої безлічі потоків по дугах, щоб величина $Q(v_s)$ була максимальною.

Розріз відокремлює v_s від v_t , якщо вершини v_s, v_t належать різним сторонам розрізу: $v_s \in V_s, v_t \in V_t, V = V_s \cup V_t$. Пропускною здатністю розрізу називається сума пропускних здатностей дуг розрізу, які починаються в V_s і закінчуються в V_t :

$$c(S) = \sum_{e_j \in (V_s \rightarrow V_t)} c_j \quad (1)$$

де $c(S)$ – пропускна здатність,

S – розріз.

Визначимо транспортну мережу міста Северодонецьк за допомогою орієнтованого зв'язного графу без петель і паралельних ребр.

Мережа, зображена на рис. 1, складається з 7 вузлів і 9 дуг. Будемо розглядати потік від v_1 до v_7 . Кожній дузі приписані два числа: перше - величина потоку по дузі, друге - пропускна здатність дуги. Величина цього потоку дорівнює 2. Дійсно,

$$\begin{aligned} Q(v_1) &= -1 - 2 = -3, \\ Q(v_2) &= -1 - 2 + 2 = -1, \\ Q(v_3) &= -2 + 1 = -1, \\ Q(v_4) &= -1 - 2 + 2 + 1 = 0, \\ Q(v_5) &= -2 + 2 + 2 = 2, \\ Q(v_6) &= 1 + 1 = 2, \\ Q(v_7) &= -1 + 2 = 1. \end{aligned} \quad (2)$$

де $Q(v_s)$ - чистий потік з вершини v_s відносно потоку φ .

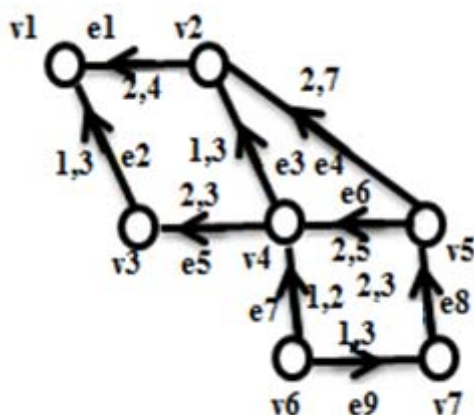


Рис. 1. Граф основної частини карти доріг міста Северодонецьк

Систему рівнянь (2) можна записати у векторному вигляді $B\Phi = l$:

$$B = \begin{pmatrix} -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & -1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \end{pmatrix} \quad \Phi = \begin{pmatrix} 2 \\ 1 \\ 1 \\ 2 \\ 2 \\ 2 \\ 1 \\ 2 \\ 1 \end{pmatrix} \quad l = \begin{pmatrix} -3 \\ -1 \\ -1 \\ 0 \\ 2 \\ 2 \\ 1 \\ 2 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

де B - матриця інцидентної розмірності $n \times m$, $\Phi = (\varphi(e_1) \dots \varphi(e_m))^T$, $l = (0..0w0..0 - w0..0)^T$.

Алгоритм Форда-Фалкерсона починає роботу з відомого допустимого потоку φ . Потім розрахунки розвиваються у вигляді послідовності «розстановки позначок», кожна з яких призводить до потоку з більшою величиною, або ж завершується висновком, що розглянутий потік максимальний. Внаслідок виконання цих операцій був отриманий максимальний потік (рис. 2), величина якого $Q(v_s) = 3$.

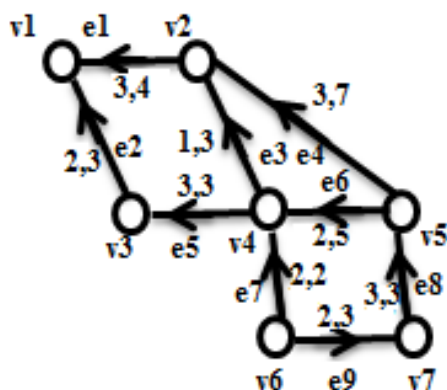


Рис. 2. Максимальний потік

Дуги (v_6, v_4) і (v_6, v_7) , (v_7, v_5) утворюють мінімальний розріз. Множина позначених вершин утворює ту його сторону, яка містить джерело: $V_s = \{v_6\}$. Непозначені вершини утворюють іншу сторону розрізу, який містить стік: $V_t = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5\}$. Побудований потік має вигляд $\varphi(e_9) = 2$, $\varphi(e_8) = 3$, $\varphi(e_4) = 3$, $\varphi(e_1) = 3$, $\varphi(e_2) = 2$, $\varphi(e_3) = 1$, $\varphi(e_5) = 3$, $\varphi(e_6) = 2$, $\varphi(e_7) = 2$.

Висновок. На сьогоднішній день у Северодонецьку реалізовано проект КП «Северодонецьке тролейбусне управління», технічне рішення та обслуговування вибрано з www.globalposition.org. Це безумовно видатний крок у розвитку Smart City. У стадії розробки знаходиться наступний крок, який передбачає виробництво інформаційних табло та розміщення їх на тролейбусних зупинках, відповідно до розглянутого в статті рішення. Дані для інформаційного табло заплановано брати за допомогою запитів до API завдяки бібліотеці Curl, що дозволить отримати доступ до сайту проекту.

Література

1. Максимей І.В. Определение интегрального максимального потока в региональной сети с помощью имитационного моделирования / И.В. Максимей, Е.И. Сукач, П.Л. Гируц // Математичні машини і системи. — 2008. — № 2. — С. 128 — 136.
2. Abdullah N. Using Ford-Fulkerson Algorithm and Max Flow-Min Cut Theorem to Minimize Traffic Congestion in Kota Kinabalu, Sabah / N. Abdullah, T. K. Hua // Journal of Information System and Technology Management (JISTM). — 2017. - № 2(4). - pp. 18-34.
3. Yao B. Path Optimization Algorithms Based on Graph Theory / B. Yao, J. Yin, H. Zhou, W. Wu // International Journal of Grid and Distributed Computing. — 2016. - Vol. 9, No. 6. - pp. 137-148.

References

1. Maksimej I.V. Opredelenie integral'nogo maksimal'nogo potoka v regional'noj seti s pomoshh'ju imitacionnogo modelirovaniya / I.V. Maksimej, E.I. Sukach, P.L. Giruc // Matematichni mashini i sistemi. - 2008. - № 2. - P. 128 — 136.
2. Abdullah N. Using Ford-Fulkerson Algorithm and Max Flow-Min Cut Theorem to Minimize Traffic Congestion in Kota Kinabalu, Sabah / N. Abdullah, T. K. Hua // Journal of Information System and Technology Management (JISTM). — 2017. - № 2(4). - pp. 18-34.
3. Yao B. Path Optimization Algorithms Based on Graph Theory / B. Yao, J. Yin, H. Zhou, W. Wu // International Journal of Grid and Distributed Computing. — 2016. - Vol. 9, No. 6. - pp. 137-148.

Деркач М.В., Хышев В.А. Применение алгоритма Форда-Фалкерсона для карты дорог города Северодонецк

В статье рассмотрены вопросы определения максимального потока в транспортной сети с помощью алгоритма Форда-Фалкерсона на примере города Северодонецка. Приведен непосредственно сам алгоритм и его практическое применение. Выполнен поиск

максимально возможной пропускной способности транспортной сети города, который предоставляет возможность принять оптимальное решение относительно расположения информационных табло на остановках, что в свою очередь позволяет снизить финансовые затраты города, за счет размещения информационных табло на наиболее загруженных участках дороги.

Ключевые слова: транспортные сети, алгоритм, максимальный поток, граф.

Derkach M., Hyshev V. The Application of the Ford-Falkerson Algorithm for the City Map of Severodonetsk

The article is devoted to the discussion of the Ford-Falkerson algorithm, which allows determination of the maximum flow in the transport network by the example of Severodonetsk. As for the practical application, the maximum possible capacity of the urban transport network is searched, a formal description of the problem is given, the main part of the road map is presented in the form of an oriented connected graph without loops and parallel edges, a system of equations and an incidence matrix in vector form are given. In addition

to the maximum flow, a minimum cut is determined. This is a preliminary stage, since the next step involves the placement of placards. Based on the results obtained, it is possible to adopt the optimal solution for the location of placards at city stops in the busiest parts of the road, which in turn allows reducing financial costs.

Keywords: transport networks, algorithm, maximum flow, graph.

Деркач М.В. – аспірант, асистент кафедри «Комп'ютерної інженерії» Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, e-mail: gln459@gmail.com

Хишев В.О. – студент, лаборант кафедри «Комп'ютерної інженерії» Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, e-mail: green.wrapper@gmail.com

Рецензент: к.т.н., доц. **Татарченко Г.О.**

Стаття подана 11.09.2017

УДК 378.4+004.89

УПРАВЛЕНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЕМ РОБОТА ПО ЗАДАННОМУ МАРШРУТУ В УСЛОВИЯХ ПОМЕХ НА ОСНОВЕ СИТУАЦИОННОГО МЕТОДА

Додонов В.А., Галич Г.Б.

THE CONTROLL OF THE ROBOT MOVEMENT ALONG A GIVEN ROUTE UNDER OBSTACLE BASED ON THE SITUATIONAL METHOD

Dodonov V.A., Galich G.B.

Рассматривается задача модификации модели ситуационного управления мобильными устройствами (колесные роботы), которые оснащены сенсорными системами, микропроцессором, системой беспроводной Wi-Fi связи и способны перемещаться к участку, ситуация на котором представляет интерес. Модификация метода «ситуация-действие» осуществлена путём введения в ситуационные правила локального контекста, обеспечивающего уникальность прототипов ситуаций правил, и событийного механизма обработки правил, что позволяет локализовать группы правил для обработки. Введение этих механизмов позволяет использовать традиционную модель ситуационного управления для реализации управления перемещением робота вдоль заранее заданной траектории в условиях непредвиденных помех.

Ключевые слова: колесный робот, интеллектуальные сенсоры, ситуационное управление, контекст, событийная модель.

Введение. Во многих сферах сегодня находят применение колесные роботы. Они выполняют функции, связанные с мониторингом экологических, техногенных, производственных ситуаций [1]. Системы мониторинга ситуаций на крупномасштабных объектах, организованные по принципу рассредоточенного мониторинга, включают локальные компоненты, которые реализованы на устройствах (роботах, дронах), перемещаемых в пространстве объекта мониторинга [2,3]. Такой робот оснащен несколькими сенсорными системами, микропроцессором и системой беспроводной, например Wi-Fi, связи [4]. Другая сфера применений роботов – современная бытовая техника, где приобретают популярность автоматические роботы - пылесосы, утюги, газонокосилки и другие [5]. Такие бытовые устройства автоматизируют работу при минимальном вмешательстве человека, при этом выполняют моющие и чистящие функции, которые используются в быту не хуже, а то и лучше,

человека. Эти устройства определяют и обходят препятствия, которые встречают на своем пути.

Анализ последних исследований и публикаций. Решаемая мобильным роботом задача – перемещение в пространстве объекта мониторинга по заданному маршруту, рассматривается во многих работах, например [6-10]. Для задач мониторинга пространство объекта, в котором перемещается робот, представляет либо помещение внутри здания, либо открытое пространство с известным планом. Поэтому, задача управления перемещением робота есть задача управления перемещением вдоль одного из множества маршрутов с обходом препятствий на основе анализа сенсорных данных. В работе [11] был приведен анализ методов управления, удовлетворяющих перечисленным выше условиям. Было показано, если движение по заранее заданной траектории возможно с использованием методов программного управления с прямыми и обратными связями [12,13], то для обхода препятствий используют эвристические алгоритмы [14] или методы искусственного интеллекта [15,16], в частности ситуационное управление [17-19]. При этом возникает сразу несколько проблем. Первая – интеграция метода программного управления с методами эвристического либо ситуационного управления. Так, если рассматривать наиболее благоприятный вариант - перемещение в помещении, то прерывистости в стенах, например дверные проёмы или препятствия в виде столов, стульев, отдельно стоящих колонн и так далее, приводят к сбоям при использовании метода программного управления с обратными связями [11]. Вторая проблема связана с тем, что масштабирование задач при использовании эвристических методов осуществляется путём использования библиотек и параметризованных программ управления обходом конкретных препятствий [4]. Но при этом, по-прежнему,

остається нерешеною задача управління перемещением вдоль заранее заданного маршрута при нарушениях признаков опорных точек маршрута. В [11] рассматривается подход, когда указанная проблема преодолевается с использованием модифицированного метода программного управления с обратными связями, дополненного системой адаптивного выбора вариантов. Несмотря на то, что этот метод обладает универсальностью, существуют приложения, где он неэффективен. Изменение параметров помехи требует дообучения системы управления с использованием метода проб и ошибок. В некоторых задачах мониторинга пробные поисковые перемещения нежелательны. Для этих приложений предпочтительно использовать подход обобщения и категоризации [20] для принятия управления в ситуации, не предвиденной заранее в правилах поведения. Подход обобщения и категоризации [20] базируется на методе ситуационного управления. В настоящей статье рассматривается возможность использования модели ситуационного управления перемещением робота по заранее заданной траектории.

Постановка задачи. Рассмотрим постановку задачи в виде, предложенном в [11]. Робота нужно проследовать по одному из множества возможных маршрутов, показанных на рис. 1. Пусть, это будет маршрут из точки А в точку Е. При движении по коридорам робот «ориентируется» с помощью разного рода сенсоров, в том числе и датчика расстояния до препятствия в том направлении (прямо, вправо, влево), в котором он повернут или лидара. Возможны нарушения идеальной картины, показанной на рис. 1.

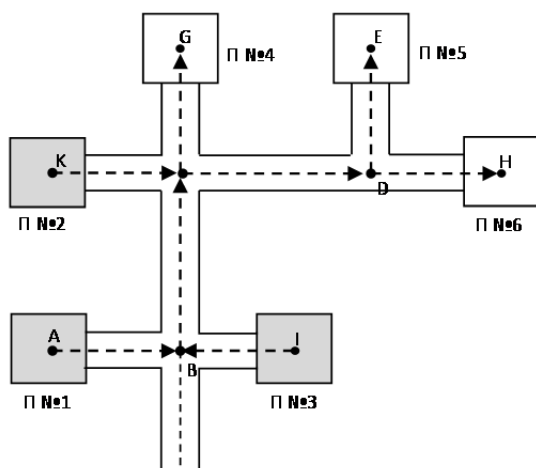


Рис. 1. Пример маршрутов

По ходу движения робота в стене появляется открытое пространство (открытая дверь) или при приближении робота, например к точке С из точки В, открытая дверь в помещении G приведет к тому, что сигнал от сенсора не будет соответствовать тому значению, которое установлено в управляющей программе, что приведет к сбоям в её работе. Если

на пути движения непредвиденно появится предмет, который робот в принципе может объехать и далее следовать маршруту, то классический метод программного управления не позволяет этого сделать. Задача ставится модифицировать метод ситуационного управления [17-19] таким образом, чтобы с его помощью можно было решить классическую задачу: управление перемещением робота по заданному маршруту в условиях помех (препятствий на маршруте).

Модифицированный метод ситуационного управления должен обеспечить перемещение робота вдоль заданной в пространстве траектории при условии, что на его пути могут появиться помехи, в том числе в маркировке маршрута.

Модифицированная модель ситуационного управления. Классическая модель ситуационного управления типа «ситуация-действие» [18], относится к системам управления, основанным на знаниях. Описание такой системы выполняется не в виде алгоритма, а в виде базы правил. Порции знаний, представленные отдельными правилами, являются независимыми и, поэтому, совокупность всех знаний рассматривается как множество неупорядоченных правил. Такая организация имеет преимущества. Например, управление перемещением робота (подвижной единицы, ПЕ) №1 представим знаниями в виде группы правил для штатных ситуаций при допущении, что возмущающие воздействия отсутствуют.

$$П_1: \text{ЕСЛИ } \{\mu(A_{ПЕ_1}) = 1, \mu(B_{ПЕ_1}) = 1, \mu(AB) = 0, \mu(\text{останов}_{ПЕ_1}) = 1\}$$

$$\text{ТО } \mu(\text{вперед}_{ПЕ_1}) = 1;$$

$$П_2: \text{ЕСЛИ } \{\mu(B_{ПЕ_1}) = 1\}$$

$$\text{ТО } \mu(\text{выкл_вперед}_{ПЕ_1}) = 1;$$

$$П_3: \text{ЕСЛИ } \{\mu(\text{останов}_{ПЕ_1}) = 1, \mu(B_{ПЕ_1}) = 1, \mu(B_{ПЕ_1}) = 1\}$$

$$\text{ТО } \mu(\text{влево}_{ПЕ_1}) = 1;$$

$$П_4: \text{ЕСЛИ } \{\mu(C_{ПЕ_1}) = 1, \mu(B_{ПЕ_1}) = 1, \mu(BC) = 0, \mu(\text{останов}_{ПЕ_1}) = 1\}$$

$$\text{ТО } \mu(\text{вперед}_{ПЕ_1}) = 1;$$

$$П_5: \text{ЕСЛИ } \{\mu(C_{ПЕ_1}) = 1\}$$

$$\text{ТО } \mu(\text{выкл_вперед}_{ПЕ_1}) = 1;$$

$$П_6: \text{ЕСЛИ } \{\mu(\text{останов}_{ПЕ_1}) = 1, \mu(C_{ПЕ_1}) = 1, \mu(CG) = 0, \mu(C_{ПЕ_1}) = 1\}$$

$$\text{ТО } \mu(\text{вперед}_{ПЕ_1}) = 1;$$

$$П_7: \text{ЕСЛИ } \{\mu(G_{ПЕ_1}) = 1\}$$

$$\text{ТО } \mu(\text{выкл_вперед}_{ПЕ_1}) = 1. \quad (1)$$

В правилах (1) приняты обозначения: $\mu(x) \in \{-1, +1\}$ – фактор уверенности [17] в том, что

признак x присутствует в текущей ситуации. Для рассматриваемого примера признак x в поле ЕСЛИ правил характеризует текущее положение ПЕ №1 $ПОЛ_{ПЕ1} = \{A_{ПЕ1}, B_{ПЕ1}, C_{ПЕ1}, D_{ПЕ1}, E_{ПЕ1}, H_{ПЕ1}, G_{ПЕ1}, I_{ПЕ1}, K_{ПЕ1}\}$, занятость фрагмента маршрута какой-либо ПЕ (участок между точками, например, А, В), $ЗАНЯТ = \{AB, IB, BC, KC, CD, DE, DH, CG\}$ и состояние ПЕ (движется или находится в покое на позиции) $ТОЧН_ОСТАНОВ = \{останов_{ПЕ1}, останов_{ПЕ2}, останов_{ПЕ3}\}$.

Таким образом, множество признаков для трёх ПЕ на маршрутах есть

$$E = \{ПОЛ_{ПЕ1}, ПОЛ_{ПЕ2}, ПОЛ_{ПЕ3}, НАПР_{ПЕ1}, НАПР_{ПЕ2}, НАПР_{ПЕ3}, ЗАНЯТ, ТОЧН_ОСТАНОВ\}. \quad (2)$$

В поле ТО правил (1) указывается управляющее воздействие. Множество управлений

$$E' = \{вправо_{ПЕ1}, влево_{ПЕ1}, вправо_{ПЕ2}, влево_{ПЕ2}, вправо_{ПЕ3}, влево_{ПЕ3}, вперед_{ПЕ1}, вперед_{ПЕ2}, вперед_{ПЕ3}, выкл_вперед_{ПЕ2}, выкл_вперед_{ПЕ3}, выкл_влево_{ПЕ1}, выкл_влево_{ПЕ2}, выкл_влево_{ПЕ3}, выкл_вправо_{ПЕ1}, выкл_вправо_{ПЕ2}, выкл_вправо_{ПЕ3}\}. \quad (3)$$

Теперь перейдем к идее метода *модифицированного ситуационного управления*.

Если вернуться к множеству правил (1), то оказывается, что эти правила не являются независимыми. Их можно рассматривать как последовательность правил, связанных некоторым смыслом: после активизации управления u_i правилом Π_i , если поддерживать активным это управление u_i до того момента, когда появится фрагмент ситуации и событие, модели которых записаны, например, в правиле Π_{i+1} , то это приведёт к активизации правила Π_{i+1} . Активизированное правило Π_{i+1} должно в поле ТО деактивировать прежнее управление u_i и активизировать новое управление u_{i+1} . Ниже приведено множество таких правил, в которых по сравнению с записью (1) в явном виде разделены динамические признаки, представляющие события $event(..)$, и статические признаки $feature(..)$.

$$\Pi_1: \text{ЕСЛИ } \{event(func_1), feature(l_1^1)\} \\ \text{ТО } \{ihibit(вперед_0), fire(вперед_1)\};$$

$$\begin{aligned} \Pi_2: & \text{ЕСЛИ } \{event(l_5^0), feature(func_1)\} \\ & \text{ТО } \{ihibit(вперед_1), fire(вперед_2)\}; \\ \Pi_3: & \text{ЕСЛИ } \{event(l_9^0), feature(func_1)\} \\ & \text{ТО } \{ihibit(вперед_2), fire(вперед_3)\}; \\ \Pi_4: & \text{ЕСЛИ } \{event(l_{249}^0), feature(func_1)\} \\ & \text{ТО } \{ihibit(вперед_3), fire(вперед_2)\}; \\ \Pi_5: & \text{ЕСЛИ } \{event(l_{251}^0), feature(func_1)\} \\ & \text{ТО } \{ihibit(вперед_2), fire(вперед_1)\}; \\ \Pi_6: & \text{ЕСЛИ } \{event(l_{256}^0), feature(func_1)\} \\ & \text{ТО } \{ihibit(вперед_1), fire(вперед_0)\}. \end{aligned}$$

(4)

В (4) в поле ТО в явном виде управляющие воздействия активизируются $fire(вперед_0)$ и деактивируются $ihibit(вперед_1)$. Этот момент принципиален, так как в отличие от модели «ситуация-действие», в модели (4) однажды указанное значение управляющего воздействия сохраняется до тех пор, пока не будет изменено явно каким-то активным правилом. Каждое правило активизируется не условием совпадения статического фрагмента ситуации с прототипом в поле ЕСЛИ правила, а событием, которое произошло и описано в качестве прототипа в поле ЕСЛИ правила, например, $event(l_{256}^0)$. Это устраняет проблему различимости правил. Теперь, поскольку правила активизируются не на каждом семпле времени, различимость должна выполняться не на множестве всех правил, а только на подмножестве тех, которые активизируются одним и тем же событием. Несмотря на эту модификацию, группа правил (4), по-прежнему остаётся неупорядоченным *множеством независимых правил* с точки зрения их обработки.

Чтобы преодолеть и эту проблему нужно в явном виде ввести связи между правилами. Это можно сделать путём введения специальных псевдо признаков. Обозначим их $cont_{ij}$. Первый индекс i указывает на правило, которое оказывает влияние, а второй индекс j – на правило, которое зависит от этого влияния. Активацию и деактивацию псевдо признака $cont_{ij}$ будет выполнять ситуационное правило, аналогично управляющим воздействиям. В поле ТО правил будем записывать $fire(cont_{ij})$, $ihibit(cont_{ij})$, соответственно. Представим множество правил (4) с учётом этой модификации.

$$\begin{aligned} \Pi_{1 \rightarrow i \rightarrow j}: \\ \Pi_{1 \rightarrow 0 \rightarrow 1}: & \text{ЕСЛИ } \{event(func_1), feature(l_1^1)\} \\ & \text{ТО } \{ihibit(вперед_0), fire(вперед_1), \\ & \quad fire(cont_{01})\}; \end{aligned}$$

$\Pi_{1 \rightarrow 2}$: ЕСЛИ $\{event(I_5^0), feature(cont_{01}),$
 $feature(func_1)\}$
 ТО $\{ihibit(внепѣд_1), ihibit(cont_{01}),$
 $fire(cont_{12}), fire(внепѣд_2)\};$
 $\Pi_{1 \rightarrow 3}$: ЕСЛИ $\{event(I_9^0), feature(cont_{12}),$
 $feature(func_1)\}$
 ТО $\{ihibit(внепѣд_2), ihibit(cont_{12}),$
 $fire(cont_{23}), fire(внепѣд_3)\};$
 $\Pi_{1 \rightarrow 4}$: ЕСЛИ $\{event(I_{249}^0), feature(cont_{23}),$
 $feature(func_1)\}$
 ТО $\{ihibit(внепѣд_3), ihibit(cont_{23}),$
 $fire(cont_{34}), fire(внепѣд_2)\};$
 $\Pi_{1 \rightarrow 5}$: ЕСЛИ $\{event(I_{253}^0), feature(cont_{34}),$
 $feature(func_1)\}$
 ТО $\{ihibit(внепѣд_2), ihibit(cont_{34}),$
 $fire(cont_{45}), fire(внепѣд_1)\};$
 $\Pi_{1 \rightarrow 6}$: ЕСЛИ $\{event(I_{256}^0), feature(cont_{45}),$
 $feature(func_1)\}$
 ТО $\{ihibit(внепѣд_1), ihibit(cont_{45}),$
 $fire(внепѣд_0)\}.$

База знаний (5), по-прежнему, – множество неупорядоченных правил. Однако, связи между правилами, заданные в явном виде, задают последовательность в их обработке. В обозначении номера правила первая цифра – идентификатор маршрута для нашей предметной области (маршрут №1 в (5), вторая цифра – порядковый номер правила в последовательности ситуаций, и третья цифра – правило, которое ожидает наступления следующей ситуации в заданной последовательности. Например, $1_3 \rightarrow 4$ обозначает, что на маршруте с номером 1 третья по порядку ситуация, которому поставлено в соответствие это правило, ожидает появления ситуации, для которой предназначено правило $\Pi_{1 \rightarrow 4 \rightarrow 5}$.

Модель ситуационного управления (5) отличается от модели «ситуация-действие» в следующем.

Во-первых, группа правил с точки зрения логики управления организована не в виде множества неупорядоченных правил, а в виде упорядоченной последовательности. Упорядоченность правил осуществляется с помощью подмножества псевдопризнаков, отражающего логику управления. Тем не менее, с точки зрения механизма обработки, группа правил рассматривается как неупорядоченное множество.

Во-вторых, благодаря введению в поля ЕСЛИ правил прототипов событий, на каждом сэмпле времени осуществляется локализация правил, которые попадают в обработку: событийная модель

обработки предполагает активизацию того правила и только тогда, когда происходит событие, указанное в правиле.

В-третьих, модель исполнительного механизма, реализующего управляющее воздействие, предполагает управление в явном виде с памятью: ранее выданное значение управляющего сигнала сохраняется и поддерживается ИМ столько времени, пока не поступит новое значение.

Синтез базы знаний ситуационного управления. Синтез ситуационного управления, как и традиционных систем управления, проводится в два этапа: структурный и параметрический. На этапе структурного синтеза базы знаний создается множество ситуационных правил типа (5), которое, включает два подмножества правил управления: в штатных и нештатных ситуациях.

Основные этапы структурного синтеза:

1) Определение множества признаков (контролируемых параметров) и множество управляющих воздействий;

2) Представление множества траекторий перемещения робота в предположении, что отсутствуют помехи (перемещение при отсутствии препятствий), последовательностями ситуаций, заданных на множестве признаков;

3) Формирование множества правил управления в штатных ситуациях: для каждой «штатной» ситуации формализуется правило;

4) Определение множества возмущений для каждой штатной ситуации, найденной на предыдущем этапе;

5) Формирование множества правил управления во внештатных ситуациях: для каждой «нештатной» ситуации формализуется правило.

Параметрический синтез базы знаний ситуационного управления предполагает задание конкретных прототипов ситуаций и управлений для каждого правила, то есть определение параметров признаков, входящих в прототип правила.

Рассмотрим пример структурного синтеза базы знаний системы ситуационного управления подвижными единицами (рис.1). Множество признаков **Е** приведено в (2). Множество управляющих воздействий в (3).

На втором этапе структурного синтеза необходимо получить для каждой траектории перемещения последовательность полных ситуаций. Для этого проведём структурно-временной анализ каждой траектории с целью определения точек в маршруте, для которых будем строить полные ситуации. Например, траектория ПЕ1 начинается из точки *A* (рис. 1) и проходит через точки *B, C, E*. Анализ перемещения вдоль этой траектории в идеальных (штатных) условиях даёт следующую последовательность таких точек:

1) ПЕ1 находится на маршруте в точке *A* в состоянии точного останова, указатель направления движения установлен на восток и на пути движения к цели нет других ПЕ;

2) ПЕ1 прибула в точку B остановилась и находится в состоянии точного останова, указатель направления движения, по-прежнему, установлен на восток и на пути движения к цели нет других ПЕ;

3) ПЕ1 находится в точке B в состоянии точного останова, указатель направления движения установлен на север и на пути движения к цели нет других ПЕ;

4) ПЕ1 находится в точке C в состоянии точного останова, указатель направления движения установлен на север и на пути движения к цели нет других ПЕ;

5) ПЕ1 находится в точке G в состоянии точного останова, указатель направления движения установлен на север;

Каждую из вышеприведенных ситуаций, представленных вербально, формализуем на множестве признаков (2).

$$S_1 = \{\mu(A_{\text{ПЕ}_1}) = 1, \mu(B_{\text{ПЕ}_1}) = 0, \mu(C_{\text{ПЕ}_1}) = 0, \\ \mu(D_{\text{ПЕ}_1}) = 0, \mu(E_{\text{ПЕ}_1}) = 0, \mu(H_{\text{ПЕ}_1}) = 0, \\ \mu(G_{\text{ПЕ}_1}) = 0, \mu(I_{\text{ПЕ}_1}) = 0, \mu(K_{\text{ПЕ}_1}) = 0, \\ \mu(\text{останов}_{\text{ПЕ}_1}) = 1, \mu(c_{\text{ПЕ}_1}) = 0, \\ \mu(\gamma_{\text{ПЕ}_1}) = 0, \mu(\epsilon_{\text{ПЕ}_1}) = 1, \mu(z_{\text{ПЕ}_1}) = 0, \\ \mu(AB) = 0, \mu(IB) = 0, \mu(BC) = 0, \\ \mu(KC) = 0, \mu(CD) = 0, \mu(DE) = 0, \\ \mu(DH) = 0, \mu(CG) = 0, \dots\};$$

$$S_2 = \{\mu(A_{\text{ПЕ}_1}) = 0, \mu(B_{\text{ПЕ}_1}) = 1, \mu(C_{\text{ПЕ}_1}) = 0, \\ \mu(D_{\text{ПЕ}_1}) = 0, \mu(E_{\text{ПЕ}_1}) = 0, \mu(H_{\text{ПЕ}_1}) = 0, \\ \mu(G_{\text{ПЕ}_1}) = 0, \mu(I_{\text{ПЕ}_1}) = 0, \mu(K_{\text{ПЕ}_1}) = 0, \\ \mu(\text{останов}_{\text{ПЕ}_1}) = 1, \mu(c_{\text{ПЕ}_1}) = 0, \mu(\gamma_{\text{ПЕ}_1}) = 0, \\ \mu(\epsilon_{\text{ПЕ}_1}) = 1, \mu(z_{\text{ПЕ}_1}) = 0, \mu(AB) = 0, \mu(IB) = 0, \\ \mu(BC) = 0, \mu(KC) = 0, \mu(CD) = 0, \\ \mu(DE) = 0, \mu(DH) = 0, \mu(CG) = 0, \dots\};$$

$$S_3 = \{\mu(A_{\text{ПЕ}_1}) = 0, \mu(B_{\text{ПЕ}_1}) = 1, \mu(C_{\text{ПЕ}_1}) = 0, \\ \mu(D_{\text{ПЕ}_1}) = 0, \mu(E_{\text{ПЕ}_1}) = 0, \mu(H_{\text{ПЕ}_1}) = 0, \\ \mu(G_{\text{ПЕ}_1}) = 0, \mu(I_{\text{ПЕ}_1}) = 0, \mu(K_{\text{ПЕ}_1}) = 0, \\ \mu(\text{останов}_{\text{ПЕ}_1}) = 1, \mu(c_{\text{ПЕ}_1}) = 1, \\ \mu(\gamma_{\text{ПЕ}_1}) = 0, \mu(\epsilon_{\text{ПЕ}_1}) = 0, \mu(z_{\text{ПЕ}_1}) = 0, \\ \mu(AB) = 0, \mu(IB) = 0, \mu(BC) = 0, \\ \mu(KC) = 0, \mu(CD) = 0, \mu(DE) = 0, \\ \mu(DH) = 0, \mu(CG) = 0\};$$

$$S_4 = \{\mu(A_{\text{ПЕ}_1}) = 0, \mu(B_{\text{ПЕ}_1}) = 0, \mu(C_{\text{ПЕ}_1}) = 1, \\ \mu(D_{\text{ПЕ}_1}) = 0, \mu(E_{\text{ПЕ}_1}) = 0, \mu(H_{\text{ПЕ}_1}) = 0, \\ \mu(G_{\text{ПЕ}_1}) = 0, \mu(I_{\text{ПЕ}_1}) = 0, \mu(K_{\text{ПЕ}_1}) = 0, \\ \mu(\text{останов}_{\text{ПЕ}_1}) = 1, \mu(c_{\text{ПЕ}_1}) = 1, \mu(\gamma_{\text{ПЕ}_1}) = 0, \\ \mu(\epsilon_{\text{ПЕ}_1}) = 0, \mu(z_{\text{ПЕ}_1}) = 0, \mu(AB) = 0, \\ \mu(IB) = 0, \mu(BC) = 0, \mu(KC) = 0, \\ \mu(CD) = 0, \mu(DE) = 0, \mu(DH) = 0, \\ \mu(CG) = 0\};$$

$$S_5 = \{\mu(A_{\text{ПЕ}_1}) = 0, \mu(B_{\text{ПЕ}_1}) = 0, \mu(C_{\text{ПЕ}_1}) = 0, \\ \mu(D_{\text{ПЕ}_1}) = 0, \mu(E_{\text{ПЕ}_1}) = 0, \mu(H_{\text{ПЕ}_1}) = 0, \\ \mu(G_{\text{ПЕ}_1}) = 1, \mu(I_{\text{ПЕ}_1}) = 0, \mu(K_{\text{ПЕ}_1}) = 0, \\ \mu(\text{останов}_{\text{ПЕ}_1}) = 1, \mu(c_{\text{ПЕ}_1}) = 1, \\ \mu(\gamma_{\text{ПЕ}_1}) = 0, \mu(\epsilon_{\text{ПЕ}_1}) = 0, \mu(z_{\text{ПЕ}_1}) = 0, \\ \mu(AB) = 0, \mu(IB) = 0, \mu(BC) = 0, \\ \mu(KC) = 0, \mu(CD) = 0, \mu(DE) = 0, \\ \mu(DH) = 0, \mu(CG) = 0\}; \quad (6)$$

Из (6) получим множество правил (1) путем попарного сопоставления ситуаций в соответствии с технологией синтеза.

На четвертом этапе структурного синтеза – определение множества возмущений для каждой штатной ситуации – для упрощения примем, что в качестве возмущений выступают, во-первых, другие подвижные единицы, функционирующие независимо друг от друга, и, во-вторых, сбои при выполнении команд поворота. Запишем фрагмент базы знаний уже готовых правил, которые устраняют и учитывают последствия возмущений.

$$\Pi_{11}: \text{ЕСЛИ } \{\mu(A_{\text{ПЕ}_1}) = 1, \mu(c_{\text{ПЕ}_1}) = 1, \\ \mu(\text{останов}_{\text{ПЕ}_1}) = 1\}$$

$$\text{ТО } \mu(\text{вправо}_{\text{ПЕ}_1}) = 1;$$

$$\Pi_{12}: \text{ЕСЛИ } \{\mu(A_{\text{ПЕ}_1}) = 1, \mu(\gamma_{\text{ПЕ}_1}) = 1, \\ \mu(\text{останов}_{\text{ПЕ}_1}) = 1\}$$

$$\text{ТО } \mu(\text{влево}_{\text{ПЕ}_1}) = 1;$$

$$\Pi_{13}: \text{ЕСЛИ } \{\mu(A_{\text{ПЕ}_1}) = 1, \mu(z_{\text{ПЕ}_1}) = 1, \\ \mu(\text{останов}_{\text{ПЕ}_1}) = 1\}$$

$$\text{ТО } \mu(\text{вправо}_{\text{ПЕ}_1}) = 1;$$

.....

$$\Pi_6^*: \text{ЕСЛИ } \{\mu(\text{останов}_{\text{ПЕ}_1}) = 1, \mu(C_{\text{ПЕ}_1}) = 1, \\ \mu(\epsilon_{\text{ПЕ}_1}) = 1, \mu(CG) = 1, \mu(CD) = 0\}$$

$$\text{ТО } \mu(\text{вперёд}_{\text{ПЕ}_1}) = 1;$$

$$\Pi_{61}: \text{ЕСЛИ } \{\mu(\text{останов}_{\text{ПЕ}_1}) = 1, \mu(CG) = 0, \\ \mu(C_{\text{ПЕ}_1}) = 1, \mu(\epsilon_{\text{ПЕ}_1}) = 1\}$$

$$\text{ТО } \mu(\text{влево}_{\text{ПЕ}_1}) = 1;$$

- Π_{62} : ЕСЛИ $\{\mu(\text{останов}_{\Pi_{E1}}) = 1, \mu(CG) = 0,$
 $\mu(C_{\Pi_{E1}}) = 1, \mu(z_{\Pi_{E1}}) = 1\}$
 ТО $\mu(\text{вправо}_{\Pi_{E1}}) = 1$;
 Π_{63} : ЕСЛИ $\{\mu(\text{останов}_{\Pi_{E1}}) = 1, \mu(CG) = 0,$
 $\mu(C_{\Pi_{E1}}) = 1, \mu(\gamma_{\Pi_{E1}}) = 1\}$
 ТО $\mu(\text{вправо}_{\Pi_{E1}}) = 1$;
 Π_{64} : ЕСЛИ $\{\mu(\text{останов}_{\Pi_{E1}}) = 1, \mu(CG) = 1,$
 $\mu(CD) = 0, \mu(C_{\Pi_{E1}}) = 1, \mu(\gamma_{\Pi_{E1}}) = 1\}$
 ТО $\mu(\text{влево}_{\Pi_{E1}}) = 1$;
 Π_{65} : ЕСЛИ $\{\mu(\text{останов}_{\Pi_{E1}}) = 1, \mu(CG) = 1,$
 $\mu(CD) = 0, \mu(C_{\Pi_{E1}}) = 1, \mu(c_{\Pi_{E1}}) = 1\}$
 ТО $\mu(\text{вправо}_{\Pi_{E1}}) = 1$;
 Π_{65} : ЕСЛИ $\{\mu(\text{останов}_{\Pi_{E1}}) = 1, \mu(CG) = 1,$
 $\mu(CD) = 0, \mu(C_{\Pi_{E1}}) = 1, \mu(z_{\Pi_{E1}}) = 1\}$
 ТО $\mu(\text{вправо}_{\Pi_{E1}}) = 1$; (7)

База правил (7) управления ПЕ1 во внештатных ситуациях при наличии помех дополняет базу правил (1) управления при отсутствии помех. Правило, например, Π_{ij} из базы (7) дополняет правило Π_i из базы (1) в случае появления помехи и предназначено для устранения j -го варианта проявления помехи. Правила в (7), помеченные звёздочкой, например, $\Pi_{ij}^*, j = 1, n$ повторно приведены из БЗ (1) для упрощения восприятия материала. Таким образом, полная база правил включает правила (1) и правила из (7). Всего 24 правила управления ПЕ1 в штатных и нештатных ситуациях. Например, в (7) правило Π_6^* учитывает помеху, влияющую на занятость участка пути CG , и оно устраняет влияние помехи путём выбора альтернативного маршрута из C в D , а затем в E (рис. 1). Для реализации этого решения в условиях помех, введены правила $\Pi_{64}, \Pi_{65}, \Pi_{66}^*$.

Заключение. Преимущества предложенной модели следующие. Кроме существенного уменьшения количества правил, прототипы правил содержат меньшее количество признаков, обладают однородностью представления. Это объясняется тем, что локальный контекст обеспечивает уникальность прототипов ситуаций правил внутри цепочки, поскольку выполняет роль уникального признака $feature(func_1)$. Событийный механизм локализует группы правил для обработки, что существенно сокращает вычислительные затраты. Кроме этого, событийный механизм значительно упрощает синтез базы знаний, поскольку задача анализа полного множества правил БЗ на непротиворечивость и динамическую полноту распадается на анализ отдельных множеств из небольшого количества правил.

Л и т е р а т у р а

1. Бакланов А.И. Системы наблюдения и мониторинга. М: Бином, – 2009. – 240 с.
2. Принципы построения автоматизированных систем оперативного контроля состояния потенциально опасных объектов / Макаров М.И., Королев А.Н., Павлов С.В. // Безопасность жизнедеятельности – 2004. – №12. – С.44-46.
3. Фролова М.В. Применение веб-технологий при разработке распределенных систем мониторинга // Известия ЮФУ. Технические науки – 2011. – №5. – С.24-31.
4. Канівець О.А. Інтелектуальна система контролю пожежонебезпечних ситуацій на основі мобільного роботу / О.А. Канівець, М.О. Лавров // Сучасні інформаційні технології та системи в управлінні: зб. матеріалів І Всеукр. наук.-практ. конф. молодих вчених, аспірантів і студентів; 6-7 квітня 2017 р. – Київ: КНЕУ, 2017. – С.83-85.
5. Галич Г.Б. Інтелектуальне керування з урахуванням актуальності сенсорної інформації на прикладі мобільного побутового роботу / Г.Б. Галич, А.С. Панченко // Сучасні інформаційні технології та системи в управлінні: зб. матеріалів І Всеукр. наук.-практ. конф. молодих вчених, аспірантів і студентів; 6-7 квітня 2017 р. – Київ: КНЕУ, 2017. – С.50-53.
6. Liu D. Design and control of intelligent robotic systems [Текст] / Dikai Liu, Lingfeng Wang, Kay Chen Tan et al. — 1st edition. — Berlin, [etc.]: Springer, 2009. — 480 p.
7. Градецкий В.Г. Управляемое движение мобильных роботов по произвольно ориентированным в пространстве поверхностям / В.Г. Градецкий, В.Б. Вешников, С.В. Калиниченко, Л.Н. Кравчук. – М.: Наука, – 2001. – 360 с
8. Mobile Robot Navigation [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.doc.ic.ac.uk/~nd/surprise_97/journal/vol4/jmd/
9. A. Spröwitz, A. Tuleu, M. Vespignani, M. Ajallooeian, E. Badri, A. J. Ijspeert (2013). "Towards dynamic trot gait locomotion: Design control and experiments with cheetah-cub a compliant quadruped robot". The International Journal of Robotics Research. 32: 932–950.
10. Н. Kimura, Y. Fukuoka, A. H. Cohen (2004). "Biologically inspired adaptive dynamic walking of a quadruped robot". Proceedings of the International Conference on the Simulation of Adaptive Behavior: 201–210.
11. Додонов В.А. Управление мобильным роботом в условиях неполной информации: интеграция методов программного управления и адаптивного выбора вариантов / В.А. Додонов // Проблемы информационных технологий. – 2017. – № 01 (021). – С.97-106.
12. Попов Е.П. Основы робототехники: Введение в специальность / Е.П. Попов, Г. В. Письменный. // М.: Высшая школа, 1990. – 224 с.
13. Дорф Р., Бишоп Р. Современные системы управления // Автоматизация. Теория автоматического управления (ТАУ). Пер. с англ. Б. И. Копылова. – М.: Лаборатория базовых знаний, 2002. – 832 с.
14. Юревич Е.И. Управление роботами и робототехническими системами СПб: СПбГТУ, 2000. — 171 с.
15. Timofeev A.V. Intelligent Control Applied to Non-Linear Systems and Neural Networks with Adaptive Architecture.

- Journal of Intelligent Control, Neurocomputing and Fuzzy Logic, 1996, v.1, № 1, pp.1-18.
16. Designed and fabricated Wheeled Robots. [Электронный ресурс] – Режим доступа https://books.google.com.ua/books?id=RTvADAAAQBAJ&pg=PA397&lpg=PA397&dq=designed+and+fabricated+Wheeled+Robots&source=bl&ots=QS3gWOWHxC&sig=r9uQUWnEgeUESEwF1DvMB4QTg3o&hl=ru&sa=X&ved=0ahUKEwiv_enJl57WAhUEYJoKHU07Ap4Q6AEIVzAL#v=onepage&q=designed%20and%20fabricate
 17. А.В. Тимофеев. Мультиагентное и интеллектуальное управление сложными робототехническими системами. / Юбилейный сборник “Теоретические основы и прикладные задачи интеллектуальных информационных технологий”, посвященный 275-летию РАН и 20-летию СПИИ РАН. - СПб., СПИИ РАН, 1999, с.71-81.
 18. Каргин А. А. Введение в интеллектуальные машины. Книга 1. Интеллектуальные регуляторы / А. А. Каргин. – Донецк: Норд-Пресс, ДонНУ, 2010. – 526 с.
 19. Каргин А. А. Ситуационная производственная система управления технологическими процессами в производстве нанесения гальванопокрытий (СПРУТ-1) / А. А. Каргин, Демин В.А. Новиков В.Б. // Приборы и системы управления, М.: Машиностроение, №3, 1991, С.6-8
 20. Каргин А. А. Нечёткие модели в задачах ситуационного управления / А. А. Каргин, Петренко Т.Г. // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. ХарДАЗТ, Харків, № 4, 2010 (Додаток), С.66-69.
 21. Каргин А.А. Управление «умной» машиной на основе модели категорийного представления ситуации: подход гранулярного компьютеринга / А.А. Каргин, Т.Г. Петренко. // Проблемы информационных технологий. – 2017. – №1 (021). – С.18-28.
- ### References
1. Baklanov A.I. Sistemy nabljudeniya i monitoringa. M: Binom, – 2009. – 240 p.
 2. Principy postroeniya avtomatizirovannykh sistem operativnogo kontrolja sostojaniya potencial'no opasnykh ob'ektov / Makarov M.I., Korolev A.N., Pavlov S.V. // Bezopasnost' zhiznedejatel'nosti – 2004. – №12. – p.44-46.
 3. Frolova M.V. Primenenie veb-tehnologij pri razrabotke raspredelennykh sistem monitoringa // Izvestija JuFU. Tehnicheskie nauki – 2011. – №5. – p.24-31.
 4. Kanivec O.A. Intelektual'na sistema kontrolju pozhezhonebezpechnih situacij na osnovi mobil'nogo robotu / O.A. Kanivec, M.O. Lavrov // Suchasni informacijni tehnologii ta sistemi v upravlinni: zb. materialiv I Vseukr. nauk.-prakt. konf. molodih vchenih, aspirantiv i studentiv; 6-7 kvitnja 2017 r. – Kiiv: KNEU, 2017. – p.83-85.
 5. Galich G.B. Intelektual'ne keruvannja z urahuvannjam aktual'nosti sensoroi informacii na prikladi mobil'nogo pobutovogo robotu / G.B. Galich, A.S. Panchenko // Suchasni informacijni tehnologii ta sistemi v upravlinni: zb. materialiv I Vseukr. nauk.-prakt. konf. molodih vchenih, aspirantiv i studentiv; 6-7 kvitnja 2017 r. – Kiiv: KNEU, 2017. – p.50-53.
 6. Liu D. Design and control of intelligent robotic systems [text] / Dikai Liu, Lingfeng Wang, Kay Chen Tan et al. — 1st edition. — Berlin, [etc.]: Springer, 2009. — 480 p.
 7. Gradeckij V.G. Upravljajemoe dvizhenie mobil'nyh robotov po proizvol'no orijentirovannyh v prostranstve poverhnostjam / V.G. Gradeckij, V.B. Veshnikov, S.V. Kalinichenko, L.N. Kravchuk. – M.: Nauka, – 2001. – 360 p.
 8. Mobile Robot Navigation – Available at: http://www.doc.ic.ac.uk/~nd/surprise_97/journal/vol4/jmd/
 9. A. Spröwitz, A. Tuleu, M. Vespignani, M. Ajallooeian, E. Badri, A. J. Ijspeert (2013). "Towards dynamic trot gait locomotion: Design control and experiments with cheetah-cub a compliant quadruped robot". The International Journal of Robotics Research. 32: 932–950.
 10. H. Kimura, Y. Fukuoka, A. H. Cohen (2004). "Biologically inspired adaptive dynamic walking of a quadruped robot". Proceedings of the International Conference on the Simulation of Adaptive Behavior: 201–210.
 11. Dodonov V.A. Upravlenie mobil'nym robotom v uslovijah nepolnoj informacii: integracija metodov programmnogo upravlenija i adaptivnogo vybora variantov / V.A. Dodonov // Problemy informacionnyh tehnologij. – 2017. – № 01 (021). – p.97-106.
 12. Popov E.P. Osnovy robototekhniki: Vvedenie v special'nost' / E.P. Popov, G. V. Pis'mennyj. // M.: Vysshaja shkola, 1990. – 224 p.
 13. Dorf R., Bishop R. Sovremennye sistemy upravlenija // Avtomatizacija. Teorija avtomaticheskogo upravlenija (TAU). Per. s angl. B. I. Kopylova. – M.: Laboratorija bazovyh znanij, 2002. – 832 p.
 14. Jurevich E.I. Upravlenie robotami i robototekhnicheskimi sistemami SPb: SPbGTU, 2000. — 171 p.
 15. Timofeev A.V. Intelligent Control Applied to Non-Linear Systems and Neural Networks with Adaptive Architecture. - Journal of Intelligent Control, Neurocomputing and Fuzzy Logic, 1996, v.1, № 1, pp.1-18.
 16. Designed and fabricated Wheeled Robots. – Available at: https://books.google.com.ua/books?id=RTvADAAAQBAJ&pg=PA397&lpg=PA397&dq=designed+and+fabricated+Wheeled+Robots&source=bl&ots=QS3gWOWHxC&sig=r9uQUWnEgeUESEwF1DvMB4QTg3o&hl=ru&sa=X&ved=0ahUKEwiv_enJl57WAhUEYJoKHU07Ap4Q6AEIVzAL#v=onepage&q=designed%20and%20fabricate
 17. А.В. Тимофеев. Мультиагентное и интеллектуальное управление сложными робототехническими системами. / Юбилейный сборник “Теоретические основы и прикладные задачи интеллектуальных информационных технологий”, посвященный 275-летию РАН и 20-летию СПИИ РАН. - СПб., СПИИ РАН, 1999, с.71-81.
 18. Каргин А. А. Введение в интеллектуальные машины. Книга 1. Интеллектуальные регуляторы / А. А. Каргин. – Донецк: Норд-Пресс, ДонНУ, 2010. – 526 с.
 19. Каргин А. А. Ситуационная производственная система управления технологическими процессами в производстве нанесения гальванопокрытий (СПРУТ-1) / А. А. Каргин, Демин В.А. Новиков В.Б. // Приборы и системы управления, М.: Машиностроение, №3, 1991, С.6-8
 20. Каргин А. А. Нечёткие модели в задачах ситуационного управления / А. А. Каргин, Петренко Т.Г. // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. ХарДАЗТ, Харків, № 4, 2010 (Додаток), С.66-69.
 21. Каргин А.А. Управление «умной» машиной на основе модели категорийного представления ситуации: подход гранулярного компьютеринга / А.А. Каргин, Т.Г. Петренко. // Проблемы информационных технологий. – 2017. – №1 (021). – С.18-28.

Додонов В.О., Галіч Г.Б. Управління переміщенням роботу по заданому маршруту в умовах перешкод на основі ситуаційного методу.

Розглядається задача модифікації моделі ситуаційного керування мобільними пристроями (колісні роботи), які оснащені сенсорними системами, мікропроцесором, системою бездротового Wi-Fi зв'язку і здатні переміщатися до ділянки, ситуація на якій становить інтерес. Модифікація методу «ситуація-дія» здійснена шляхом введення в ситуаційні правила локального контексту, що забезпечує унікальність прототипів ситуацій правил, і подієвого механізму обробки правил, що дозволяє локалізувати групи правил для обробки. Введення цих механізмів дозволяє використовувати традиційну модель ситуаційного управління для реалізації управління переміщенням робота уздовж заздалегідь заданій траєкторії в умовах непередбачених перешкод.

Ключові слова: колісний робот, інтелектуальні сенсори, ситуаційне управління, контекст, подієва модель.

Dodonov V.A., Galich G.B. The controll of the robot movement along a given route under obstacle based on the situational method.

The problem of the situational control model modification for mobile devices (wheeled robots) that are equipped with sensory systems, a microprocessor, a wireless Wi-Fi communication system and are able to move to a site where the situation is of interest is considered. The modification of the "situation-action" method is implemented by introducing into the situational rules a local context that ensures the uniqueness of the rules prototypes, and the event mechanism for processing rules, which allows you to localize rule groups for processing. The introduction of these mechanisms makes it possible to use the traditional situational control model to implement the control of the movement of a robot along a predetermined trajectory under unforeseen interference conditions.

Keywords: wheel robot, intelligent sensors, situational control, context, event model.

Додонов В.О. – науковий співробітник, Інститут проблем реєстрації інформації НАНУ, м. Київ, e-mail: v.a.dodonov14@gmail.com

Галіч Г.Б. – аспірант, Донецький національний університет ім. Василя Стуса, м. Вінниця, e-mail: v.a.dodonov14@gmail.com

Рецензент: д.т.н., проф. **Горбунов М.І.**

Стаття подана 28.09.2017

УДК 004.3

МОДЕЛЮВАННЯ НЕСПРАВНОСТЕЙ В ЦИФРОВИХ ПРИСТРОЯХ**Кардашук В. С.****MODELING OF MALFUNCTIONS IN DIGITAL DEVICES****Kardashuk V. S.**

В статті запропоновано алгоритм роботи кубічного покриття для отримання тестового набору двійкового коду та моделювання несправностей цифрових пристроїв. На прикладі роботи комутатора показана робота алгоритму та моделювання несправності. Запропонований алгоритм може бути використаний для налаштування цифрових блоків в умовах виробництва.

Ключові слова: діагностика, цифрова схема, моделювання, несправність, алгоритм, кубічне покриття, тестовий набір.

Вступ. У задачах діагностики логічне моделювання застосовують в основному для вирішення двох класів завдань: обчислення реакцій схеми на входні дії в справному стані і обчислення реакцій схеми при наявності в схемі певних несправностей. Процедури реалізації справного моделювання можна класифікувати за програмними цілями і способам реалізації процедур моделювання.

Постановка проблеми. Як зазначено в [1], одним із способів подання примітивного елементу (ПЕ) в інтерпретативних системах моделювання є кубічні покриття (КП), що представляють собою мінімізовані таблиці істинності в алфавіті $\{0,1,X\}$. Процедури моделювання ПЕ з використанням моделей у вигляді КП прийнято називати кубічним моделюванням. Актуальність проблеми полягає в тому, що інколи цифрові схеми містять у своєму складі багатоступінчасті структури та мають зворотні зв'язки, які в свою чергу ускладнюють процес отримання тестового покриття для моделювання несправності ПЕ.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. За способом обліку затримок в моделях ПЕ процедури моделювання діляться на синхронні (без урахування затримок) і асинхронні (враховують затримки в моделях ПЕ).

За способом обліку перехідних процесів процедури моделювання діляться на виконавчі і багатозначні. Багатозначні методи моделювання дозволяють у процедурах синхронного моделювання вплив перехідних процесів в схемах

на результат моделювання. Серед процедур багатозначного моделювання особливо виділяють потрібне моделювання в алфавіті $\{0,1,X\}$, яке, зберігаючи достатню швидкість, дозволяє проводити аналіз перехідних процесів в цифрових схемах.

У діагностичних завданнях переважно застосовуються процедури зворотної імплікації і аналогічні їм по обчислювальній складності. З [1] відомо, що обчислювальна складність процедур зворотної імплікації в середньому в 50-100 разів вище, ніж для задач прямої імплікації. У зв'язку з цим в діагностичних завданнях застосовуються переважно процедури синхронного моделювання (синхронні моделі, де час затримки дорівнює 0). Але, разом з тим, певний інтерес представляє розгляд процедур асинхронного інтерпретативного моделювання.

Мета статті. Дослідити процедуру кубічного моделювання та запропонувати алгоритм, який би враховував багатоступінчатість та зворотність зв'язків цифрової схеми.

Результати досліджень. В літературі [2] представлено опис принципів побудови систем компілятивного асинхронного двійкового моделювання. Прикладом такої системи є підсистема моделювання в САПР Active_HDL. В документації до цієї системи є досить докладний опис так званого "умовного асинхронного подієвого моделювання". Стосовно інтерпретативних симуляторів асинхронне моделювання має ряд особливостей. У інтерпретативних системах моделювання мікротакт визначається мінімальною затримкою одного з примітивних елементів схеми. Всі інші затримки визначаються кратними мінімальній. Час моделювання одного набору схеми є тактом. Такт дорівнює кількості мікротактів на шляху схеми максимальної довжини (рис. 1).

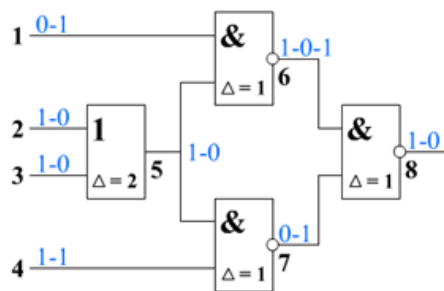


Рис. 1. Моделювання цифрової комбінаційної схеми в режимі двійкового асинхронного моделювання

У розглянутому вище прикладі такт роботи схеми дорівнює чотирьом мікротактам, тому що сума дельта-затримок $T = \Delta 2 + \Delta 1 + \Delta 1 = \Delta 4$. Внаслідок чого, можлива зміна вихідного вектора, викликана зміною вхідного, матиме місце лише після закінчення 4 мікротакту. Отже, 1-4 набори представляють собою моделювання 1 такту, 5-8 набори - 2 такту. Вхідний вектор для 2 такту подається після закінчення перших 4 мікротактів.

У інтерпретативних системах моделювання примітивні елементи (ПЕ) структурно-функціональної моделі можуть представлятися в табличному вигляді в формі мінімізованих таблиць істинності, які прийнято називати кубічними покриттями (КП, англ. Cover - покривати) [3].

Для комбінаційних схем алфавіт уявлення КП $A1 = \{0, 1, X\}$, де $X = (0, 1)$. Кубічне покриття в алфавіті $A1$ для схем, що мають один вихід умовно можна розділити на дві частини і позначити: C^0 - куби, які мають символ 0 на вихідній координаті; C^1 - куби, які мають символ 1 на вихідній координаті.

Одним з основних властивостей КП є правило $C^0 \cap C^1 = \emptyset$ [4].

Якщо вказане правило не дотримується, то КП побудовано невірно. У будь-якому КП кожен з 2^n вхідних наборів T_i "належить" одному з кубів покриття ($T_i \in C^0$ або $T_i \in C^1$). Звідси термін "кубічне покриття" - його куби "покривають" всі 2^n вхідних двійкових наборів.

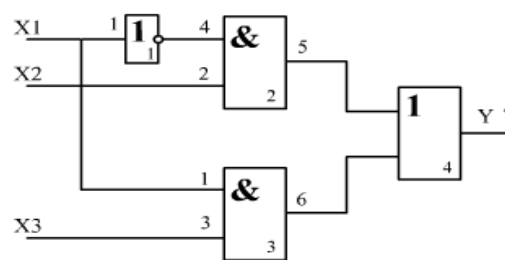
Як приклад, розглянемо комбінаційну схему комутатора 2 в 1 з керуючим входом $X1$ (рис. 1).

Рівняння даної схеми має вигляд: $Y = /X1X2 \vee X1X3$. Нижче наведена схемна реалізація даного комутатора, його таблиця істинності і один з можливих варіантів кубічного покриття. На прикладі продемонстровано реалізація умови: $C^0 \cap C^1 = \emptyset$.

Механізм кубічного моделювання полягає у визначенні приналежності вхідного набору, що моделюється, відповідним кубів покриттів C^0 або C^1 . Умову приналежності вхідного набору T одному з кубів покриття можна сформулювати наступним чином:

$$T \cap C^{0,1} = T, \quad (1)$$

де $\cap$ - кубічна операція перетину.



	x2 x3	00	01	11	10
x1	0	0	0	1	1
	1	0	1	1	0

$$C^1 = \left\{ \begin{matrix} 01x \\ 1x1 \end{matrix} \right\} \quad C^0 = \left\{ \begin{matrix} 00x \\ 1x0 \end{matrix} \right\}$$

Рис. 2. Дослідження роботи комутатора з використанням кубічного покриття

Кубічна операція перетину є покоординатною і правила її виконання в кожному розряді наведені в таблиці.

Таблиця

Кубічна операція перетину

$\cap$	0	1	X
0	0	$\emptyset$	0
1	$\emptyset$	1	1
X	0	1	X

Якщо результат перетину хоча б в одному розряді дорівнює "порожньо", результат перетину двох кубів вважається рівним "порожньо".

Таким чином, якщо $T \in C^0$, вихід елемента дорівнює 0, якщо $T \in C^1$, вихід елемента дорівнює 1. Якщо правило приналежності не виконується для всіх кубів покриття, то вихід елемента дорівнює X .

Проведемо дослідження виконання кубічного моделювання для пошуку несправності на прикладі комутатора (див. рис. 2). Результати моделювання, з отриманим тестовим діагностичним набором вхідних кодів, наведені на рис. 3.

На основі проведеного дослідження з застосуванням кубічного моделювання можна запропонувати алгоритм роботи, що складається з наступних етапів:

1. Побудова структурно-функціональної моделі шляхом ранжирування ліній схеми і нумерації ПЕ схеми.

2. Вибір чергового по порядку ПЕ і аналіз наявності подій на його входах. Якщо подій немає, то переходимо до моделювання наступного елемента.

3. Виконується перетин вхідного набору ПЕ з кубами його покриття за правилами (див. табл. 1). Якщо результат перехрещення не дорівнює "порожньо" і вхідний куб поглинається відповідним

кубом покриття, то на вихід елемента записується значення (0 або 1) виходу відповідного куба покриття.

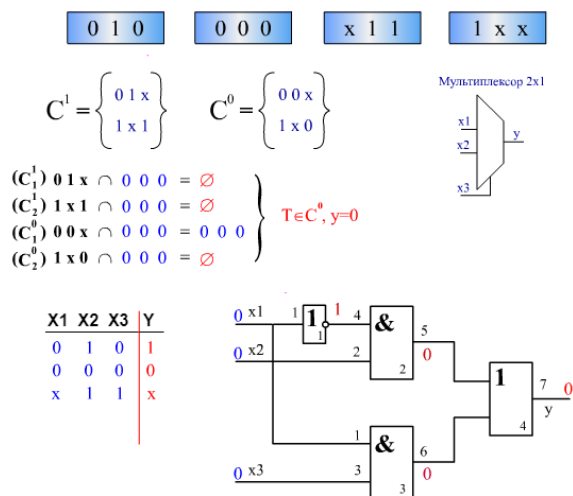


Рис.3. Діагностичний набір вхідних кодів для комутатора

4. Якщо правило поглинання не виконується для всіх кубів покриття, то на вихід елемента записується X .

5. Пункти 2-4 повторюються до тих пір, поки не будуть промодельовані всі ПЕ схеми.

6. Для комбінаційної схеми для моделювання одного набору необхідна одна ітерація. Для послідовної схеми (ПС) необхідно повторити моделювання цього ж набору і порівняти результати моделювання двох ітерацій. Якщо результати співпали, то моделювання даного набору закінчено, якщо ні, то моделювання повторюється знову до тих пір, поки моделювання не співпаде або число ітерацій не перевищить заздалегідь обумовлену величину.

Висновок. Запропонований алгоритм роботи знаходження кубічного покриття цифрових схем може бути використаний для моделювання несправностей в інтерпретативних асинхронних системах та полегшить процес налаштування блоків цифрових пристроїв в умовах виробництва.

Література

1. Скобцов В.Ю. Логическое моделирование и тестирование цифровых устройств / В.Ю. Скобцов., Ю.А. Скобцов. – Донецк: ИПММ НАНУ, ДонНТУ, – 2005. – 436с.

2. Шалагинов А. Изучаем Active HDL. Интернет-ресурс. Режим доступа http://kit-e.ru/articles/circuit/2009_12_134.php
3. Хаханов В.И. Проектирование и тестирование цифровых систем на кристаллах / Хаханов В.И., Литвинова Е.И., Гузь О.А. – Харьков: ХНУРЭ. – 2009. – 484 с.
4. Хаханов В.И. Проектирование и верификация цифровых систем на кристаллах / Хаханов В.И., Хаханова И.В., Литвинова Е.И. и др. – Харьков: ХНУРЭ. – 2010. – 528 с.

References

1. Skobtsov V.Y. Logic Modeling and Testing of Digital Devices / V.Y. Skobtsov., Y.A. Skobtsov. – Donetsk: IAMM NASU, DonNTU, – 2005. – 436 p.
2. Shalaginov A. We study Active HDL. Internet resource. Available at: http://kit-e.ru/articles/circuit/2009_12_134.php
3. Khakanov V.I. Designing and testing of digital systems on crystals / Khakanov V.I., Litvinova E.I., Guz O.A. – Kharkov: KNURE. – 2009 – 484 pp.
4. Khakanov V.I. Designing and Verifying Digital Systems on Crystals / Khakanov V.I., Hahanova I.V, Litvinova E.I. and others – Kharkov: KNURE. – 2010 – 528 pp.

Кардашук В.С. Моделирование неисправностей в цифровых устройствах.

В статье предложен алгоритм работы кубического покрытия для получения тестового набора двоичного кода и моделирования неисправностей цифровых устройств. На примере работы коммутатора показана работа алгоритма и моделирование неисправности. Предложенный алгоритм может быть использован для настройки цифровых блоков в условиях производства.

Ключевые слова: диагностика, цифровая схема, моделирование, неисправность, алгоритм, кубическое покрытие, тестовый набор.

Kardashuk V.S. Modeling of malfunctions in digital devices.

In the article an algorithm of cubic cover work is proposed for obtaining a test set of binary code and simulation of digital devices malfunctions. The operation of the switch illustrates the operation of the algorithm and simulation of the malfunction. The proposed algorithm can be used to configure the digital blocks under production conditions.

Keywords: diagnostics, digital scheme, modeling, malfunction, algorithm, cubic cover, test set.

Кардашук В.С. – к.т.н, доцент кафедры комп'ютерної інженерії Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, e-mail: karfashuk1@gmail.com

Рецензент: д.т.н, проф. **Татарченко Г.О.**

УДК 623618: 77 058

МЕТОД И ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ЦИФРОВЫХ ТЕКСТУРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В СИСТЕМАХ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Коваленко Т. В.

METHOD AND INFORMATION TECHNOLOGY FOR PROCESSING DIGITAL TEXTURES IN AEROSPACE MONITORING SYSTEMS

Kovalenko T.

Статья посвящена разработке метода и информационной технологии сегментации текстурных областей изображений, близких по цвету и структуре, которые представляют собой совокупность операций по обработке цифрового статического изображения, полученного в результате аэрофотосъемки. Входными параметрами являются аэрофотоснимок, априорные сведения об областях, которые требуется сегментировать, и метеорологические и навигационно-технические условия аэрофотосъемки. Выходными параметрами являются изображения с локализованными информативными областями.

Ключевые слова: изображение, текстура, пиксель, аэрофотоизображение, цифровая матрица, модели текстур, информационная система, метод, сегментация, цифровая коррекция изображения

Введение. В настоящее время при изучении природно-территориальных комплексов широко применяется воздушный мониторинг, выполняемый по аэрокосмическим снимкам. Современный термин «мониторинг» обозначает систематическое наблюдение, анализ и оценку состояния окружающей среды, её изменение в ходе естественной эволюции и хозяйственной деятельности человека, а также прогнозирование этих изменений для целей управления и контроля. Автоматизированная обработка изображений земной поверхности позволяет эффективно решать научные и прикладные задачи в области картографии, исследования природной среды, океанологии, поиска и освоения полезных ископаемых, сельского и лесного хозяйства и многих других областях. Исходя из изложенного выше, задача оперативной обработки и оперативного анализа данных воздушного мониторинга, является актуальной.

Постановка задачи исследования. Под цифровым аэрофотоизображением будем понимать двумерное цифровое фотографическое изображение, отображающее данные, необходимые пользователю. Цифровые аэрофотоизображения формируются при регистрации сканирующими системами с аэроносителей [1].

Для каждой единицы площади аналогового изображения рассчитывается средняя плотность затенения и ставится соответствующее этой плотности числовое значение. Результатом такой операции является цифровая матрица. Далее цифровая матрица на дисплее преобразуется в видимые элементы изображения – пиксели. Таким образом, видимое изображение складывается из отдельных пикселей, окрашенных в тона шкалы цвета в соответствии с приданными им числовыми значениями.

Пиксель цифрового изображения является оптически однородным и внутри его отдельные элементы не выделяются. Геометрические размеры цифрового изображения ограничены характеристиками формирующей системы и параметрами фоторегистрирующей [2]. Анализ литературы [1-4] показал, что, с точки зрения математического представления, цифровое изображение – это двумерная функция $f(x, y)$, где x и y – пространственные координаты, а f – яркость для каждой пары координат (x, y) , которая также называется интенсивностью или цветом изображения в точке с этими координатами.

Цифровое изображение $f(x, y)$ может быть представлено в виде матрицы размерами $M \times N$. Значения (x, y) являются дискретными величинами. Для удобства и ясности значения координат принимаются целочисленными. За начало

координат принимается верхний левый угол изображения, координатами которого служит пара $(x, y) = (0, 0)$. Следующая точка в первой строке изображения имеет координаты $(x, y) = (0, 1)$, причем $x \in [0, N - 1]$, $y \in [0, M - 1]$, как показано на рис.1.

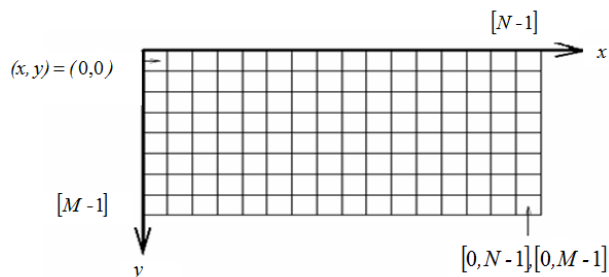


Рис.1. Представление аэрофотоизображений в системе координат

Разработка структуры комплекса программно-технических средств обработки изображений в системах воздушного мониторинга. Рассмотрим основные информационные ограничения рассматриваемой системы:

- входными данными являются аэрофотоснимок, априорные сведения об областях, которые требуется сегментировать, и метеорологические и навигационно-технические условия аэрофотосъемки;

- выходными параметрами являются изображения с локализованными информативными областями.

Предполагается, что система, в которой обрабатываются аэрофотоснимки, полученные в результате мониторинга поверхности Земли, может быть представлена тремя подсистемами:

- подсистема предварительной обработки изображения;
- подсистема настройки и корректировки параметров информационного комплекса;
- подсистема окончательной обработки изображения.

Выделим основные составляющие процесса обработки изображений [5]. На предварительном этапе оператор анализирует навигационно-технические и метеорологические условия съемки и выбирает алгоритмы для предобработки изображения. Входное изображение (аэрофотоснимок) поступает в систему предобработки изображений. Подсистема предобработки изображения предназначена для реализации алгоритмов повышения качества входного изображения. Она включает в себя программные модули фильтрации изображения с помощью заданных масок медианной фильтрации, усредняющего фильтра, регулирования интенсивности и других параметров изображения [6]. Параллельно процессу предобработки

параметры условий съемки вводятся в подсистему настройки параметров. Этапы технологии сегментации изображений в системе воздушного мониторинга представлены на рис.2.

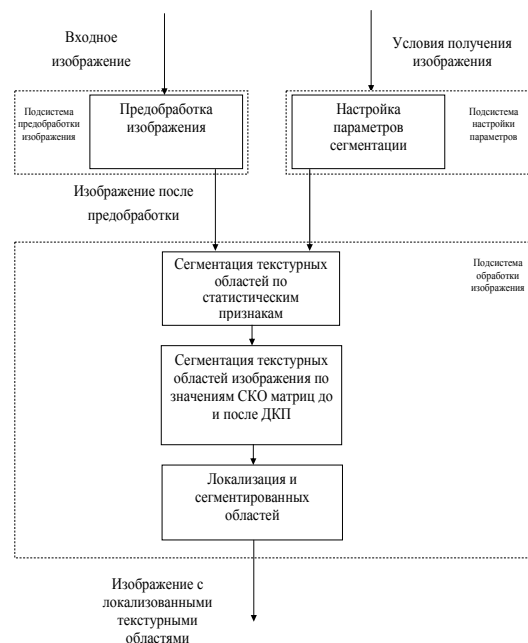


Рис.2. Технология сегментации изображений в системе воздушного мониторинга

В подсистеме настройки параметров формируется набор признаков информативных областей с учетом заданных классов и условий съемки. В базе данных настройки параметров содержатся эталонные описания классов текстур (в виде векторных наборов признаков). Подсистема настройки параметров выполняет обработку и анализ изображения с целью получения вектора признаков с учетом условий получения изображения и условий съемки. В результате комплексной обработки формируется изображение с локализованными (выделенными маркированными линиями) информативными областями. Для дальнейшего анализа характеристик изображений используется комплекс операций, призванных улучшить восприятие изображения наблюдателем или же (если возникает такая задача) преобразовать его в другое изображение, более удобное для машинной обработки [7].

Подсистема предварительной обработки представлена на рис. 3. На первом этапе изображение проверяется на соответствие перечисленным ниже требованиям. Аэрофотоизображения одного и того же объекта местности могут отличаться по таким критериям как условия съемки, освещенность, шум и т.д. В случае если на вход системы обработки поступают изображения, не удовлетворяющие требованиям, результат работы алгоритмов может быть некорректен.



Рис. 3. Подсистема предобработки изображения

Рассмотрим наиболее существенные факторы полета объекта, осуществляющего аэрофотосъемку, влияющие на качество получаемого снимка.

- Высота аэросъемки. От высоты зависит пространственное разрешение снимка. Чем она больше, тем разрешение меньше, что затрудняет распознавание.

- Влияние атмосферы. При аэросъемке с больших высот оптическое излучение, несущее информацию об объектах разведки, проходит через атмосферу. Чем меньше размеры объектов, тем в большей степени атмосфера уменьшает контраст между объектами. Если под влиянием атмосферы контраст информативных областей уменьшится настолько, что станет меньше порогового контраста оптико-электронной системы воздушного мониторинга, то такие области не будут обнаруживаться на аэрофотоснимках.

- Изменение величины освещенности Земли. Освещенность земной поверхности зависит от высоты солнца над горизонтом.

- Линейные и угловые перемещения летательного аппарата, а также вибрации летательного аппарата приводят к сдвигам изображения в плоскости аэроснимка, что приводит к ухудшению резкости изображения.

Выделим основные методы предварительной обработки изображений, применяемые с целью устранения или коррекции факторов полета для цифровых аэрофотоснимков.

1. Цифровая коррекция изображения: устранение нелинейности функции тонопередачи, улучшение резкости изображения, геометрическая коррекция.

2. Яркостные преобразования изображения: изменение контраста, устранение шумов, подчеркивание границ.

В зависимости от задач предварительной обработки для их решения применяются соответствующие методы обработки изображений. Для повышения контрастности снимка для его наилучшего отображения выполняется изменение гистограммы значений яркости; фильтрация, квантование снимка по яркости и т.д. Слабый

контраст – наиболее распространенное свойство изображений дистанционного зондирования, обусловленное условиями наблюдения, ограничением диапазона воспроизводимых яркостей и др. Задача контрастирования связана также и с улучшением согласования динамического диапазона изображения и экрана, на котором выполняется визуализация. Возникновение шума обусловлено многочисленными факторами: тепловыми эффектами, сбоем детектора, взаимодействиями между электронными компонентами системы формирования изображения, ошибками дискретизации, ошибками передачи и др. Шумы на изображении появляются в самых разнообразных формах и зачастую их сложно смоделировать, поэтому многие методы шумоподавления являются специальными, что удобно для разделения видов шумов по категориям и обобщения описательных моделей шумов.

Так как большинство видов шумов возникает в самих детекторах или в электронных компонентах системы формирования изображения, их характеристики определяются в отдельных пикселях изображения или в пределах линий сканирования. Поэтому лучше попытаться устранить шум перед любой передискретизацией изображения, так как передискретизация «смажет» шум в соседние пиксели и линии, что в дальнейшем только затруднит фильтрацию. Предполагается, что входные изображения могут быть зашумлены тремя видами шумов: нормально распределенным шумом, импульсным шумом вида «соль-перец» и мультипликативным шумом.

При наличии нормально распределенного шума к каждому пикселю исходного (незашумленного) изображения $F(i, j)$ добавляется случайная величина $N(0, q)$ с математическим ожиданием 0 и дисперсией q , характеризующей амплитуду шума. На рис. 4 приводятся результаты применения адаптивной медианной фильтрации для удаления шума «соль-перец» высокой интенсивности. Входное аэрофотоизображение (рис. 4а) зашумленное гауссовским шумом, на рис. 4б изображение, искаженное шумом типа «соль-перец», на рис. 4в изображение зашумленное мультипликативным шумом. На рис. 4г приведено изображение после применения к нему гауссовской фильтрации для удаления шума.

Импульсный шум, именуемый в англоязычной литературе как шум типа «соль-перец», возникает при некорректном функционировании (отказе) тех или иных элементов матрицы фото- или видеокамеры. Мультипликативный шум (спекл-шум) образуется в результате когерентной суперпозиции от пространственно случайных источников рассеяния. Рассеянные волны накладываются друг на друга, вызывая тем самым появление спекл-шума на изображениях. Методы и алгоритмы предварительной обработки в зависимости от исходных данных выбирает оператор.

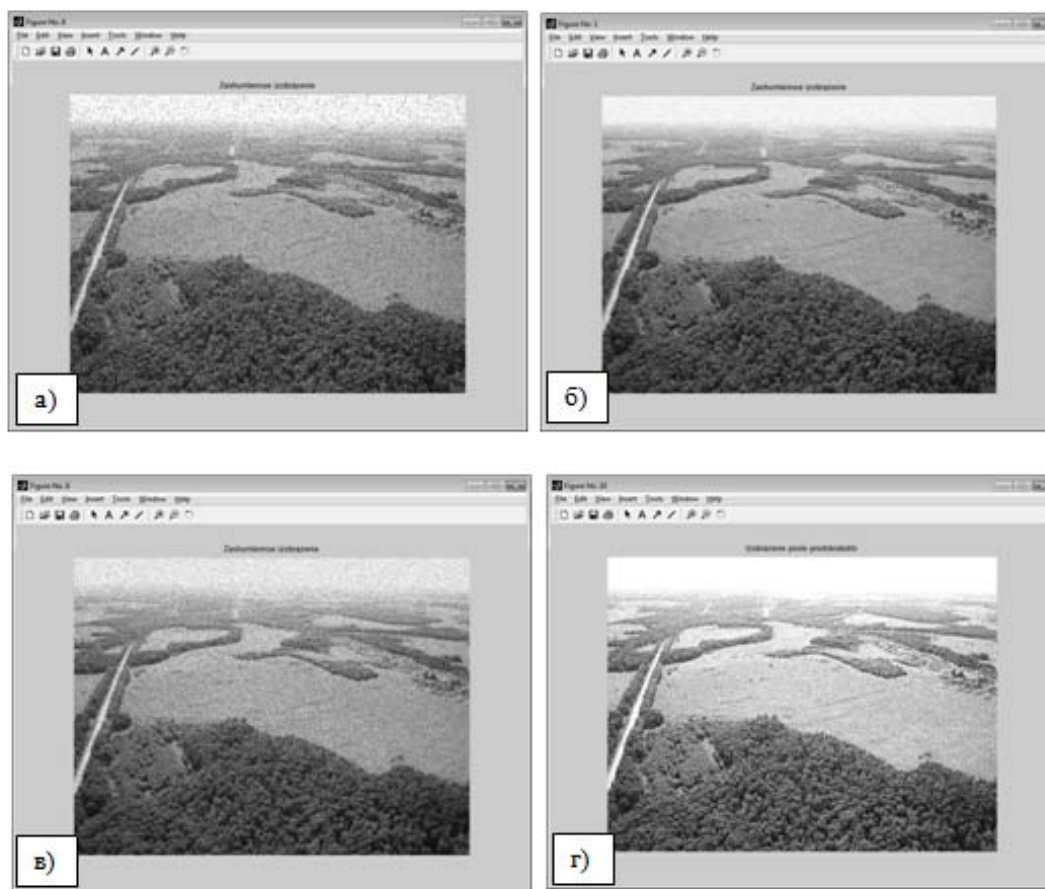


Рис. 4. Изображения до и после предобработки с целью устранения шумов:
а – изображение, искаженное гауссовским шумом; б – изображение, искаженное шумом типа «соль-перец»;
в – изображение, искаженное мультипликативным шумом; г – изображение после предобработки

Таким образом, в результате предобработки получаем изображение, подготовленное для сегментации текстурных областей, что повышает эффективность работы метода.

Из условий фотографирования наиболее существенными факторами являются: время года (наилучшее – летний период), время дня (наилучшее по состоянию атмосферы – предполуденное время), влажность объектов и воздушная дымка, угол наклона снимка и скатов местности. Под влиянием угла наклона аэрофотоснимка возникают линейные и угловые искажения изображения на снимке. Рельеф местности также вызывает смещение точек аэрофотоснимка. Линейные смещения точек аэрофотоснимка, вызванные влиянием угла наклона и рельефа местности, приводят к искажениям длин отрезков, ограничивающих области участков изображений. Из физических свойств фотоизображения решающее суммарное влияние на дешифрируемость снимков оказывают разрешающая способность и контрастность исходного изображения, степень контрастности полученного изображения, предопределяющие физические возможности его дешифрирования – детальность изображения [8].

Пусть $\{W\}$ – множество метеорологических условий, влияющих на качество получаемого изображения, а $\{\Delta W\}$ – множество значений искажений цвета изображения, возникающих при влиянии метеорологических условий во время получения аэрофотоснимка.

Тогда множество значений статистических признаков текстурной области принимает вид (1):

$$N_{p \text{ обл}} = \{N_p + \{\Delta W\}\}, \quad (1)$$

где $N_{p \text{ обл}}$ – набор значений интенсивностей цвета искомой области с учетом влияния метеорологических условий.

Учитывая влияние $\{\Delta W\}$, вектор значений статистических признаков будет задан диапазоном максимально и минимально допустимых значений (2):

$$N_{p\text{ обл}} = \left\{ \begin{aligned} &(m_{\text{обл min}}, m_{\text{обл max}}), \\ &(e_{\text{обл min}}, e_{\text{обл max}}), \\ &(U_{\text{обл min}}, U_{\text{обл max}}) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где $m_{\text{обл min}} = m_{\text{обл}} - \Delta W$,

$m_{\text{обл max}} = m_{\text{обл}} + \Delta W$,

$e_{\text{обл min}} = e_{\text{обл}} - \Delta W$,

$e_{\text{обл max}} = e_{\text{обл}} + \Delta W$,

$U_{\text{обл min}} = U_{\text{обл}} - \Delta W$,

$U_{\text{обл max}} = U_{\text{обл}} + \Delta W$.

Аналогичным образом учитываются при формировании значений набора признаков навигационно-технические условия получения изображений.

Под информацией о параметрах текстурных областей подразумеваются параметры модели информативной текстурной области, которые включают в себя следующее:

- ввод названия класса искомой текстуры («трава», «лес», «поле» и т.д.);
- ввод значений статистических признаков для заданного класса текстуры (значения N_p и P_s)

с учетом навигационно-технических и метеорологических условий получения изображения;

- ввод порога сегментации (P_s) для заданного класса текстур.

Обзор и выбор программно-аппаратных средств обработки изображений воздушного мониторинга. В настоящее время при проектировании и разработке систем комплексного анализа изображений воздушного мониторинга целесообразно использовать современные матричные процессоры, позволяющие существенно повысить эффективность обработки изображений при решении таких задач как сжатие данных, сегментация изображения, кодирование и декодирование, а также идентификация и дешифрирование изображений.

Анализ существующих программно-технических комплексов показал, что процессоры семейства NeuroMatrix являются представителями нового класса векторно-конвейерных DSP и они могут эффективно использоваться в задачах обработки изображений. Их отличает высокая производительность обработки больших потоков данных при относительно небольших аппаратных затратах и малом потреблении питания, а также перспективы дальнейшего повышения

вычислительной мощности процессоров семейства за счет углубления конвейера и реализации на других технологиях, имеющих меньшие топологические нормы проектирования.

Благодаря аппаратной поддержке матрично-векторных операций и возможности увеличения производительности, процессоры NeuroMatrix могут найти применение для решения широкого класса задач в таких областях, как видеообработка, распознавание образов, сигнальная обработка, радиолокация, телекоммуникация, навигация и многих других. Благодаря встроенным средствам для построения многопроцессорных систем, они могут использоваться как базовые блоки для создания параллельных вычислительных систем. Таким образом, использование современных средств разработки программного обеспечения, ориентированное на использование процессоров семейства NeuroMatrix, позволяет создавать высокоэффективные программно-аппаратные комплексы обработки изображений воздушного мониторинга.

На основании проведенных исследований может быть предложен метод сегментации текстурных областей аэрофотоснимков, схематично приведенный на рис. 5, 6. Как представлено на рис. 5, сегментация по статистическим признакам приводит к пересечению текстурных областей, принадлежащих разным классам. Это говорит о наличии на изображении областей, близких по цвету и структуре или другими словами, областей пересечения.

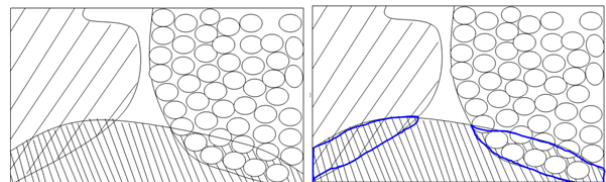


Рис. 5. Схематический результат первичной сегментации

В связи с этим, для уточнения границ текстурных областей реализуется этап вторичной сегментации по признаку значений среднеквадратичного отклонения матриц изображений текстурных областей до и после применения дискретно-косинусного преобразования. На этапе вторичной сегментации обработке подвергаются только области пересечения. Схематически результат вторичной сегментации представлен на рис. 6.

После выполнения этапа вторичной сегментации оператор принимает решение о выполнении следующего этапа – либо уточнение параметров для более точной сегментации областей, либо переход к этапу локализации выделенных областей. Результатом работы метода является изображение с локализованными текстурными областями.

primary and secondary segmentation that provide the solution to the problem of localization of image areas. Step-by-step processing of the image by the proposed method ensures maximum elimination of localization errors in false regions. In addition, the transition from one processing step to the next decreases the analyzed amount of information, namely the area of segmented image areas. In order to reduce the time during the practical implementation of the method, it becomes possible to parallelize the processing and solving problems in a time scale close to the real one. The input parameters are an aerial photograph, a priori information about the areas to be segmented, and meteorological and navigation-technical

conditions for aerial photography. Output parameters are images with localized informative areas.

Keywords: *image, texture, pixel, aerial image, digital matrix, texture models, information system, method of segmentation, digital image correction*

Коваленко Т. В. – молодший науковий співробітник, Інститут проблем реєстрації інформації НАНУ, м. Київ, e-mail: tarasykvalenko@gmail.com

Рецензент: д.т.н., проф. **Горбунов М.І.**

Стаття подана 18.09.2017

УДК 381.326

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ЛИНЕЙНО РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ

Кривуля Г.Ф., Липчанский А.И.

INTELLECTUAL DIAGNOSTICS OF LINEARLY DISTRIBUTED OBJECTS USING WIRELESS SENSOR NETWORKS

Krivoulya G.F., Lypchansky A.I.

Предложено интеллектуальное диагностирование линейно распределенных объектов с использованием беспроводных сенсорных сетей. Решение задачи функционального диагностирования реализовано экспертной системой на основе базы знаний в виде нейронечеткой сети. Для технического объекта текущие значения диагностических параметров измеряются беспроводными сенсорами. В качестве примера рассмотрена экспертная система диагностирования для оценки работоспособности технического объекта.

Ключевые слова: линейная сеть, экспертная система, диагностические сенсоры, нейронечеткая сеть параметры

Анализ предметной области. Одной из важнейших задач обеспечения требуемого уровня надежности и безопасности сложных технических объектов является мониторинг их текущего состояния. При этом необходимо реализовать сбор, накопление, обработку и анализ данных от пространственно распределенных сенсоров с целью обнаружения отклонений контролируемых параметров от требуемого значения. Наблюдение за изменением ситуации позволяет своевременно принять решение о возможности дальнейшей эксплуатации объекта. Для сложных распределенных объектов целесообразно применение беспроводных сенсорных сетей (БСС - WSN), с помощью которых можно не только измерять значения контролируемого параметра (пассивные датчики), но и управлять процессами в объектах с использованием активных датчиков (активаторов). Отсутствие проводов делает возможным применение БСС в труднодоступных местах или на мобильных объектах, что значительно расширяет круг применения сенсорных сетей.

Многие из областей применения БСС связаны с расположением сенсоров в виде линейной структуры, что приводит к появлению нового типа

БСС, которые можно определить как линейные сенсорные сети (ЛБСС - LWSN). К таким структурам относятся железнодорожные пути, трубопроводы для нефти, газа, воды и т.п. объекты, которые могут иметь протяженность в сотни или даже тысячи километров. Применение ЛБСС для задач мониторинга имеет некоторые особенности, которые связаны с линейно распределенной структурой и значительной протяженностью сети. В частности, такие сети требуют значительного времени для последовательной передачи данных, имеют высокое энергопотребление при снижении надежности передачи информации [1].

Для устранения вышеуказанных недостатков для мониторинга линейных инфраструктур используются ЛБСС и беспилотные летательные аппараты (БПЛА - UAV), которые осуществляют сбор и передачу данных. При этом сокращается сквозная задержка передачи данных в сети, повышается ее надежность и отказоустойчивость, увеличивается срок службы батарей сенсоров, обеспечивается требуемое качество обслуживания.

Структурно система мониторинга имеет четыре типа узлов: датчики для сбора информации (SN), узлы ретрансляции (RN), БПЛА и приемники данных. Для узлов SN используется классический метод маршрутизации для передачи своих данных в ближайший RN, который действует как шлюз кластера для окружающих SN. БПЛА последовательно перемещается по возвратно поступательной траектории вдоль линейной сети и передает данные, которые собираются RN, в приемники, расположенные на обоих концах ЛБСС.

Применение БПЛА реализует преимущества линейности таких сетей для повышения надежности, эффективности, экономии энергии и срока службы сети. На рис. 1 показана архитектура системы мониторинга для ЛБСС.

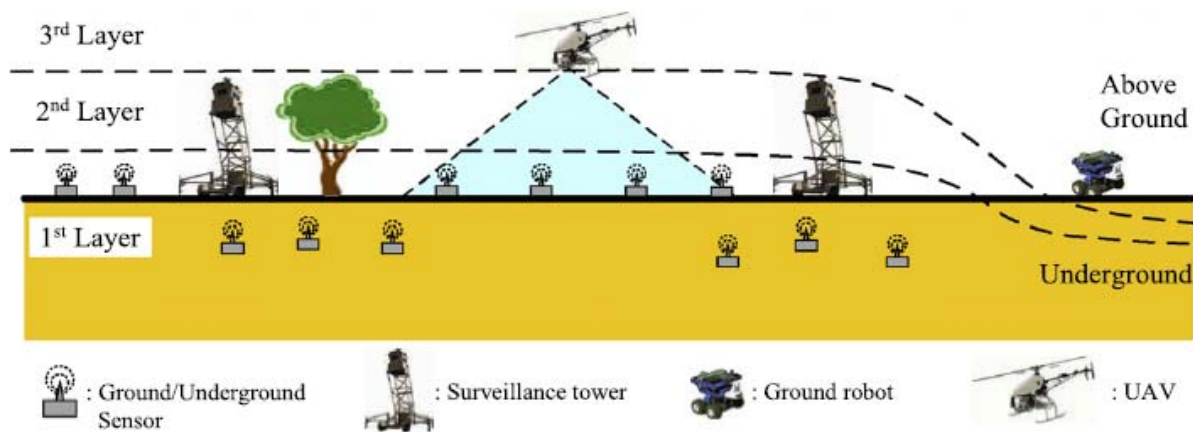


Рис. 1. Система мониторинга для линейно распределенных объектов

Системная архитектура на рис.1 имеет три уровня. Беспроводные наземные и подземные датчики представляют собой нижний слой архитектуры, который обеспечивает наиболее высокую степень детализации для мониторинга. На втором уровне мультимедийные средства и датчики повышают точность системы посредством сбора визуальной информации. На третьем уровне мобильные наземные роботы и БПЛА представляют собой наиболее высокий уровень сбора информации и обеспечивают необходимую полноту диагностирования.

Связь между узлами RN и приемниками обеспечивается с помощью БПЛА, который перемещается между приемниками и собирает необходимые данные от RN. Бортовой компьютер БПЛА также может выполнять другие функции, такие как агрегация данных, планирование, маршрута, сенсорная операционная система и конфигурация программного обеспечения, программирование, обновление, а также синхронизация узлов SN и RN. БПЛА может использоваться для транспортировки данных и программ от приемников до SN, и также может иметь возможности GPS. Поскольку сквозная задержка для передаваемых данных зависит от структуры сети и от маршрута БПЛА, то бортовой компьютер может анализировать различные варианты уменьшения этого параметра [2].

Основной объем информации в системе мониторинга присутствует в первом нижнем слое и при большом числе сенсоров возникает проблема обработки больших данных (Big Data). При этом, перспективным направлением в процессе создания интеллектуальных систем функционального диагностирования является использование гибридных нейронечетких методов, которые сочетают преимущества нечетких экспертных систем и нейронных сетей. Нечеткая логика при разработке базы знаний (БЗ) и механизмов вывода позволяет формализовать процедуру оценки технического состояния на базе ненадежной и неточной информации при идентификации

возможных неисправностей. Для формирования логических выводов в форме нечетких продукций в интеллектуальной системе диагностирования (ИСД) используются знания в форме нечетких продукций с лингвистическими переменными, которые представлены термами с некоторой функцией принадлежности (ФП). При наличии автоматизированных технических средств для хранения и сбора информации от сенсоров объекта диагностирования (ОД) возникает возможность автоматизировать пополнение БЗ и отслеживать огромные объемы меняющейся информации, принимать качественные и своевременные решения при диагностировании сложных технических объектов [3].

Постановка задачи. Основной целью данной работы является разработка автоматизированных методов интеллектуального функционального диагностирования с применением измерительных беспроводных сенсоров в системе мониторинга сложных линейно распределенных технических объектов.

В процессе достижения основной цели формулируются и решаются следующие задачи:

- проведение непрерывного анализа технического состояния ОД в процессе функционирования без нарушения функциональных связей;
- оперативное получение информации о техническом состоянии ОД в произвольный момент времени;
- исключение необходимости использования дополнительных стимулирующих сигналов для ОД в процессе диагностирования;
- возможность прогнозирования отклонений технического состояния ОД от нормального в процессе получения текущих данных от сенсоров.

Информационная часть ИСД обеспечивает накопление, хранение и передачу информации в другие её части, а также реализует интерфейс конечного пользователя. Поступающие от сенсоров данные имеют неструктурированный вид и требуют

дальнейшей обработки. Необходимость принятия решений в реальном времени приводит к тому, что число деревьев решения, построенных в соответствии с поступающими данными, должно быть равно числу отсчетов (аналог конвейерной обработки данных). Хранение деревьев решений для каждого временного интервала требует значительных затрат памяти ИСД, поэтому обычно используется усреднение для входных данных с целью уменьшения таких затрат. Однако при этом может быть потеряна информация о текущих изменениях данных от сенсоров за некоторый промежуток времени, что является существенным недостатком методов вычисления средних значений. Проблема значительного объема данных сложного ОД может быть решена путем использования этих данных в качестве обучающей выборки для нейронечеткой БЗ.

Рассматриваемая в данной работе ИСД, наряду с использованием традиционных знаний, позволяет использовать нейронечеткую сетевую БЗ и формализовать перечисленные выше практические проблемы, возникающие в процессе эксплуатации различных технических объектов, для достижения основной цели работы.

Нейронечеткая база знаний в системе интеллектуального диагностирования. Применение ИСД с нейронечеткой БЗ для решения задач диагностирования сложных технических объектов расширяет возможности такого класса интеллектуальных систем, позволяет при равных вычислительных ресурсах проводить экспертную оценку большего количества вариантов, повышая достоверность и точность полученных результатов.

Основной проблемой при создании ИСД является разработка структуры нейросети для реализации нейронечеткой БЗ. Структура нейронечеткой сети подобна структуре обычной многослойной нейросети с одним входным слоем, одним выходным слоем и тремя скрытыми слоями. Пример возможной структуры нейронечеткой сети приведен в [4].

Алгоритм функционального диагностирования заключается в сравнении математической модели конкретного диагностируемого объекта с его эталонной и бездефектной моделью, т.е. в проверке принадлежности параметров состояний допустимым диапазонам их изменения. Выход параметра за пределы этих диапазонов должен свидетельствовать о наличии неисправности в соответствующей подсистеме объекта. В гибридной нейронечеткой ИСД эталонная модель ОД хранится в БЗ и уточняется в процессе приобретения новых знаний. Реальная модель формируется в среде базы данных, а связь с эталонной моделью осуществляется через запросы пользователя. Решение задачи по построению интеллектуальной системы технического диагностирования состояния ОД на базе гибридной ИСД производится с учетом особенностей внешних условий среды и специфики адаптации модели в данной среде.

Применение ИСД для диагностирования.

Особенностью современных ОД для обработки информации и управления является то, что результат диагностирования зависит от количества входных диагностических параметров (ДП) и соответствующих лингвистических переменных (ЛП). Исходными данными на этом этапе является перечень всех возможных входов (диагностических признаков), от которых зависит выход (результат диагностирования). Слишком большое их количество приведет к усложнению алгоритма диагностирования, поэтому целесообразно использовать только независимые диагностические признаки. При ручном синтезе БЗ эксперт должен удалить из этого перечня несущественные признаки, что позволит упростить модель объекта диагностирования и повысит её быстродействие. Однако в случае автоматизированного метода пополнения БЗ количество входных переменных определяется числом сенсоров ИСД.

Для примера функционирования ИСД считаем, что имеется возможность измерить численные значения для 24-х диагностических параметров ($ДП_1, \dots, ДП_{24}$). Значения показаний сенсоров получают в дискретные моменты времени $t_0, t_1, t_2, \dots, t_i$. Временной интервал $(t_{i+1}-t_i)$ между двумя соседними измерениями выбирается с учетом скорости изменения диагностических параметров. Все 24 характеристики будут играть роль диагностических параметров в процессе интеллектуального диагностирования.

При оценивании входных ДП (определении значений диагностических параметров) в простейшем случае ограничимся тремя уровнями градации (тремя термами): L (low, ниже нормы), A (average, норма), H (high, выше нормы).

Рассмотрим функцию принадлежности произвольной входной переменной $ДП_i$, которой соответствует некоторый диагностический признак, например, «температура грунта» (рис. 2). Таблица для данного примера содержит параметры $ДП_i$.

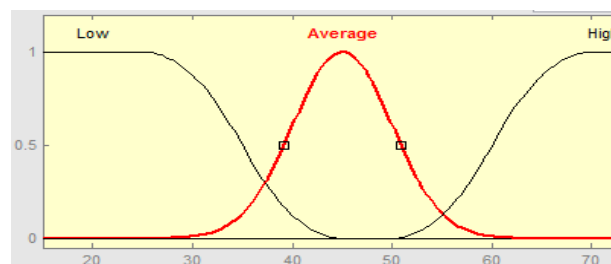


Рис. 2. Функция принадлежности $ДП_i$

В результате компьютерного моделирования получена структура нейронечеткой сети для 24 входов, которая представлена на рис. 3.

Для данного примера нейронечеткая сеть имеет 24 входа — $ДП_1, \dots, ДП_{24}$ и один выход (результат диагностирования РД).

Таблица
Параметры функции принадлежности $ДП_i$

Термы ЛП	Диапазоны значений		Параметры ФП
L (ниже нормы)	15	45	a=25, b=45
A (норма)	35	55	$\sigma=5$, M=45
H (выше нормы)	50	72.6	a=50, b=70

Ядром любой нечеткой системы вывода является БЗ, основанная на продукционных правилах (ПП). Ввиду большого объема полученной БЗ на рис. 3 представлен лишь фрагмент графического представления продукционных правил (17 шт.).

Несмотря на различные способы составления ПП, они должны удовлетворять формальным требованиям корректности, не касающимся их смыслового аспекта. Корректная система ПП должна быть полной, минимальной, связной и непротиворечивой. Полное описание процедуры проверки базы ПП на корректность приведено в [5].

Для рассматриваемого примера на вход нейронечеткой сети поступил вектор значений диагностических параметров $[ДП_1, \dots, ДП_{24}]$: [40 33 45 45 44 45 42 41 40 43 33 13.86 9.07 999 1129 1098 1020 1.188 3.344 5.042 11.926 1.044 1.524 0.963].

Система нечеткого вывода показала следующий результат: РД = 95,1%, что говорит о том, что данный ОД работоспособен. Это подтверждает тот факт, что все значения ДП лежат в пределах нормы. Если хотя бы один параметр выше нормы, то работоспособность данного ОД уменьшается.

Например, для вектора [40 72.6 45 45 44 45 42 41 40 43 33 13.86 9.07 999 1129 1098 1020 1.188 3.344 5.042 11.926 1.044 1.524 0.963] работоспособность находится на уровне 48.8 %, что говорит уже о серьезных проблемах, которые могут привести к полной неработоспособности технического объекта.

Выводы.

При определении технического состояния сложных технических объектов основным критическим фактором является время принятия решения для локализации возникшей неисправности. Применение гибридной экспертной системы диагностирования с нейронечеткой сетевой базой знаний обеспечивает поддержку решений в ситуациях, для которых алгоритм диагностирования не известен и формируется по исходным данным в виде продукционных правил.

Для автоматизации процесса накопления знаний в экспертной системе целесообразно использовать сенсоры технического объекта, с помощью которых измеряются значения диагностических параметров. Структуризация исходных данных может осуществляться применением деревьев решений. Необходимость принятия решений в реальном времени приводит к тому, что число деревьев, соответствующих поступающим данным, равно числу отсчетов за время наблюдения. Проблема значительного объема данных при определении состояния сложного технического объекта решается использованием этих данных в качестве обучающей выборки для нейронечеткой базы знаний.

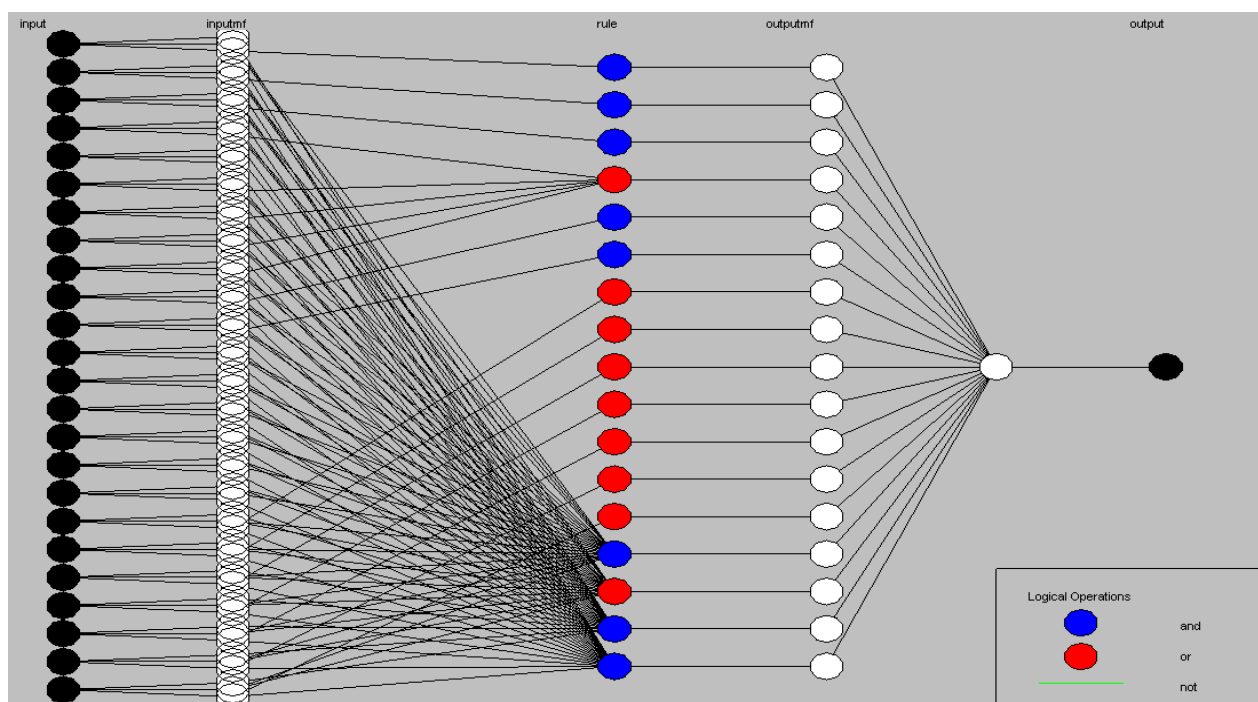


Рис. 3. Нейронечеткая сеть

Л і т е р а т у р а

1. Jawhar N. Mohamed and D. P. Agrawal, "Linear Wireless Sensor Networks: Classification Applications," in *The Journal of Network and Computer Applications*, Elsevier, Vol. 34, No. 5, pp. 1671-1682, September 2011.
2. G. Tuna, T. V. Mumcu, K. Gulez, V. C. Gungor, and H. Erturk, "Unmanned aerial vehicle-aided wireless sensor network deployment system for post-disaster monitoring," in *Emerging Intelligent Computing Technology and Applications*. Springer, 2012, pp. 298-305.
3. Krivoulya, G. Expert evaluation model of the computer system diagnostic features / G. Krivoulya, A. Shkil, D. Kucherenko, A. Lipchansky, Ye. Sheremet // EWDTs'2014: Proceeding of international conf., 26-29 September, 2014. – Kiev, Ukraine, 2014 – P. 286-289
4. Кривуля Г.Ф. Экспертное диагностирование компьютерных систем с использованием нейронечеткой базы знаний / Липчанский А.И. Кучеренко Д.Е. // научно-технический журнал «Информационно-керуючі системи на залізничному транспорті» Харків. 2016 № 4(119) С. 52-58.
5. Krivoulya, G. Analysis of production rules in expert systems of diagnosis / G. F. Krivoulya, A. S. Shkil, D. Ye. Kucherenko // *Automatic Control and Computer Sciences*. – 2013. – Vol. 47. – №6. – P. 331-341.

R e f e r e n c e s

1. Jawhar N. Mohamed and D. P. Agrawal, "Linear Wireless Sensor Networks: Classification Applications," in *The Journal of Network and Computer Applications*, Elsevier, Vol. 34, No. 5, pp. 1671-1682, September 2011.
2. G. Tuna, T. V. Mumcu, K. Gulez, V. C. Gungor, and H. Erturk, "Unmanned aerial vehicle-aided wireless sensor network deployment system for post-disaster monitoring," in *Emerging Intelligent Computing Technology and Applications*. Springer, 2012, pp. 298-305.
3. Krivoulya, G. Expert evaluation model of the computer system diagnostic features / G. Krivoulya, A. Shkil, D. Kucherenko, A. Lipchansky, Ye. Sheremet // EWDTs'2014: Proceeding of international conf., 26-29 September, 2014. – Kiev, Ukraine, 2014 – P. 286-289
4. Krivulja G.F. Jekspertnoe diagnostirovanie komp'juternyh sistem s ispol'zovaniem nejronechetkoj bazy znaniy / Lipchanskij A.I. Kucherenko D.E. // nauchno-tehnicheskij zhurnal «Informacijno-kerujuchi sistemi na zaliznichnomu transporti» Kharkiv. 2016 № 4(119) P. 52-58.

5. Krivoulya, G. Analysis of production rules in expert systems of diagnosis / G. F. Krivoulya, A. S. Shkil, D. Ye. Kucherenko // *Automatic Control and Computer Sciences*. – 2013. – Vol. 47. – №6. – P. 331-341.

Кривуля Г.Ф., Липчанский А.И. Интеллектуальное диагностирование линейно распределенных объектов с использованием беспроводных сенсорных сетей

Запропоновано інтелектуальне діагностування лінійно розподілених об'єктів з використанням бездротових сенсорних мереж. Рішення завдання функціонального діагностування реалізовано експертною системою на основі бази знань у вигляді нейронечіткої мережі. Для технічного об'єкта поточні значення діагностичних параметрів вимірюються бездротовими сенсорами. Як приклад розглянута експертна система діагностування для оцінки працездатності технічного об'єкта

Ключові слова: лінійна мережа, експертна система, діагностичні параметри, сенсори, нейронечітка мережа.

Krivoulya G.F., Lypchansky A.I. Intellectual diagnostics of linearly distributed objects using wireless sensor networks

Intellectual diagnostics of linearly distributed objects using wireless sensor networks is proposed. The solution of the task of functional diagnostics is realized by the expert system on the basis of the knowledge base in the form of a neuron-fuzzy network. For a technical object, the current values of the diagnostic parameters are measured by wireless sensors. As an example, an expert diagnostic system for assessing the operability of a technical object.

Keywords: linear network, expert system, diagnostic parameters, sensors, neural network

Кривуля Г.Ф. – д.т.н., професор кафедри АПВТ ХНУРЕ, КІ СНУ ім. В. Даля, e-mail: krivoulya@i.ua.

Липчанський О.І. – к.т.н., докторант кафедри АПВТ ХНУРЕ.

Рецензент: д.т.н., проф. **Рязанцев О.І.**

Стаття подана 13.09.2017

УДК 621.391:681.5

АНАЛІТИЧНА МОДЕЛЬ РІВНЯ СЕРВІСІВ ТА ДОДАТКІВ МЕРЕЖІ НАСТУПНОГО ПОКОЛІННЯ

Кунуп Т.В.

ANALYTICAL MODEL OF SERVICE AND APPLICATION LAVEL OF NEXT GENERATION NETWORK

Kunup T. V.

Стаття присвячена розробці аналітичних моделей рівня сервісів та додатків в мережі нового покоління (NGN). Представлена архітектура рівня сервісів та додатків з централізованою структурою та принцип надання нових сервісів та додатків (НСД). Запропоновано критерії для оцінки якості управління наданням НСД. На підставі врахування існуючих стандартів якості управління наданням НСД оцінюється за наступними критеріями – вірогідність втрати заявки на НСД; час надання НСД, що складається з часу очікування та, власне, часу обслуговування. Рівень сервісів та додатків NGN представлено у вигляді системи масового обслуговування виду $M/M/1/t$, для якої розроблено аналітичну модель. Зазначено, що при побудові аналітичної моделі рівня сервісів та додатків необхідно враховувати пріоритети заявок на НСД. Запропонована аналітична модель для системи масового обслуговування виду $M/M/1/3$ з урахуванням пріоритетів заявок на НСД. Отримані вирази, які можуть бути застосовані проектувальниками мереж для визначення якості управління наданням НСД.

Ключові слова: NGN, нові сервіси та додатки, рівень сервісів та додатків, система масового обслуговування, аналітична модель.

Вступ. В теперішній час спостерігається стрімкий ріст попиту на нові сервіси та додатки (НСД), що дозволяють надати рівень сервісів та додатків мережі наступного покоління (NGN – *Next Generation Network*). Рівень сервісів та додатків забезпечує управління, логіку і виконання деякого числа сервісів та додатків. Пристрої, що відносяться до цього рівня, управляють потоком викликів, ґрунтуючись на запрограмованій логіці виконання сервісів та додатків, за допомогою взаємодії з пристроями рівня управління викликами і сигналізації. До самого рівня сервісів та додатків відносяться такі пристрої – сервери додатків і медіа сервери [1]. В сучасних NGN використовується рівень сервісів та додатків, що представляє собою централізовану систему, тобто використовується рівень сервісів та додатків з централізованою

структурою (РСДЦС). На рис. 1 [1] представлена архітектура NGN з РСДЦС. РСДЦС виділено пунктирною овальною лінією.

Надання сервісів відбувається наступним чином. Заявка на сервіс, пройшовши певний шлях, потрапляє до *Softswitch*. *Softswitch* перевіряє, який сервіс потрібно надати. У випадку необхідності надання базового чи додаткового сервісу *Softswitch* виконує всі необхідні операції самостійно. У разі необхідності надання НСД *Softswitch* через відкриті API або по протоколу SIP звертається до медіа серверу та серверу додатків. Саме вони здійснюють управління наданням НСД.

Ріст попиту на НСД суттєво збільшує навантаження на рівень сервісів та додатків. Виникає питання досягнення необхідної якості управління наданням НСД. Для оцінки якості управління наданням НСД слід визначити критерії якості. Отримання значень критеріїв потребує розробки аналітичних моделей рівня сервісів та додатків. Саме цим питанням присвячена дана робота.

Питання, пов'язані з архітектурою NGN та принципами побудови рівня сервісів та додатків, управлінням НСД і розробкою аналітичних моделей рівня сервісів та додатків, піднімалися у низці робіт українських та зарубіжних вчених. Цим питанням присвячені роботи О. Гольдштейна [2], О. Атцика, О. Тітова, М. Глінникова, О. Антоняна, Є. Скуратовської, І. Бакланова, В. Макарова, С. Остроха, А. Дудника, Н. Князевої [3], С. Шестопалова [5], Є. Штейнберга та ін.

В зазначених роботах при побудові моделей основна увага надавалася принципам управління наданням базових та додаткових сервісів. Сучасні мережі пропонують НСД, управління наданням котрих суттєво відрізняється. Тому розробка аналітичних моделей рівня сервісів та додатків NGN з урахуванням принципів управління наданням НСД є вельми актуальною.

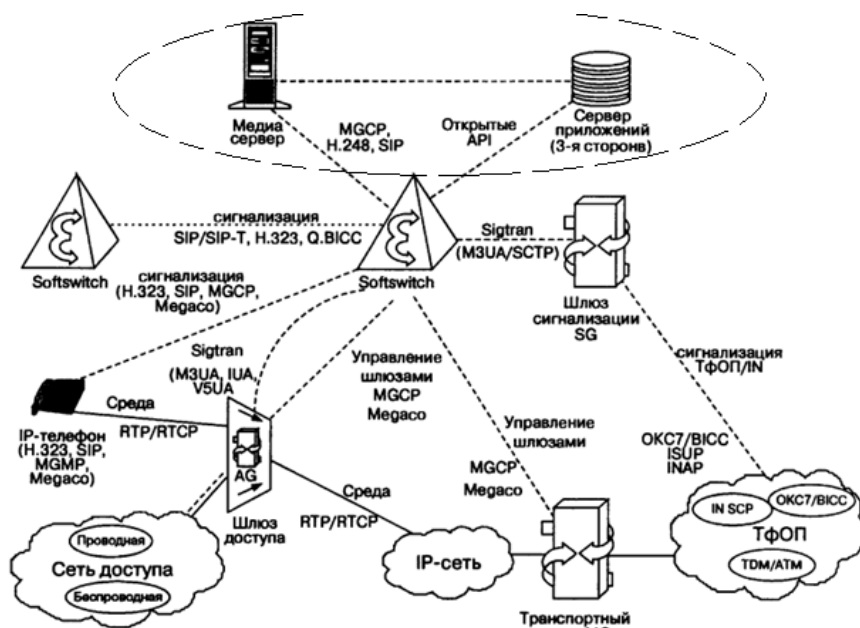


Рис. 1. Архітектура NGN з РСДЦС

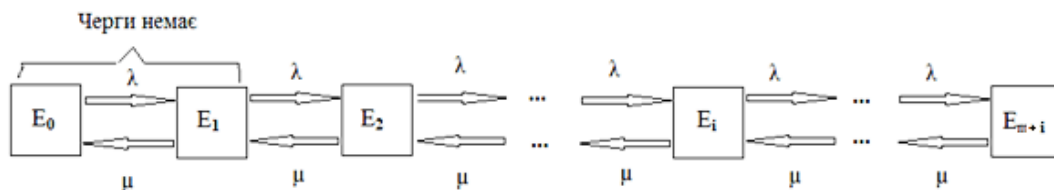


Рис. 2. Граф станів системи

Мета статті. Метою статті є визначення критеріїв якості управління наданням НСД, розробка аналітичних моделей РСДЦС для оцінки якості управління наданням НСД в NGN.

Аналітичні моделі РСДЦС. На підставі врахування існуючих стандартів [6], якість управління наданням НСД слід оцінювати за наступними критеріями:

1. P – вірогідність втрати заявки на НСД;
2. $T_{\text{НСД}}$ – час надання НСД, що складається з

часу очікування та, власне, часу обслуговування.

Для розрахунку необхідних критеріїв побудуємо аналітичну модель РСДЦС. Для цього скористаємося підходами теорії масового обслуговування. Представимо РСДЦС у вигляді СМО $M/M/1/m$. Будемо вважати, що всі заявки на НСД мають однаковий пріоритет. Представимо всі можливі стани системи $M/M/1/m$ [7]:

- E_0 – прилад вільний;
- E_1 – прилад зайнятий, черги немає;
- E_2 – прилад зайнятий, одна заявка знаходиться

в черзі;

- E_i – прилад зайнятий, $i-1$ заявка знаходиться в

черзі;

- E_{m+i} – прилад зайнятий, m заявок знаходиться в черзі (накопичувач повністю заповнений).

Заявка, що приходить в момент, коли система знаходиться в стані E_{m+i} , отримує відмову. Граф станів даної системи наведено на рис. 2.

Виходячи зі станів даної системи (рис. 2), для граничних ймовірностей станів можна записати систему рівнянь (1), застосовуючи результати робіт [7, 8]:

$$\left. \begin{aligned} P_1 &= \rho \cdot P_0 \\ P_2 &= \rho^2 \cdot P_0 \\ &\dots \\ P_i &= \rho^i \cdot P_0 \\ &\dots \\ P_{m+1} &= \rho^{m+1} \cdot P_0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де

$$P_0 = \left[1 + \rho + \rho^2 + \dots + \rho^{m+1-1} \right] \quad (2)$$

Тут P_i – ймовірність знаходження системи у i -му стані. Вираз в дужках являє собою геометричну прогресію з першим членом, що дорівнює одиниці, і знаменником прогресії, рівним ρ – завантаженню системи. Підсумовуючи члени цієї прогресії, знаходимо:

$$P_0 = \left[\frac{(1 - \rho^{m+2})}{(1 - \rho)} \right]^{-1} = \frac{1 - \rho}{1 - \rho^{m+2}} \quad (3)$$

Формула (3) справедлива лише при $\rho \neq 1$. При $\rho = 1$ отримуємо невизначеність вигляду $\frac{0}{0}$, розкладаючи яку за правилом Лопітала, отримаємо:

$$P_0 = \frac{1}{m+2} \quad (4)$$

Вірогідність втрати заявки на НСД P [7]:

$$P = p_{m+1} = \rho^{m+1} \cdot P_0 = \frac{\rho^{m+1}(1 - \rho)}{1 - \rho^{m+2}} \quad (5)$$

Абсолютна пропускна здатність [7]:

$$q = 1 - P_{\text{від}} = 1 - \frac{\rho^{m+1}(1 - \rho)}{1 - \rho^{m+2}} = \frac{1 - \rho^{m+1}}{1 - \rho^{m+2}} \quad (6)$$

Відносна пропускна здатність:

$$A = \lambda \cdot q \quad (7)$$

Середнє число заявок l , що знаходяться в черзі, визначимо як математичне очікування дискретної випадкової величини R – числа заявок, що знаходяться в черзі. Величину можна отримати, помноживши число заявок в черзі на відповідні ймовірності і здійснюючи сумування [7]:

$$l = 1 \cdot P_2 + 2P_3 + \dots + (i-1)P_i + \dots + mP_m \quad (8)$$

Після деяких перетворень отримаємо [7]:

$$l = \frac{\rho^2 [1 - \rho^m (m+1 - m\rho)]}{(1 - \rho^{m+2})(1 - \rho)} \quad (9)$$

Загальна кількість заявок в системі: $m = l + w$, де w – математичне очікування числа заявок, що знаходяться на обслуговуванні:

$$m = l + \frac{\rho - \rho^{m+2}}{1 - \rho^{m+2}} \quad (10)$$

Тоді

$$w = 0 \cdot P_0 + 1(1 - P_0) = \frac{\rho - \rho^{m+2}}{1 - \rho^{m+2}}, \quad (11)$$

де l визначається з (9).

Середній час очікування $\bar{T}_{\text{оч}}$ буде дорівнювати середній довжині черги, помноженій на середнє значення часу в потоці заявок. Для найпростішого потоку заявок середній час $\bar{T}_{\text{сер}} = \frac{1}{\lambda}$. Таким чином маємо час очікування [7]:

$$\bar{T}_{\text{оч}} = \frac{l}{\lambda} \quad (12)$$

Середній час обслуговування однієї заявки – $\bar{T}_{\text{обс}} = \frac{1}{\mu}$. Математичне очікування часу обслуговування – $q \frac{1}{\mu}$. Тоді загальний середній час перебування заявки в системі [7]:

$$\bar{T}_{\text{НСД}} = \frac{l}{\lambda} + \frac{q}{\mu} \quad (13)$$

В даному випадку вважалось, що всі заявки на НСД мають однаковий пріоритет.

Вважаючи на те, що в NGN існує декілька класів заявок на НСД з різними пріоритетами, введемо три класи заявок – клас заявок на НСД, що потребує роботи з відео потоком; клас заявок на НСД, що потребує роботи з передачею мови; клас заявок на НСД, що працює з даними. Відповідно найбільш пріоритетним буде перший клас, а найменш пріоритетним – останній.

Представимо РСДЦС у вигляді системи масового обслуговування $M/M/1/3$.

Опис системи (рис. 3):

1. Система – *одноканальна*.
2. Вхідний потік заявок – *неоднорідний*: при цьому у систему надходить обмежена кількість класів (три класи) заявок.
3. Накопичувач для заявок – *обмеженою ємністю* $m = 3$.
4. Дисципліна буферизації – *без витіснення* заявок: якщо при надходженні в систему заявки будь-якого класу накопичувач заповнений до кінця, то заявка втрачається.
5. Дисципліна обслуговування – *з відносними пріоритетами*.

Припущення:

1. Заявки трьох класів, що надходять в систему, утворюють *найпростіші* потоки з інтенсивностями λ_1 , λ_2 та λ_3 , відповідно.
2. Тривалість обслуговування заявок кожного класу розподілена по *експоненціальному* закону з

інтенсивностями $\mu_1 = 1/b_1$, $\mu_2 = 1/b_2$, $\mu_3 = 1/b_3$, де b_1 , b_2 і b_3 – середня тривалість обслуговування заявок класу 1, 2 і 3, відповідно.

У СМО завжди існує стаціонарний режим, оскільки не може бути нескінченних черг [8].

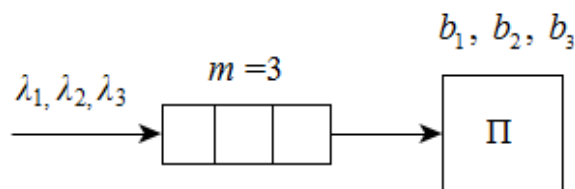


Рис. 3. Представлення РСДЦС у вигляді СМО виду М/М/1/3 з пріоритетами

Тепер можна перейти до кодування станів випадкового процесу. Це можна зробити наступним чином – (П,Ч), де $\Pi = \{0, 1, 2, 3\}$ – стан обслуговуючого приладу, що задається класом заявки, яка знаходиться на обслуговуванні («0» – прилад вільний; «1», «2» або «3» – на обслуговуванні в приладі знаходиться заявка класу 1, 2 або 3, відповідно). Стан накопичувача може бути представлений таким чином: $\mathcal{C} = \{0, 1, 2, 3, 11, 12, 13, 22, 23, 33, 111, 112, 113, 122, 123, 222, 223, 233, 333\}$. Тоді марківський процес у будь-який момент часу може знаходитися в одному з наступних станів:

$E_0(0,000)$ – у системі немає жодної заявки;

$E_1(1,000)$ – на обслуговуванні в приладі

знаходиться заявка класу 1;

$E_2(2,000)$ – на обслуговуванні в приладі знаходиться заявка класу 2;

$E_3(3,000)$ – на обслуговуванні в приладі знаходиться заявка класу 3;

$E_4(1,100)$ – на обслуговуванні знаходиться заявка класу 1 і одна заявка класу 1 чекає обслуговування в накопичувачі;

$E_5(1,200)$ – на обслуговуванні знаходиться заявка класу 1 і одна заявка класу 2 чекає обслуговування в накопичувачі;

$E_{59}(3,233)$ – на обслуговуванні знаходиться заявка класу 3 і одна заявка класу 2 та дві заявки класу 3 чекають обслуговування в накопичувачі;

$E_{60}(3,333)$ – на обслуговуванні знаходиться заявка класу 3 і три заявки класу 3 чекають обслуговування в накопичувачі.

Використовуючи стани випадкового процесу, сформуємо розмічений граф переходів (рис. 4).

По розміченому графу переходів складемо систему рівнянь для визначення стаціонарних ймовірностей:

$$\left. \begin{aligned} p_1\mu_1 + p_2\mu_2 + p_3\mu_3 &= p_0(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3) \\ p_0\lambda_1 + p_4\mu_1 + p_7\mu_2 + p_{10}\mu_3 &= p_1(\mu_1 + \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3) \\ p_0\lambda_2 + p_5\mu_1 + p_8\mu_2 + p_{11}\mu_3 &= p_2(\mu_2 + \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3) \\ &\dots \\ p_{30}\lambda_3 &= p_{60}\mu_3 \\ \sum_{i=0}^{60} p_i &= 1 \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Розв'язавши систему рівнянь, знайдемо значення всіх ймовірностей.

Характеристики при знайдених значеннях стаціонарних ймовірностей станів випадкового процесу на підставі [8] можуть бути розраховані за наступними виразами:

Середнє число заявок кожного класу в черзі:

$$l_1 = p_4 + p_7 + p_{10} + p_{13} + p_{14} + 2p_{16} + p_{19} + p_{20} + 2p_{22} + p_{25} + p_{26} + 2p_{28} + \sum_{i=31}^{33} p_i + 3p_{24} + 2p_{35} + p_{36} + 2p_{37} + p_{38} + 3p_{43} + 2p_{44} + 2p_{45} + p_{46} + p_{47} + 3p_{52} + 2p_{53} + 2p_{54} + p_{55} + p_{56} \quad (15)$$

$$l_2 = p_5 + p_8 + p_{11} + p_{13} + p_{15} + 2p_{17} + p_{19} + p_{21} + 2p_{23} + p_{25} + p_{27} + 2p_{29} + \sum_{i=31}^{33} p_i + p_{35} + 2p_{36} + p_{36} + 3p_{39} + 2p_{40} + p_{41} + p_{44} + 2p_{46} + 3p_{48} + 2p_{49} + p_{50} + p_{53} + 2p_{55} + 3p_{57} + 2p_{58} + p_{59} \quad (16)$$

$$l_3 = p_6 + p_9 + p_{12} + p_{14} + p_{15} + 2p_{18} + p_{20} + p_{21} + 2p_{24} + p_{27} + 2p_{30} + \sum_{i=31}^{33} p_i + p_{37} + 2p_{38} + p_{40} + 2p_{41} + 3p_{42} + p_{45} + 2p_{47} + p_{49} + 2p_{50} + 3p_{51} + p_{54} + 2p_{56} + p_{58} + 2p_{59} + 3p_{60} \quad (17)$$

Завантаження пристрою відповідним класом заявок визначаються як суми ймовірностей станів, у яких відповідний пристрій зайнятий обслуговуванням заявок відповідного класу:

$$\begin{aligned} \rho_1 &= p_1 + \sum_{i=4}^6 p_i + \sum_{i=13}^{18} p_i + p_{31} + \sum_{i=34}^{42} p_i \\ \rho_2 &= p_2 + \sum_{i=7}^9 p_i + \sum_{i=19}^{24} p_i + p_{32} + \sum_{i=43}^{51} p_i \\ \rho_3 &= p_3 + \sum_{i=10}^{12} p_i + \sum_{i=25}^{30} p_i + p_{33} + \sum_{i=52}^{60} p_i \end{aligned} \quad (18)$$

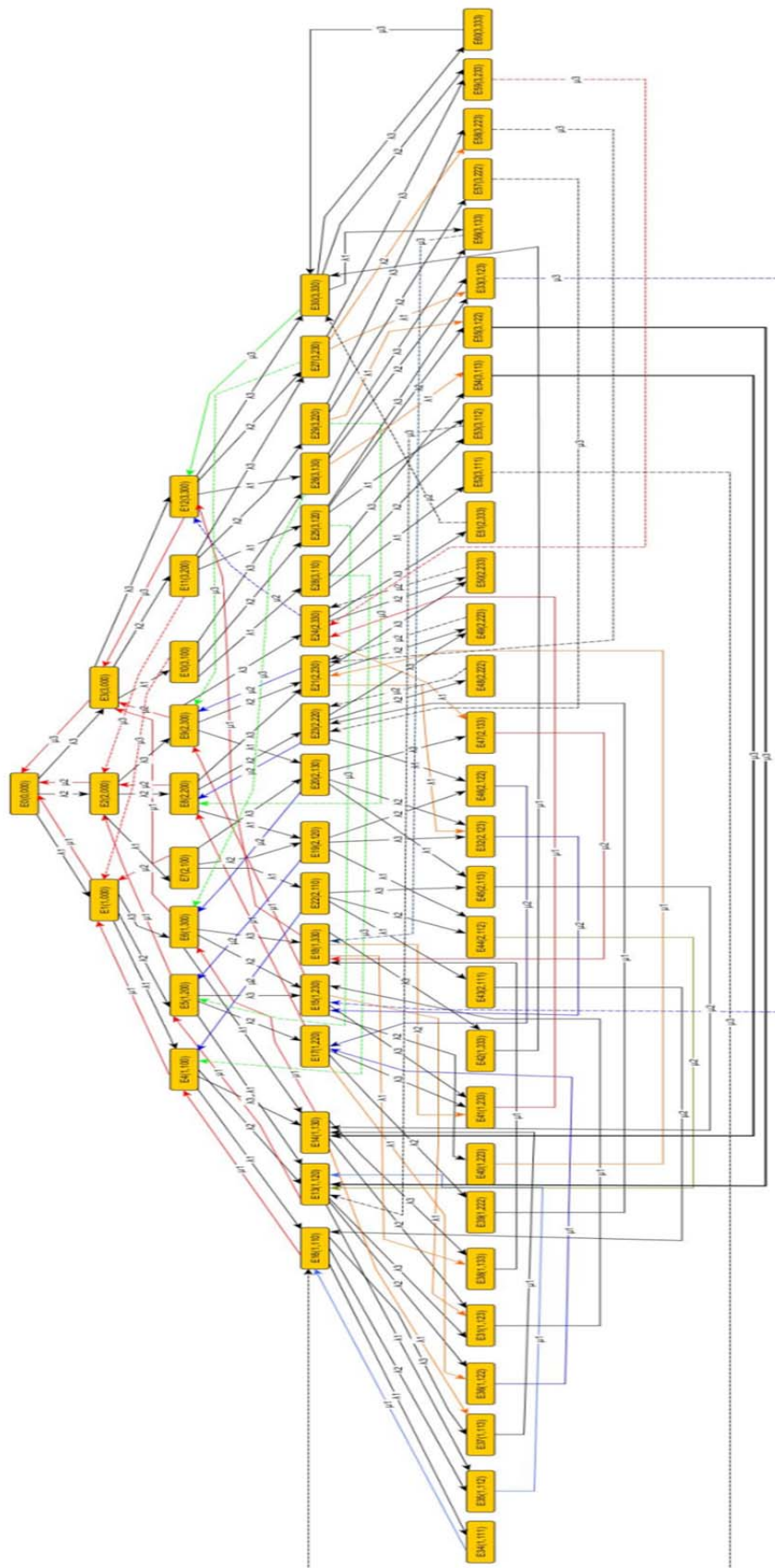


Рис. 4. Розмічений граф переходів

Продуктивності пристрою (інтенсивність обслужених заявок відповідного класу на виході пристрою):

$$\lambda'_1 = \frac{\rho_1}{b_1}; \lambda'_2 = \frac{\rho_2}{b_2}; \lambda'_3 = \frac{\rho_3}{b_3}. \quad (19)$$

Ймовірність втрати заявок відповідного класу:

$$P_1 = P_2 = P_3 = \sum_{i=31}^{60} p_i. \quad (20)$$

Середнє число заявок відповідного класу:

$$m_1 = \rho_1 + l_1; m_2 = \rho_2 + l_2; m_3 = \rho_3 + l_3. \quad (21)$$

Знайдемо час надання НСД кожного класу РСДЦС:

$$T_{НСД1} = \frac{m_1}{\lambda'_1}; T_{НСД2} = \frac{m_2}{\lambda'_2}; T_{НСД3} = \frac{m_3}{\lambda'_3}. \quad (22)$$

Отримані вирази [20, 22] можуть бути застосовані проектувальниками мереж для визначення якості управління наданням НСД.

Висновки. На підставі врахування існуючих стандартів [6], якість управління наданням НСД слід оцінювати за допомогою двох критеріїв – ймовірності втрати заявки на НСД та часу надання НСД. Для створення аналітичних моделей систем управління наданням НСД використано апарат теорії масового обслуговування. Для розрахунку критеріїв якості управління наданням НСД запропонована аналітична модель РСДЦС у вигляді СМО $M/M/1/m$, коли всі заявки на обслуговування мають однаковий пріоритет. Представлена також РСДЦС у вигляді системи масового обслуговування $M/M/1/3$ для трьох класів заявок – клас заявок на НСД, що потребує роботи з відео потоком; клас заявок на НСД, що потребує роботи з передачею мови; клас заявок на НСД, що працює з даними. Отримані вирази [20, 22] можуть бути застосовані проектувальниками мереж для визначення якості управління наданням НСД.

Подальші дослідження мають бути пов'язані з розробкою імітаційних моделей для визначення якості управління наданням НСД у РСДЦС з більш складною структурою.

Література

1. Гольдштейн Б.С. Сети связи пост-NGN [Текст] / Б. С. Гольдштейн, А.Е. Кучерявый – СПб.: БХВ: Петербург, 2014. – 160 с.
2. Гольдштейн А. Б. SOFTSWITCH [Текст] / А. Б. Гольдштейн, Б. С. Гольдштейн. – СПб.: БХВ, 2006. – 368 с.
3. Kniazieva N.A. Approach to evaluating the quality of telecommunication services in next generation network [Текст] / N.A. Kniazieva, A.S. Kalchenko. – Science and

Education a New Dimention: Natural and Technical Science. – II(4)/ – Issue 32/ Budapest, 2014. – P. 68-70.

4. Стеклов В.К. Основы управления сетями и услугами телекоммуникаций [Текст] / В.К.Стеклов, С.В. Кильчицкий. – К.: Техніка, 2002. – 348с.
5. Шестопапов С.В. Розрахунок часткових критеріїв систем управління NGN [Текст] / С.В. Шестопапов // Вісник ДУИКТ. – т.8. – №2. – К.: ДУИКТ, 2010р. – С. 147-153.
6. Международный союз электросвязи (ITU)», официальное Интернет-представительство. – Режим доступа: <http://www.itu.int> (дата обращения 03.10.2017 г.).
7. Одноканальная СМО с ожиданием. – Режим доступа: http://stu.sernam.ru/book_rop.php?id=54 (дата обращения 06.10.2017 г.).
8. Алиев Т.И. Основы моделирования дискретных систем / Алиев Т.И. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. – 363с.

References

1. Goldstein B.S. Post-NGN communication networks [Text] / B.C. Goldstein, A.E. Kucheryavy – St. Petersburg: BHV: Petersburg, 2014. – 160 p.
2. Goldstein A.B. SOFTSWITCH [Text] / A.B. Goldstein, B.S. Goldstein. – St. Petersburg: BHV, 2006. – 368 p.
3. Kniazieva N.A. Approach to evaluating the quality of telecommunication services in next generation network [Text] / N.A. Kniazieva, A.S. Kalchenko. – Science and Education a New Dimention: Natural and Technical Science. – II(4)/ – Issue 32/ Budapest, 2014. – P. 68-70.
4. 4. Steklov V.K. Fundamentals of management of networks and telecommunication services [Text] / V.K.Steklov, E.V. Kilchytsky – K.: Technics, 2002. – 348 p.
5. 5. Shestopalov S.V. Calculation of partial criteria of NGN control systems [Text] / S.V. Shestopalov // Bulletin of the DUKT. – 8(2) – K.: DUKT, 2010 – P. 147-153.
6. International Telecommunication Union (ITU), an official Internet representation. – Access mode: <http://www.itu.int> (circulation date 03.10.2017)
7. Single channel queuing system with expectation. – Access mode: http://stu.sernam.ru/book_rop.php?id=54 (circulation date 06.10.2017).
8. Aliyev T.I. Fundamentals of simulation of discrete systems / Aliyev T.I. – SPb: SPbSU ITMO, 2009. – 363 p.

Кунуп Т.В. Аналитическая модель уровня сервисов и приложений сети следующего поколения.

Статья посвящена разработке аналитических моделей уровня сервисов и приложений в сети следующего поколения (NGN). Представлена архитектура уровня сервисов и приложений с централизованной структурой и принцип предоставления новых сервисов и приложений (НСП). Предложены критерии для оценки качества управления предоставлением НСП. На основании учета существующих стандартов качество управления предоставлением НСП оценивается по следующим критериям – вероятность потери заявки на НСП; время предоставления НСП, состоящее из времени ожидания и, собственно, времени обслуживания. Уровень сервисов и приложений NGN представлен в виде системы массового обслуживания вида $M/M/1/m$, для которой разработана аналитическая модель. Отмечено, что при построении аналитической модели уровня сервисов и приложений необходимо учитывать приоритеты заявок на НСП. Предложена аналитическая модель для системы

массового обслуживания вида $M/M/1/3$ с учетом приоритетов заявок на НСП. Получены выражения, которые могут быть применены проектировщиками сетей для определения качества управления предоставлением НСП.

Ключевые слова: NGN, новые сервисы и приложения, уровень сервисов и приложений, система массового обслуживания, аналитическая модель.

Kunup T.V. Analytical model of service and application level of next generation network

The article is devoted to the development of analytical models of the level of services and applications in next generation network (NGN). The architecture of the level of services and applications with a centralized structure and the principle of providing new services and applications (NSA) are presented. Criteria are proposed for assessing the quality of control of the provision of NSA. Based on the consideration of existing standards, the quality of control of the provision of NSA is assessed by the following criteria: the probability of losing an application for NSA; time of granting the NSA, consisting of the waiting time and, in fact, the time of service.

The level of services and NGN applications is presented in the form of a queuing system of the $M/M/1/m$ type and its analytical model is developed. It is noted that when building an analytical model of the level of services and applications, it is necessary to take into account the priorities of applications for NSA. We propose an analytical model for the queuing system of the $M/M/1/3$ type, taking into account the priorities of the applications for the NSA. Expressions were obtained that can be applied by the network designers to determine the quality of control of the provision of NSA.

Key words: NGN, new services and applications, level of services and applications, queuing system, analytical model.

Кунуп Тетяна Василівна – аспірантка кафедри Комп'ютерної інженерії Одеської національної академії харчових технологій, ttvv@ukr.net

Рецензент: д.т.н., проф. **Горбунов М.І.**

Стаття подана: 23.09.1027

УДК 004.94+519.2

**АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ТЕСТУВАННЯ ПСИХОЛОГІЧНОЇ ГОТОВНОСТІ
ДО ВИКОНАННЯ КРИТИЧНИХ ЗАВДАНЬ НА ОСНОВІ ДИНАМІЧНОГО ПІДПISY****Луцків А.М., Моліцький В.В.****ON-LINE SIGNATURE AUTOMATED TESTING SYSTEM FOR PSYCHOLOGICAL
READINESS TO PERFORM CRITICAL TASKS****Lutskev A.M., Molitskyi V.V.**

У статті розглянуто методи та засоби організації автоматизованої комп'ютерної системи аутентифікації оператора за динамічним підписом зорієнтовані на тестування психологічної готовності до виконання критичних задач. Наведено математичне, алгоритмічне та програмне забезпечення, яке лежить в основі роботи такої системи. Для задачі аутентифікації та діагностики поєднано використання стохастичного підходу та апарату штучних нейронних мереж. Запропоновано діагностичні критерії визначення задовільного психоемоційного стану оператора.

Ключові слова: біометрична аутентифікація, готовність до виконання критичних завдань, динамічний підпис

Вступ. Професійна діяльність, яка пов'язана з моніторингом та керуванням критично-важливими системами, до яких належать енергетичні установки, атомні електростанції, небезпечні хімічні виробництва, система авіаперевезень, залізничний транспорт та багато інших, висувають цілу низку вимог до операторів цих систем. Зокрема, до готовності відповідних операторів виконувати свої обов'язки. Під готовністю оператора [1] розуміємо інтегративне особистісне утворення, компонентами якого є тривала і короткочасна готовність, яке забезпечує психологічну придатність до покладеної на нього діяльності. У контексті даної роботи мова йде про систему автоматизованого оцінювання короткочасної готовності. Короткочасна готовність характеризує наявну на даний період часу (від робочого дня/зміни до кількох днів/змін, залежно від умов) психологічну здатність до виконання покладених на нього завдань. Можливі випадки відсутності в оператора короткочасної (ситуативної) психологічної готовності (внаслідок захворювання, травми та ін.) при наявності тривалої готовності. Запропонована система дає змогу автоматизовано оцінювати один із показників короткочасної психологічної готовності — операційну готовність (актуальну можливість до реалізації наявних вмінь і

навичок, необхідних для вирішення професійних завдань).

Постановка проблеми. Для допуску операторів до керування критично важливими системами використовуються різні системи аутентифікації, як правило це багатофакторна аутентифікація. Водночас важливим є визначення психофізичного стану оператора з метою визначення можливості ним виконувати свої службові обов'язки. А саме, чи не перебуває оператор у стані збудження під впливом надмірного стресу чи в зміненому стані свідомості, під дією наркотичних речовин чи алкоголю. Таким чином автоматизовані робочі місця таких співробітників доцільно дообладнувати засобами автоматизованого психологічного тестування. Очевидно, що таке оцінювання готовності на етапі аутентифікації користувача відповідало б критеріям зручності та ефективності. Методи динамічної біометричної аутентифікації базуються на використанні параметрів динаміки підсвідомих рухів людини. У даній роботі авторами пропонується використання динамічного підпису, як одного з видів динамічної біометричної аутентифікації, для задачі діагностики психологічної готовності оператора до виконання відповідальних задач.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Оцінюванню психофізіологічного стану та готовності оператора критичної системи виконувати покладені на нього обов'язки присвячена ціла низка досліджень [1-6], зокрема, в сфері авіації [2], оборони та медицини. Основна увага в працях присвячена експертному оцінюванню психофізіологічного стану людини [1], а також методології зменшення впливу людського фактору на діяльність систем керування критичними системами [2]. У більшості випадків автоматизується процес тестування [3], водночас, оцінювання здійснюється експертним шляхом.

Очевидно, що актуальною є задача створення автоматизованої системи психофізіологічної діагностики на етапі аутентифікації. По суті така система виконуватиме дві функції: аутентифікації та діагностики. Система діагностики психофізіологічних особливостей людини на основі динамічного підпису [5-7] є природною і соціально-прийнятною, а апаратні засоби є доступними за ціною. Експертне оцінювання графологічних даних людини широко використовується для тестування психоемоційного стану [4].

Поширення пристроїв з рукописним вводом суттєво збільшує потенційну аудиторію користувачів систем аутентифікації на основі динамічного підпису, а відповідно й засобів визначення психоемоційної готовності. Наприклад, перед початком руху автомобіля водій вводить динамічний підпис і система аутентифікує водія й визначає його готовність керувати автомобілем. Така система може використовуватись й окремо, виключно, як діагностична.

Мета статті. Метою роботи є обґрунтування вибору методів та засобів, які лежать в основі системи діагностики психофізіологічної готовності оператора до виконання критичних задач. Система діагностики психофізіологічної готовності базується на системі аутентифікації оператора системи.

Виклад основного матеріалу дослідження. При аутентифікації особи на основі підпису розрізняють статичний підпис (off-line) і динамічний (on-line), на основі якого проводиться динамічна біометрична аутентифікація особи. Динамічний підпис отримується за допомогою пристрою введення (пристрою-вказівника) – графічного планшета, або за допомогою інших засобів введення інформації й може бути поданий як параметрична крива з координатами по осях x , y і t у тривимірному просторі, або x , y , p і t , якщо враховується ще й сила натиску. Тобто, динамічний підпис, що отриманий за допомогою планшета – це деяка параметрична крива, яка описує зміну в часі точки з координатами $(x(t), y(t), t) \in \square$ на площині планшета (рис.1).

У процесі відтворення підпису людина може розпочинати відтворення підпису в різних точках планшета й відтворювати підпис із різним розмахом. Для усунення впливу цих випадкових факторів, здійснюється його попереднє опрацювання (нормування) [5]. У роботі [5] опрацювання підпису та аутентифікація здійснюється у рамках стохастичної моделі: моделлю нормованого динамічного підпису виступають випадкові процеси $\xi_0(\omega, t)$ і $\eta_0(\omega, t)$, які описують траєкторії руху пера вздовж осей x та y , а для отримання нормованого підпису необхідно провести наступні операції над ненормованим підписом $\xi(\omega, t)$ і $\eta(\omega, t)$:

$$\xi_0(\omega, t) = \frac{\xi\left(\omega, \frac{1}{\alpha_\xi(\omega)} \cdot t\right) - B_\xi(\omega)}{A_\xi(\omega)}, \quad (1)$$

$$\eta_0(\omega, t) = \frac{\eta\left(\omega, \frac{1}{\alpha_\eta(\omega)} \cdot t\right) - B_\eta(\omega)}{A_\eta(\omega)}, \quad (2)$$

де $A_\xi(\omega)$ і $A_\eta(\omega)$ – випадкові величини, які враховують варіацію підпису (розмах);

$\xi_0(\omega, t)$ і $\eta_0(\omega, t)$ – випадкові процеси, що відповідають компонентам нормованого підпису (рис.2);

$\alpha_\xi(\omega)$ і $\alpha_\eta(\omega)$ – випадкові величини, що відображають мінливість тривалості написання динамічного підпису;

$B_\xi(\omega)$ і $B_\eta(\omega)$ – випадкові величини, які враховують початкову точку відтворення динамічного підпису і дорівнюють координатам (x, y) на площині в початковий момент часу.

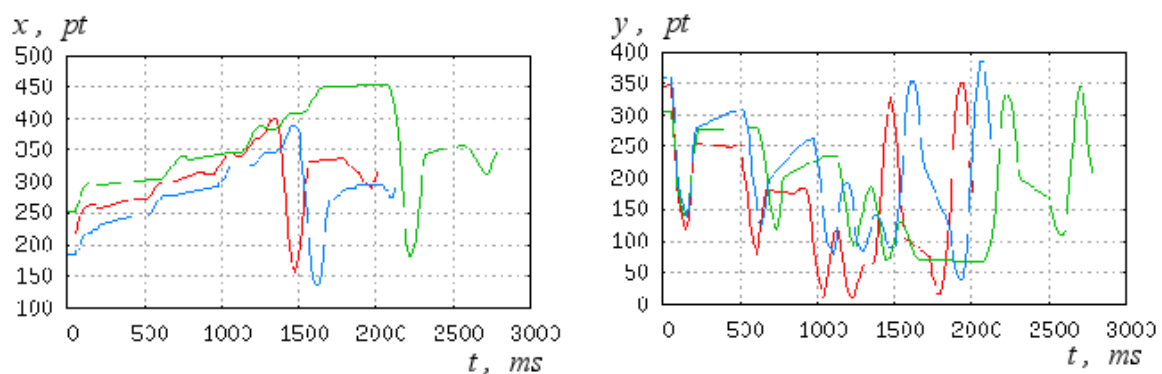


Рис. 1. Графіки трьох реалізацій компонент $x(t)$ (зліва) та $y(t)$ (справа) динамічного підпису

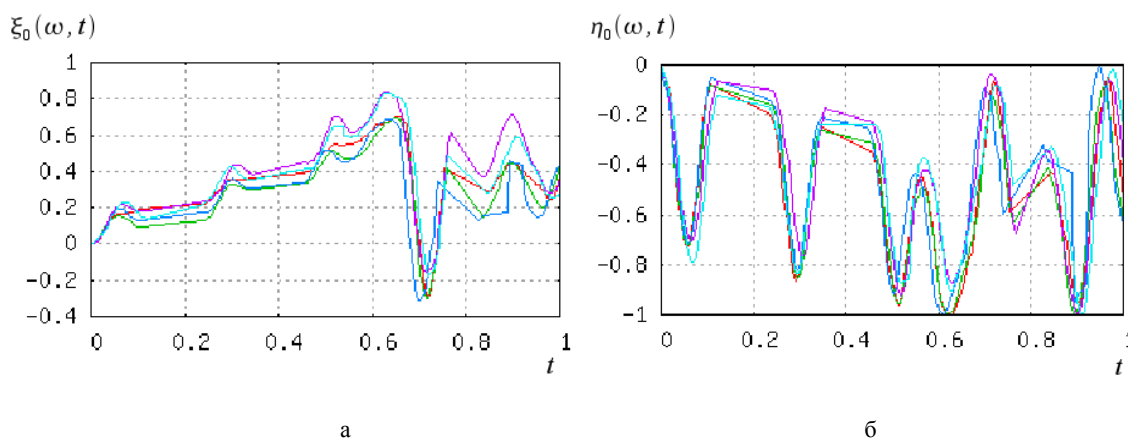


Рис. 2. Реалізації процесу $\xi_0(\omega, t)$ (а) і $\eta_0(\omega, t)$ (б) першої і другої компоненти нормованого підпису особи, після попередньої обробки

Можливим є урахування зміни сили натиску й кута нахилу пера відносно площини планшету в часі. Ці параметри можуть бути подані у вигляді випадкових процесів, аналогічно до наведених вище. У даному випадку, аутентифікаційні ознаки особи базуються на статистичних характеристиках динамічного підпису - еталонним підписом виступає математичне сподівання, а коридор допуску визначається на основі середньоквадратичного відхилення. Оскільки набір реалізацій динамічних підписів підпорядковується нормальному закону розподілу [5], то критерієм допуску особи в систему буде належність введеного під час аутентифікації підпису законного власника «коридору», відносно еталонного підпису (рис.3).

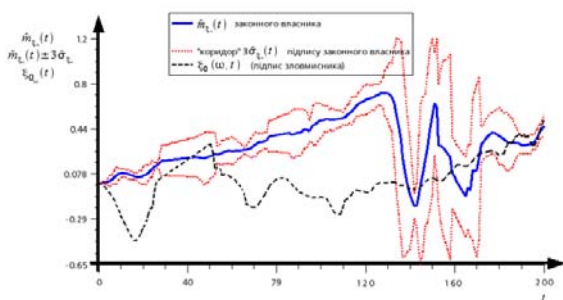


Рис. 3. Нормований підпис у «коридорі» $m \pm 3\sigma$ і підпис зломисника (процеси $\xi_0(\omega, t)$)

Таким чином, шляхом використання статистичних характеристик динамічного підпису в якості аутентифікаційних ознак аутентифікується оператор. Водночас, параметри, які враховують мінливість тривалості написання динамічного підпису, розмах та початкову точку відтворення $\{A_\xi(\omega), A_\eta(\omega), B_\xi(\omega), B_\eta(\omega), \alpha(\omega)\}$ й не є репрезентативними для аутентифікації, не використовуються. Очевидно, що вони

відображають психоемоційний стан й на основі їх аналізу можна здійснювати психоемоційну діагностику.

Авторами дослідження пропонується поєднувати використання стохастичних моделей [5] для аутентифікації та апарату штучних нейронних мереж для діагностики психоемоційного стану. Це дасть змогу зменшити розмір початкової вибірки й відносно просто коригувати параметри системи діагностики в процесі її роботи. Водночас, в процесі роботи така система буде самонавчатись на основі виконання кожної наступної аутентифікації.

Штучні нейронні мережі є моделлю нейронної структури людського мозку, який, навчається на основі досвіду. Системи побудовані на основі штучних нейронних мереж широко використовуються у сфері розпізнавання образів, для побудови моделей різних нелінійних і важко описуваних в рамках класичного математичного апарату систем, а також для прогнозування розвитку цих систем у часі.

На рисунку 4 показано узагальнену схему роботи системи в режимах реєстрації (а) та аутентифікації (б). Розглянемо дані схеми детальніше.

На етапі реєстрації користувача (рис. 4а) відбувається навчання штучної нейронної мережі. Для цього на її вхід подаються коректні та хибні підписи. Коректними є такі, які дають змогу правильно аутентифікувати користувача й вказують на його працездатний психоемоційний стан. Некоректними є підписи зломисника, або такі, які не відповідають працездатному психоемоційному стану.

Емпірично встановлено, що мінімально необхідна кількість підписів на етапі реєстрації користувача для навчання штучної нейронної мережі становить 10 одиниць. Система проводить нормування цих підписів (1) та оцінювання статистичних характеристик (2) нормованого підпи-

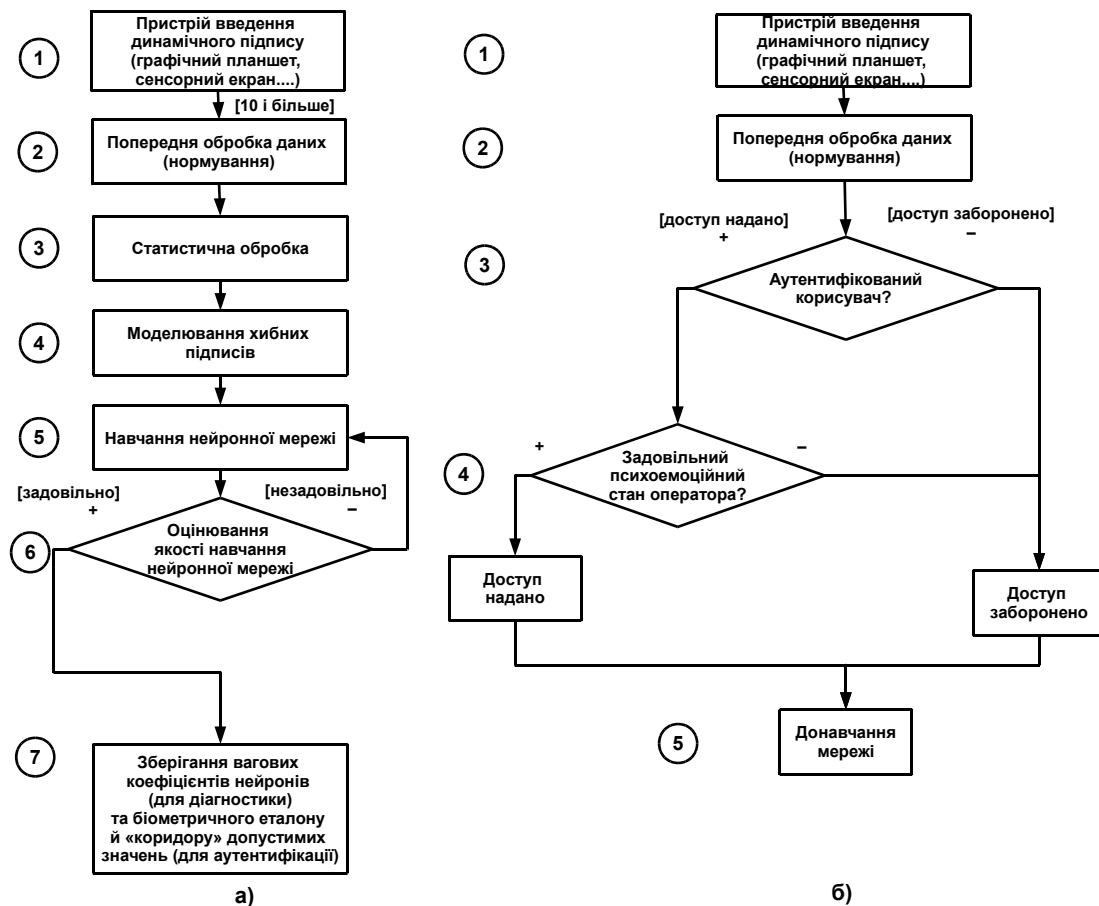


Рис. 4. Загальна схема роботи системи аутентифікації та діагностики
а – реєстрація користувача; б – аутентифікація користувача

су (випадкових процесів $\xi_0(\omega, t)$ і $\eta_0(\omega, t)$ та параметрів $\{A_\xi(\omega), A_\eta(\omega), B_\xi(\omega), B_\eta(\omega), \alpha(\omega)\}$. Статистичні характеристики випадкових процесів $\xi_0(\omega, t)$ і $\eta_0(\omega, t)$ використовуються для аутентифікації, а статистичні характеристики параметрів — для психоемоційної діагностики. Як було показано в [5], статистичні характеристики цих параметрів підпорядковані нормальному закону розподілу. На основі ймовірнісних характеристик динамічного підпису аутентифікованої особи система здійснює моделювання хибних підписів (4), тобто таких які відповідають незадовільному психоемоційному стану. Моделюються значення параметрів $\{A_\xi(\omega), A_\eta(\omega), B_\xi(\omega), B_\eta(\omega), \alpha(\omega)\}$, які виходять за межі діапазону.

Навчання штучної нейронної мережі (5) здійснюється за допомогою навчальної і тестової вибірок. За допомогою навчальної вибірки здійснюється навчання штучної нейронної мережі (формується коефіцієнти нейронів), а за допомогою тестової вибірки проводиться оцінювання якості навчання (6). На основі статистичних характеристик введених користувачем підписів формується база з 10000 хибних підписів. У процесі навчання на вхід нейронної мережі надходять згенеровані хибні

підписи, а також багаторазово вводяться ті, які введені користувачем. Черговість введення хибних підписів і задовільних є випадковою.

Важливим аспектом використання штучних нейронних мереж є вибір їх типу (рис.5). Для аналізу динамічного підпису можна використати як нейронні мережі прямого поширення (багаторівневий перцептрон), так і рекурентні нейронні мережі. У випадку використання нейронної мережі прямого поширення вхідними сигналами будуть значення параметрів $\{A_\xi(\omega), A_\eta(\omega), B_\xi(\omega), B_\eta(\omega), \alpha(\omega)\}$, а виходом буде значення, яке визначає задовільність психоемоційного стану особи й лежить у межах від 0 до 1. Перевищення порогового значення 0,7 вказує, що підпис вводився у задовільному психоемоційному стані, а менше значення вказує на незадовільний психоемоційний стан.

На відміну від нейронних мереж прямого поширення у рекурентних нейронних мережах з'єднання між вузлами формують орієнтований граф і створюється такий внутрішній стан мережі, що дає їм змогу проявляти динамічну поведінку в часі. Відповідно така мережа може використовувати свою внутрішню пам'ять для обробки довільних послідовностей входів. Завдяки цьому даний клас штучних нейронних мереж використовують для

таких задач, як розпізнавання несеgmentованого безперервного рукописного тексту та розпізнавання мовлення. Однак, задача діагностики психоемоційного стану є відносно простою, а кількість вхідних параметрів є сталою, тому використання штучних нейронних мереж прямого поширення є виправданим у даному випадку.

На етапі аутентифікації (рис.4б) підпис нормується (2), здійснюється аутентифікація (3), на основі параметрів $\{A_{\xi}(\omega), A_{\eta}(\omega), B_{\xi}(\omega), B_{\eta}(\omega), \alpha(\omega)\}$, які подаються на вхід штучної нейронної мережі, визначається (4) чи задовільний психоемоційний стан аутентифікованого оператора. Діагностичними ознаками динамічного підпису виступатимуть ваги нейронів мережі, які будуть постійно уточнюватися в процесі роботи системи. У процесі роботи системи аутентифікації відбувається донавчання (5), яке враховує нові особливості оператора.

Таким чином, аутентифікаційними ознаками при використанні нейромережі будуть виступати статистичні характеристики нормованого підпису, а для визначення психоемоційного стану будуть використовуватись значення функції активації на вихідному шарі нейромережі.

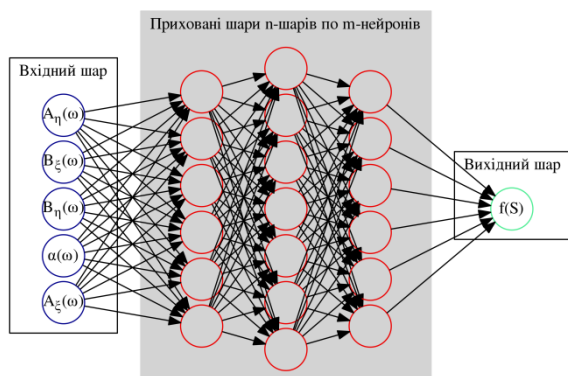


Рис. 5. Узагальнена схема роботи штучної нейронної мережі при аналізі одного підпису

Система аутентифікації та діагностики реалізована з використанням технології Java, тому для роботи з штучними нейронними мережами можна використати одну із сумісних бібліотек: TensorFlow [8] або MLlib [9]. Ці бібліотеки надають змогу досить просто і швидко будувати нейронні мережі різної складності й надають API-функції для даної технології програмування Java. Ще однією апробованою бібліотекою є nVidia cuDNN [10], яка має додатковий програмний інтерфейс для роботи з Java - jcuDnn. Наведені програмні засоби відповідають критеріям доступності за ціною, надійністю та простотою їх використання, а також надають можливість масштабування в разі необхідності. Водночас, усі наведені бібліотеки мають внутрішні механізми для розпаралелювання

на високопродуктивних апаратних засобах. У ході дослідження використано бібліотеку TensorFlow.

Розвитком досліджень у даному напрямку є визначення ефективності використання LSTM-мереж для аналізу динамічного підпису. А також, разом з аналізом динамічного підпису, можна виконувати аналіз його статичного двовимірного зображення шляхом використання мереж прямого поширення, а саме згорткових нейронних мереж.

Висновок. Запропоновано алгоритмічне та програмне забезпечення роботи системи аутентифікації людини з метою оцінювання психоемоційної готовності. Для задачі аутентифікації та діагностики поєднано використання стохастичного підходу та апарату штучних нейронних мереж. Обґрунтовано вибір архітектури штучної нейронної мережі. Запропоновано підходи до навчання штучної нейронної мережі шляхом моделювання динамічних підписів користувача на основі його ймовірнісних характеристик.

Запропоновано програмні бібліотеки для розв'язання поставленої задачі.

Література

1. Кокун О.М. Збірник методик для діагностики психологічної готовності військовослужбовців військової служби за контрактом до діяльності у складі миротворчих підрозділів: Методичний посібник. / Кокун О.М., Пішко І.О., Лозінська Н.С., Копаниця О.В., Малхазов О.Р. // – К.: НДЦ ГП ЗСУ, 2011. – 281 с.[Електронний ресурс] Режим доступу: URL: http://lib.iitta.gov.ua/11049/1/Діагност_психол_готовнос ти.pdf
2. Gerardo De Maria. Human-Machine Interaction in Aviation: A Future Threat or Resource. American Journal of Science and Technology. Vol. 3, No. 1, 2016, pp.25-42.
3. Mark E. Maruish. The Use of Psychological Testing for Treatment Planning and Outcomes Assessment: Volume 1: General Considerations. - 3rd.ed. London, Lawrence Erlbaum Associates, Publishers, 2004. - 528 p.
4. Rundquist E. The Assessment of Graphology / E. A. Rundquist // [Електронний документ] Режим доступу: URL: https://www.cia.gov/library/center-for-the-study-of-intelligence/kent-csi/vol3no3/html/v03i3a04p_0001.htm
5. Луцків А.М. Математичне моделювання і обробка динамічно введеного підпису для задачі аутентифікації особи у інформаційних системах: Дис. ...кандидата техн.наук: 01.05.02; - Захищена 03.06.2008; Затв. 03.12.2008. - Тернопіль, 2008. - 276с.
6. Heinen M. R. Handwritten Signature Authentication using Artificial Neural Networks. IEEE International Conference on Neural Networks - Conference Proceedings. 10.1109/IJCNN.2006.247206. / Heinen Milton Roberto, Osorio Fernando. // - 2006. - pp.5012 - 5019.
7. Kshitij S. Off-line Handwritten Signature Verification using Artificial Neural Network Classifier / Kshitij Sisodia, S. Mahesh Anand // International Journal of Recent Trends in Engineering, Vol 2, No. 2. - ACADEMY PUBLISHER, ACEEE, 2009. - pp.205-207.

8. TensorFlow. An open-source software library for Machine Intelligence [Електронний ресурс] Режим доступу: URL: <https://www.tensorflow.org/>
9. MLlib | Apache Spark. *MLlib* is Spark's machine learning (ML) library. [Електронний ресурс] Режим доступу: URL: <https://spark.apache.org/docs/latest/ml-guide.html>
10. NVIDIA cuDNN. The NVIDIA CUDA Deep Neural Network library (*cuDNN*) [Електронний ресурс] Режим доступу: URL: <https://developer.nvidia.com/cudnn>

References

1. Kokun O.M. Zbirnyk metodyk dlja diagnostyky psykologichnoji ghotovnosti vijskovosluzhbovciv vijskovoji sluzhby za kontraktom do dijalnosti u skladi myrotvorchykh pidrozdliv: Metodychnyj posibnyk. / Kokun O.M., Pishko I.O., Lozinsjka N.S., Kopanycja O.V., Malkhazov O.R. // – К.: NDC GhP ZSU, 2011. – 281 p. [Electronic resource] Access mode: URL: http://lib.iitta.gov.ua/11049/1/Diagnost_psykhol_ghotovnosti.pdf
2. Gerardo De Maria. Human-Machine Interaction in Aviation: A Future Threat or Resource. American Journal of Science and Technology. Vol. 3, No. 1, 2016, pp.25-42.
3. Mark E. Maruish. The Use of Psychological Testing for Treatment Planning and Outcomes Assessment: Volume 1: General Considerations. - 3rd.ed. London, Lawrence Erlbaum Associates, Publishers, 2004. - 528 p.
4. Rundquist E. The Assessment of Graphology / E. A. Rundquist // [Electronic resource] Access mode: URL: https://www.cia.gov/library/center-for-the-study-of-intelligence/kent-csi/vol3no3/html/v03i3a04p_0001.htm
5. Lutskiv A.M. Mathematical modeling and processing of the on-line signature for the purpose of the person authentication in the information systems: PhD thesis on candidate on technical sciences: 01.05.02; - Defended 03.06.2008; Approved 03.12.2008. - Ternopil, 2008. - 276p.
6. Heinen M. R. Handwritten Signature Authentication using Artificial Neural Networks. IEEE International Conference on Neural Networks - Conference Proceedings. 10.1109/IJCNN.2006.247206. / Heinen Milton Roberto, Osorio Fernando. // - 2006. - pp.5012 - 5019.
7. Kshitij S. Off-line Handwritten Signature Verification using Artificial Neural Network Classifier / Kshitij Sisodia, S. Mahesh Anand // International Journal of Recent Trends in Engineering, Vol 2, No. 2. - ACADEMY PUBLISHER, ACEEE, 2009. - pp.205-207.
8. TensorFlow. An open-source software library for Machine Intelligence [Electronic resource] Access mode: URL: <https://www.tensorflow.org/>
9. NVIDIA cuDNN. The NVIDIA CUDA Deep Neural Network library (*cuDNN*) [Electronic resource] Access mode: URL: <https://developer.nvidia.com/cudnn>
10. MLlib | Apache Spark. *MLlib* is Spark's machine learning (ML) library. [Electronic resource] Access mode: URL: <https://spark.apache.org/docs/latest/ml-guide.html>

Луцків А.М., Молицький В.В. Автоматизированная система тестирования психологической готовности к выполнению критических задач на основе динамической подписи

В статье рассмотрены методы и средства для организации автоматизированной компьютерной системы аутентификации оператора по динамической подписи для задачи тестирования психологической готовности к выполнению критических задач. Приведены математическое, алгоритмическое и программное обеспечение, на котором базируется работа такой системы. Для задачи аутентификации и диагностики объединены использования стохастического подхода и аппарата искусственных нейронных сетей. Предложено диагностические критерии определения удовлетворительного психоэмоционального состояния оператора.

Ключевые слова: биометрическая аутентификация, готовность к выполнению критических задач, динамическая подпись

Lutskiv AM, Molitsky V. Automated testing system for psychological readiness to perform critical tasks based on dynamic signature

The article deals with methods and tools focused on automated computer system organization of operator authentication with an on-line signature in order to test psychological readiness to perform critical tasks. The mathematical, algorithmic and software tools being at the basis of such system are presented. For the purpose of authentication and diagnostics the combination of stochastic approach and artificial neural networks is used. Diagnostic criteria for determining the satisfactory psychoemotional state of the operator are proposed.

Keywords: biometric authentication, readiness to perform critical tasks, on-line signature

Луцків А. М. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних систем та мереж, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, e-mail: landriy@gmail.com

Молицький В. В. – магістр кафедри комп'ютерних систем та мереж, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, e-mail: molitskyi@gmail.com

Рецензент: д.т.н., проф. **Смолій В.М.**

Стаття подана 23.08.2017

УДК 681.3.07

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОДСИСТЕМЫ ПОДГОТОВКИ КОМАНД В ЯДРАХ СОВРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССОРОВ

Недзельский Д.А.

EFFICACY OF THE COMMAND GENERATING SUBSYSTEM IN MODERN PROCESSOR CORES

Nedzelskyi D.A

В статье рассмотрены особенности современных конвейерных ядер процессоров. Разработана модель подсистемы подготовки команд при выполнении программ, состоящих из вычислительных команд и команд переходов различного типа, а также методика определения эффективности реальной подсистемы подготовки команд в сравнении с идеальной. Получены аналитические выражения. Исследована эффективность подсистемы подготовки команд в зависимости от соотношения времени перезагрузки конвейера после перехода и времени генерации при отсутствии переходов, частоты команд переходов, вероятности совершения перехода. Рис. 1, табл. 1, ист. 4.

Ключевые слова: процессор, ядро, конвейер команд, эффективность, переход

Введение. В настоящее время в ядрах современных процессоров используются разнообразные методы увеличения производительности, такие как:

- максимально возможные частоты;
- конвейерность;
- значительное количество специализированных функциональных устройств и буферов различного размера;
- предсказание ветвлений;
- выполнение команд вне очереди;
- суперскалярность;
- виртуальная многопоточность и ряд других.

Длина реальных конвейеров команд в ядрах современных процессоров составляет не менее 10 этапов. Ряд первых этапов конвейера ядра выполняет функции по чтению команд из подсистемы памяти, буферированию их, дешифрации и подготовке к выполнению. Совокупность этих этапов образует подсистему подготовки команд. Последующие этапы конвейера команд ядра выполняют подготовленные команды. Несмотря на использованные разнообразные методов увеличения производительности реальная

производительность ядер процессоров далека от теоретической производительности.

В частности, в работе [1] приведена методика и оценки коэффициентов использования, как подсистемы подготовки команд, так и подсистемы выполнения команд, состоящей из специализированных функциональных устройств (ΦU_i) ядра процессора, для любых значений i и для любых типов программ в самых благоприятных условиях работы конвейерного ядра при отсутствии «помех». Даже при отсутствии «помех» коэффициенты использования специализированных ΦU_i далеки от своих предельных значений.

В работе [2] рассмотрены эффективности некоторых структурных решений по уменьшению отрицательного влияния команд условных переходов.

Более полные работы по исследованию влияния на производительность подсистемы подготовки команд различных параметров как структуры подсистемы подготовки команд, так и характеристик выполняемых программ неизвестны.

Цель статьи. Разработка модели и получение аналитических выражений по оценке эффективности подсистемы подготовки команд в зависимости от параметров, как структуры ядра, так и характеристик выполняемых программ.

Модель структуры подсистемы подготовки команд

Для исследования реальная структура ядра процессора представлена в виде модели, состоящей из 2 фаз – подсистемы подготовки команд и подсистемы выполнения подготовленных команд с буфером между ними (рис.).

Эффективность функционирования подсистемы подготовки команд исследуется при следующих условиях:

- на вход подсистемы подготовки команд поступает бесконечная последовательность команд программы;

— исследуемые программы выполняются в наиболее благоприятных с точки зрения производительности условиях (в частности, вся необходимая информация находится в кэш-памяти ядра);

— размеры буферов между ступенями подсистемы подготовки команд и буфера между подсистемой подготовки команд и подсистемой выполнения подготовленных команд достаточной величины;

— с вероятностью ω_{Π} очередная команда программы это команда перехода любого типа (то ли это команда безусловного перехода, то ли это команда условного перехода);

— с вероятностью $1 - \omega_{\Pi}$ очередная команда программы это команда, которая выполняется в подсистеме выполнения команд (вычислительная команда);

— q - вероятность того, что переход, определенный командой перехода, будет выполнен и будет осуществлена перезагрузка конвейера;

— $1 - q$ - вероятность того, что переход, определенный командой перехода, не будет выполнен и перезагрузки конвейера не будет;

— S - количество команд генерируемых подсистемой подготовки команд в одном пакете (группе). Если $S=1$, то в каждом такте генерируется одна команда.

— A - время в тактах генерации первого пакета (команды) после перехода (время перезагрузки конвейера в результате выполнения перехода);

— B - время в тактах генерации пакета (команды) при отсутствии перехода (при отсутствии перезагрузки конвейера).

Определим среднее время генерации одного пакета подсистемой подготовки команд следующим образом

$$t_{\text{ПАК}} = (1 - \omega_{\Pi}) * B + \omega_{\Pi} * [q * A + (1 - q) * B] \quad (1)$$

После упрощения получим

$$t_{\text{ПАК}} = B + \omega_{\Pi} * q * (A - B) \quad (2)$$

Если в пакете S команд, то среднее время генерации одной команды

$$t_{\text{КОМ}} = \frac{t_{\text{ПАК}}}{S} = \frac{B + \omega_{\Pi} * q * (A - B)}{S} \quad (3)$$

В идеальном конвейере подсистемы подготовки команд

$$t_{\text{ПАК}}^{\text{ИДЕАЛ}} = B \quad (4)$$

Производительность подсистемы подготовки команд это величина обратная среднему времени подготовки одной команды. Тогда производительность реальной подсистемы подготовки команд

$$PP_{\text{РЕАЛ}} = \frac{1}{t_{\text{КОМ}}} = \frac{t_{\text{ПАК}}}{S} = \frac{S}{B + \omega_{\Pi} * q * (A - B)} \quad (5)$$

Производительность идеальной подсистемы подготовки команд

$$PP_{\text{ИДЕАЛ}} = \frac{S}{B} \quad (6)$$

Времена подготовки команд выражены в тактах ядра процессора.

Определим эффективность функционирования подсистемы подготовки команд в виде отношения реальной производительности подсистемы подготовки команд к идеальной производительности подсистемы подготовки команд.

$$R = \frac{PP_{\text{РЕАЛ}}}{PP_{\text{ИДЕАЛ}}} = \frac{S * B}{S * [B + \omega_{\Pi} * q * (A - B)]} = \frac{1}{1 + \omega_{\Pi} * q * (\frac{A}{B} - 1)} \quad (7)$$

В таблице приведены результаты зависимости эффективности функционирования подсистемы подготовки команд (коэффициента R) от параметров ω_{Π} , q , A/B .

Выводы

1. Эффективность подсистем подготовки команд реальных ядер процессоров всегда меньше 1 при наличии в программах команд переходов, $q \neq 0$, $A/B \neq 1$.

2. При $A \rightarrow B$, т.е. когда время перезагрузки конвейера подсистемы подготовки команд при переходе приближается к времени работы ступени конвейера при отсутствии переходов, эффективность подсистемы подготовки команд стремится к предельному значению, равному 1, независимо от значения переменных ω_{Π} и q .

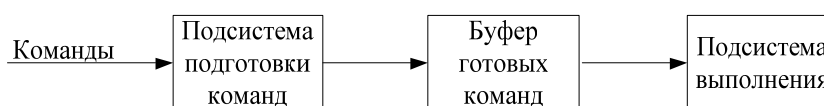


Рис. Структура модели ядра процессора

Таблица

Зависимости эффективности функционирования подсистемы подготовки команд (коэффициента R) от параметров ω_{Π} , q , A/B

ω_{Π}	q	A/B	R
0.05	0.98	6	0.80321
		4	0.87184
		2	0.95329
	0.95	6	0.80808
		4	0.87527
		2	0.95465
0.10	0.98	6	0.67114
		4	0.77280
		2	0.91075
	0.95	6	0.67797
		4	0.77821
		2	0.91324
0.15	0.98	6	0.57639
		4	0.69396
		2	0.98551
	0.95	6	0.58394
		4	0.70052
		2	0.87527
0.20	0.98	6	0.50505
		4	0.62972
		2	0.83612
	0.95	6	0.51282
		4	0.63694
		2	0.84034

3. При отсутствии в программах команд переходов ($\omega_{\Pi} = 0$) эффективность подсистемы подготовки команд стремится к предельному значению, равному 1.

4. При увеличении ω_{Π} эффективность подсистемы подготовки команд существенно уменьшается.

5. Отношение A/B характеризует длину конвейера подсистемы подготовки команд. В подсистемах подготовки команд реальных ядер процессоров A и B отличаются не менее чем в 5-6 раз. Вот почему при разработке подсистем подготовки команд ядер времени работы отдельных ступеней конвейера подсистем подготовки команд стремятся сделать одинаковыми, а количество ступеней минимально возможным.

Л и т е р а т у р а

1. Недзельский Д.А. Исследование эффективности одноядерных суперскалярных вычислительных систем / Д.А. Недзельский. - Л.: Вісник СХУ ім. В. Даля, 2011. - №15 (169) Ч. 2. - С. 133-140.
2. Недзельский Д.А. Исследование и анализ эффективности структурных методов компенсации влияния команд переходов на производительность конвейерных ядер процессоров / Д.А. Недзельский. - Л.: Вісник СХУ ім. В. Даля, 2013. - №16 (205), Ч. 2. - С.174-181.
3. Орлов С.А. Организация ЭВМ и систем. 2-е изд. / С.А. Орлов, Б.Я. Цилькер – СПб.: Питер, 2011. – 688 с.
4. Клейнрок Л. Вычислительные системы с очередями. - М.: Мир, 1979. – 600 с.

References

1. Nedzelskij D.A. Research of effectiveness one core superscalar computers. Announcer of the South Ukraine University of V. Dal. - 2011. - №15 (169) Ch. 2. - pp. 133-140.
2. Nedzelsky D.A. Research and analysis of the effectiveness of structural methods for compensating the influence of the teams of transitions on the performance of pipeline processors. Announcer of the South Ukraine University of V. Dahl. 2013. - No. 16 (205), Part 2. - P.174-181.
3. Orlov S.A., Cilker B.YA. Organization EVM and systems. 2nd Edition. SPb.:Piter, 2011. – 688 p.
4. Klienrock L. Computer systems with queues. - M.: Mir, 1979. – 600p.

Недзельський Д.О. Дослідження ефективності підсистеми підготовки команд в ядрах сучасних процесорів

Розглянуті особливості сучасних конвейерних ядер процесорів. Розроблена модель підсистеми підготовки команд при виконанні програм, що складаються з обчислювальних команд і команд переходів різного типу, а також методика визначення ефективності реальної підсистеми підготовки команд порівняно з ідеальною. Отримані аналітичні вирази. Досліджена ефективність підсистеми підготовки команд залежно від співвідношення часу перезавантаження конвеєра після переходу і часу генерації за відсутності переходів, частоти команд переходів, вірогідності здійснення переходу. Рис. 1, таблиця. 1, джерел. 4.

Ключові слова: процесор, ядро, конвеєр команд, перехід, ефективність.

Nedzelskyi D.A. Research of the efficiency of the command generating subsystem in modern processor cores

Features of modern pipelined processor cores are considered. The model of the command generating subsystem is developed for the execution of programs consisting of computational commands and transition commands of various types, as well as a technique for determining the effectiveness of the real command generating subsystem in comparison with the ideal one. Analytical expressions are obtained. The efficiency of the command generating subsystem has been studied depending on the ratio of the reboot time of the pipeline after the transition and the generation time in the absence of transitions, the frequency of the transition commands, and the probability of the transition. This article contains fig. 1, table 1, and 4 references.

Keywords: processor, kernel, command pipeline, transition, efficiency.

Недзельський Дмитро Олександрович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерної інженерії факультету інформаційних технологій та електроніки Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. mail: nedzelsky946@gmail.com

Рецензент: д.т.н., проф. **Рязанцев О.І.**

Стаття подана 20.08.2017

УДК 004.031.6:681.5

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ
ВІДДАЛЕНОГО КЕРУВАННЯ ГРУПОЮ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ****Пархоменко А.В., Гладкова О.М., Кравченко О.П., Кравченко Д.П.****RESEARCH&DEVELOPMENT OF AUTOMATED SYSTEM FOR MOVING
OBJECTS GROUP REMOTE CONTROL****Parkhomenko A.V., Gladkova O.M., Kravchenko O.P., Kravchenko D.P.**

У статті розглянуто питання дослідження та розробки мікроконтролерної системи віддаленого керування рухомими об'єктами. Представлено архітектуру системи, принципи її функціонування та контролю. Виконано порівняльний аналіз декількох варіантів реалізації системи на основі готових програмно-апаратних платформ (Arduino, Raspberry Pi), а також власних спроектованих модулів керування. Досліджено вплив конструктивної реалізації на метрики якості системи.

Ключові слова: рухомий об'єкт, програмно-апаратна платформа, мікроконтролер, ефект присутності, центральний блок керування, метрики якості.

Вступ. Сучасна концепція Інтернету речей тісно пов'язана з «розумними» технологіями та системами: Розумний будинок, Розумний транспорт, Розумний бізнес, Розумне місто та ін. Їх використання дозволяє зробити життя суспільства більш комфортним та заощадити ресурси. Тим не менш, ефективне управління, надійність та безпека таких систем залишаються відкритими питаннями[1].

Сьогодні Розумні транспортні системи використовуються для організації ефективних зелених перевезень у різноманітних сферах людської діяльності. Вони дозволяють покращити безпеку руху, пропускну здатність шляхів, знизити навантаження на людину та негативний вплив транспорту на навколишнє середовище.

Перш за все – це інформаційні системи, що забезпечують користувачів даними про рух в реальному режимі часу, можливості паркування, дорожні пригоди, завантаженість транспортних шляхів та ін. [2].

По-друге – це системи безпілотного керування, що володіють можливостями розпізнавання дорожніх знаків, сигналів світлофору, стаціонарних та рухомих перешкод та ін.[2].

Третій напрямок – це інтелектуальні системи що дозволяють контролювати стан транспортного засобу, оточуючого середовища, а також водія [3-6].

Четвертий напрямок – це різноманітні виробничі та логістичні транспортні системи, що використовуються в різних галузях економіки [7].

П'ятий напрямок – це системи віддаленого керування рухомими об'єктами [8-12]. Дані системи мають багато потенційних застосувань та увага до них постійно зростає. Завдяки тому, що користувач може знаходитись на значній відстані від керованого рухомого об'єкта, такі об'єкти можуть використовуватись в небезпечних або недосяжних місцях (військові місії, рятувальні операції в зонах екологічних катастроф або аварій). Крім того, використання таких систем може бути доцільним в промисловості, сільському та домашньому господарстві, а також у сфері пізнавально-ігрових розваг.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомою системою керування перегонами автомобілів [11] складається з радіокерованої моделі автомобіля та спеціального програмного забезпечення (ПЗ) для мобільного телефону. Радіокерований автомобіль, у свою чергу, містить у своєму складі акселерометр та Bluetooth приймач. На мобільний телефон, що повинен містити Bluetooth передавач, встановлюється необхідне ПЗ. Оператор за допомогою інтерфейсу, встановленого на телефоні ПЗ, керує радіокерованим автомобілем. Також, система у режимі реального часу передає інформацію про швидкість автомобіля на мобільний телефон.

Головним недоліком цієї системи є малий радіус дії Bluetooth передавача (до 10м), що не дозволяє використовувати систему для керування рухомими об'єктами на більших відстанях. Крім того, в системі не передбачені можливості

налаштування рухомих об'єктів, а також віддалене керування декількома об'єктами.

Система автоматизованого керування робочим органом транспортної мережі за допомогою радіокерування [12], складається з робочого органу транспортної мережі, транспортного шляху з навантажувально-розвантажувальними постами, при цьому в робочому органі транспортної мережі встановлений блок пам'яті, забезпечений відповідними командами блока зв'язку, з'єднаного з пультом радіо-дистанційного керування, укомплектованим програмним мікропроцесором, і через блок зв'язку з'єднаного з пультом керування системою та блоком виводу інформації. Вказана система працює на частоті радіохвиль 27 МГц.

Недоліками цієї системи є відсутність прийому/передачі відео-зображення для контролю за процесом руху та використання діапазону СВ - Citizen's Band (27 МГц), що має великий радіус дії, але не гарантує стійкого і надійного зв'язку, оскільки є чутливим до впливу побутових і промислових перешкод. Крім того, він має слабку проникаючу здатність, а отже, не призначений для використання в умовах міської забудови. Також, для роботи на цій частоті практично не існує компактного обладнання, що не дозволяє змінювати швидко дислокацію системи.

Постановка проблеми. Таким чином, існуючі підходи до реалізації автоматизованої системи віддаленого керування рухомими об'єктами не передбачають можливостей роботи з групою об'єктів, не забезпечують потрібного радіусу віддаленого керування (50 метрів та більше), а також мобільності, завадостійкості та надійності функціонування системи.

Отже, задача створення автоматизованої системи віддаленого керування рухомими об'єктами, що надає можливість керування рухом декількох об'єктів одночасно, налаштування їх параметрів, дозволяє створити ефект присутності операторів у досліджуваній зоні для контролю траєкторії та умов руху, а також надає актуальну інформацію про поточний стан рухомих об'єктів диспетчеру є актуальною.

Мета статті. Для ефективної розробки системи автоматизованого віддаленого керування групою рухомих об'єктів, необхідно розробити архітектуру системи, запропонувати конструктивну реалізацію та алгоритм керування, що забезпечать потрібний радіус дії системи, низьке енергоспоживання, дозволять знизити собівартість системи та підвищити ефективність функціонування.

Результати досліджень. Як показали проведені дослідження, правильний вибір системної архітектури, конфігурації і компонентів може забезпечити значну синергію складових системи та, відповідно, її надійність та адаптованість.

Архітектура системи може варіюватися, але зазвичай складається з:

- датчиків для сприйняття оточення та відповідно контролю руху;

- платформи, що забезпечує пересування, комунікаційну інфраструктуру та живлення системи;

- системи управління, що обумовлює рівень автономії та інтелекту рухомого об'єкта та може використовувати як класичний алгоритмічний контроль, так і більш складні методи (наприклад, ієрархічне навчання, адаптивний контроль та ін.);

- людино-машинного інтерфейсу, що залежить від того, як працює контрольований об'єкт (джойстик, панель керування монітора, мобільний телефон, мовні команди та ін.) [7];

- комунікацій між людиною, яка приймає рішення, та об'єктом, або між декількома об'єктами, що мають забезпечувати точність і секретність обміну даними, при цьому спосіб зв'язку може бути різним, від радіозв'язку до волоконної оптики [1].

З метою зменшення термінів розробки та вартості подібних систем, проектувальники сьогодні активно використовують готові програмно-апаратні платформ та інші повторно-використовувані компоненти апаратного та програмного забезпечення [13].

Архітектура розроблюваної автоматизованої системи була запропонована в [14] та складається з рухомого об'єкта (передбачено можливість підключення одного, двох або трьох об'єктів), центрального блоку керування (ЦБК), а також станції оператора (відповідно, для кожного рухомого об'єкта) (рис.1).

На кожному рухомому об'єкті розміщено радіопередавач для взаємодії із ЦБК, камеру та відео передавач, що передає зображення на відео-окулярі оператора, панель індикації, блок живлення, а також мікроконтролерний блок, до якого підключені ці компоненти. Мікроконтролерний блок (на основі мікроконтролера ATmega8A) обробляє і виконує керуючу інформацію, отриману від ЦБК.

Станція оператора складається з джойстика для управління рухом об'єкта, а також відео-окулярів, на які у режимі реального часу відбувається передача відео зображення з рухомого об'єкта для створення ефекту присутності оператора всередині рухомого об'єкта.

В процесі модернізації системи [15-16] було розроблено декілька варіантів ЦБК, що є найважливішою складовою системи та забезпечує налаштування і контроль рухомих об'єктів (прив'язка до потрібного радіоканалу, калібрування положення передніх коліс, контроль швидкості руху, відстані до рухомого об'єкта та рівня заряду батареї живлення).

Було досліджено реалізацію на основі апаратних платформ Arduino та Raspberry Pi, а також дві різні реалізації на базі власного розробленого модуля керування (перша – на основі мікроконтролера ATmega8A та остаточна – на основі мікроконтролера ATmega16A). Результати порівняльного аналізу варіантів реалізації наведені в таблиці.

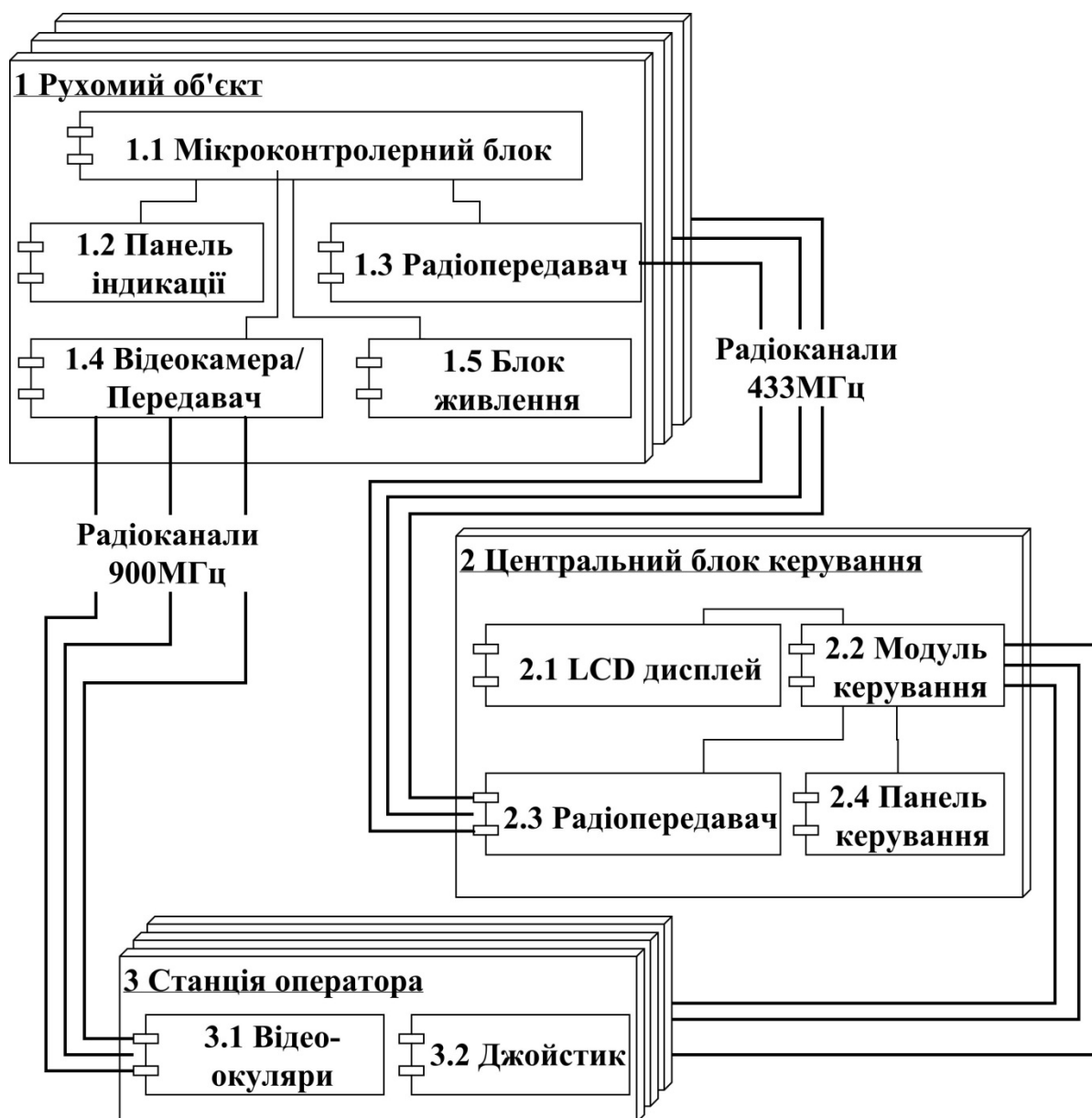


Рис. 1. Архітектура системи

Таблиця

Порівняльний аналіз різних варіантів реалізації ЦБК

Специфікація	Попередній варіант власної реалізації модуля керування	Новий варіант власної реалізації модуля керування	Варіант на Raspberry Pi 2 Model B	Варіант на Arduino Mega2560
SoC / Мікроконтролер	ATmega 8 PU 8 bit	ATmega 16A 8 bit	Broadcom BCM2836 32 bit	ATmega 2560 8 bit
Максимальна робоча частота	16 MHz	16 MHz	900 MHz	16 MHz
SDRAM	1 KB	1 KB	1 GB	8 KB
Низькорівневі периферійні пристрої	SPI, I2C, UART, 3 PWM pins	SPI, I2C, UART, JTAG, 4 PWM pins	SPI, I2C, UART, 2 PWM pins	4 UART, I2C, SPI 15 PWM pins
GPIO виводи	23 pins / 6 ADC channels	32 pins / 8 ADC channels	40 digital pins	54 digital pins / 16 ADC channels
Енергоспоживання	15 mA	13 mA	800 mA	38 mA
Постійна пам'ять (FLASH)	8 KB	16 KB	Up to 32 GB (microSD slot)	256 KB (8 KB used by bootloader)
Інша периферія	No	No	4 USB, HDMI, Ethernet, CSI, DSI	USB Type B

Реалізація ЦБК на платформі Arduino є досить компактною та забезпечує можливість живлення від батареї. Розроблене програмне забезпечення дозволяє обробляти дії диспетчера з панеллю керування та відображати відповідні повідомлення на LCD-екрані, а також зчитувати аналогові значення з джойстика, нормалізувати їх та передавати за допомогою радіопередавача керуючу інформацію рухомому об'єкту з використанням UART протоколу. Програма також забезпечує вибір режиму швидкості, калібрування джойстика і одночасне керування декількома рухомими об'єктами. Як показали дослідження, реалізація блоку керування на основі Arduino потребує використання додаткової макетної плати для збільшення кількості виводів землі і живлення та макетних з'єднань для взаємодії з платформою Arduino, що знижує надійність та компактність системи.

Як відомо, платформа Raspberry Pi має високу обчислювальну потужність, але не має вбудованого аналого-цифрового перетворювача. Тому, додаткова друкована плата, що складається з 8-канального аналого-цифрового перетворювача MCP3008 та логічного перетворювача рівня, побудованого на двох транзисторах MOSFET, була створена для роботи з аналоговими пристроями. Ця плата дозволяє керувати аналоговими сигналами з джойстика та перетворювати логічні рівні сигналів 5В та 3.3В, отримані від радіопередавача. Середовище Altium Designer було обрано для вирішення задач проектування електронної схеми, топології провідних шарів та тривимірної моделі друкованої плати. Програмне забезпечення написано на мові C++ для операційної системи Raspbian, що використовує середовище Qt Creator. Створена програма надає зручний інтерфейс, забезпечує обробку виключень та забезпечує функції для керування трьома рухомими об'єктами: прив'язка до потрібного каналу, вибір режиму швидкості, Старт/Стоп. Для забезпечення одночасного управління трьома рухомими об'єктами, для кожного активного каналу створюється окремий потік, це можливо завдяки використовуваній операційній системі. Оскільки діапазон значень в потенціометрах контролерів джойстиків може відрізнятись, було створено додаткове вікно для більш точного калібрування керування [15].

Крім того, було створено дві реалізації модуля керування на основі власних спроектованих плат. Попередня реалізація модуля керування була здійснена на двох платах з використанням мікроконтролерів ATmega8A та мала певні конструктивні недоліки, що призводили до нестабільної роботи, малого радіусу дії та перешкод у відео-сигналі.

Нову реалізацію модуля керування здійснено на основі однієї друкованої плати із встановленим мікроконтролером ATmega16A. Модуль додатково

містить лінійний стабілізатор напруги NCP1117 для збільшення стабільності роботи та зменшення впливу коливань напруги від джерела живлення в схемі, зсувні регістри 74HC165 для збільшення кількості виводів. Програмне забезпечення для мікроконтролера зчитує дані з елементів панелі керування ЦБК, забезпечує обробку даних з джойстиків операторів, виведення контрольної інформації на екран ЦБК, виконання команд операторів та передачу керуючих команд до рухомих об'єктів за допомогою радіопередавача.

Використання власного модуля керування дало суттєвий вииграш у собівартості системи, адже його вартість складала приблизно 240 грн., що суттєво менше у порівнянні із вартістю Arduino або Raspberry Pi.

Тестування системи проводилось за двома сценаріями та полягало в оцінюванні робочих відстаней керування. Перший сценарій передбачав вимірювання відстаней, на яких рухомий об'єкт повністю втрачає керуючий сигнал (в цьому випадку він зупиняється та загоряється спеціальний світлодіодний індикатор). За другим сценарієм здійснювалось вимірювання відстані, при якій якість переданого сигналу на відео-окулярах стає недостатньою для керування об'єктом (поява безперервних сильних перешкод на переданому зображенні або повна відсутність сигналу). Всі розроблені версії ЦБК показали майже однакові результати - приблизно 50 метрів, що вище, ніж значення, отримані для попередньої реалізації.

Якість отриманого на відео-окуляри оператора відео-зображення є однією з основних метрик якості системи. Для оцінки якості відеосигналу було використано MSU Video Quality Measurement Tool 9.1 [17].

Порівняння виконувалось для двох власних реалізацій модуля керування (попереднього та нового варіантів). Були обрано два найбільш інформативні метрики: "MSU Brightness Flicking" (рис.2) та "MSU Noise Estimation" (рис.3), що дозволило порівняти різну сукупність кадрів відео послідовності. MSU Brightness Flicking дозволяє оцінити коливання яскравості між сусідніми кадрами відео послідовності. MSU Noise Estimation дозволяє оцінити рівень шуму для кожного кадру відео послідовності.

Отримані графіки демонструють явне зниження коливання яскравості та рівня шуму для нової реалізації ЦБК на основі власного модуля керування порівняно з попередньою версією, що свідчить про правильність прийнятих проектних рішень.

Розроблений алгоритм керування системою у вигляді діаграми UML, представлено на рис. 4.

Після включення живлення системи та завантаження ЦБК, на його екрані відображатиметься поточний стан та режим швидкості каналу. За замовчуванням, у всіх операторів виставлений режим мінімальної швидкості руху об'єктів. Про запуск програми

рухомого об'єкту свідчитиме загоряння зеленого світлодіоду на панелі індикації рухомого об'єкта. На наступному кроці необхідно натиснути клавішу "Bind" на рухомому об'єкті для активації режиму прив'язки. Загориться синій світлодіод, який свідчить про очікування команди від ЦБК із номером каналу, що буде закріплений за рухомих об'єктом. Після вибору каналу та натискання клавіші прив'язки на панелі ЦБК, синій світлодіод повинен згаснути. Загоряння синього світлодіоду відбувається також при втраті зв'язку із ЦБК. Після цього, система готова до запуску. Для калібрування положення коліс потрібно переключитися до відповідного режиму та за допомогою клавіш "FT+" і "FT-" виконати необхідні налаштування. Із

натисканням кнопки "Start" активується режим керування та почнеться передача відео-зображення на відео-окуляри оператора. За допомогою джойстика, підключеного до ЦБК, відбувається керування рухомих об'єктом.

Радіопередавачі, що використані в системі для передачі керуючої інформації, працюють у діапазоні LPD - Low Power Device (433МГц), що має високу проникаючу здатність та є стійким до перешкод, це дозволяє з успіхом використовувати його для зв'язку в умовах забудови, крім того, обладнання для цього діапазону є досить компактним, що підвищує рівень мобільності та завадостійкості системи.

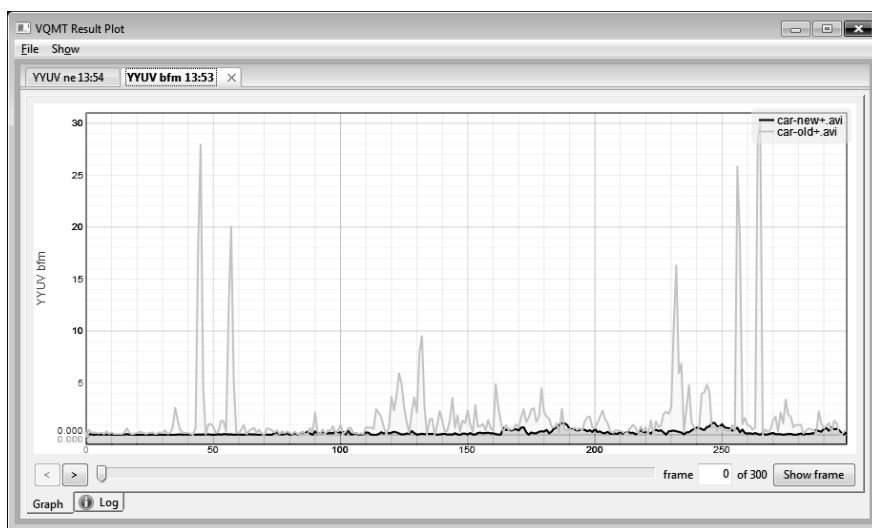


Рис. 2. MSU Brightness Flicking

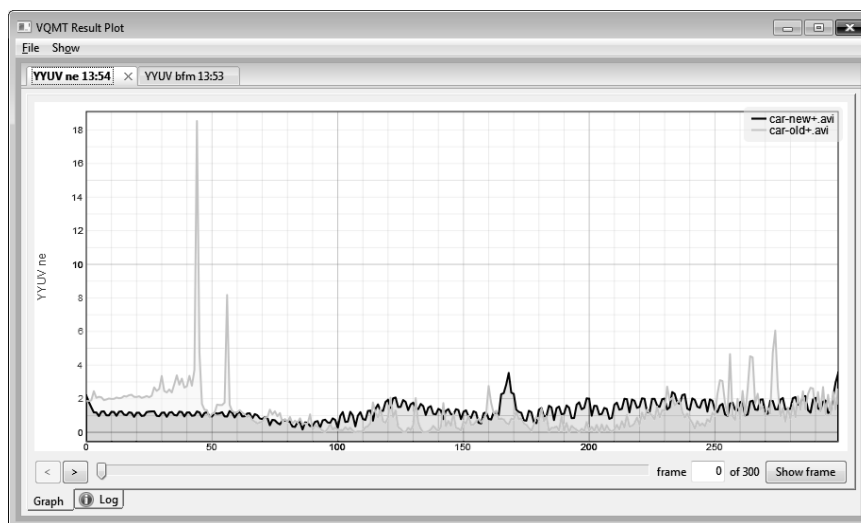


Рис. 3. MSU Noise Estimation

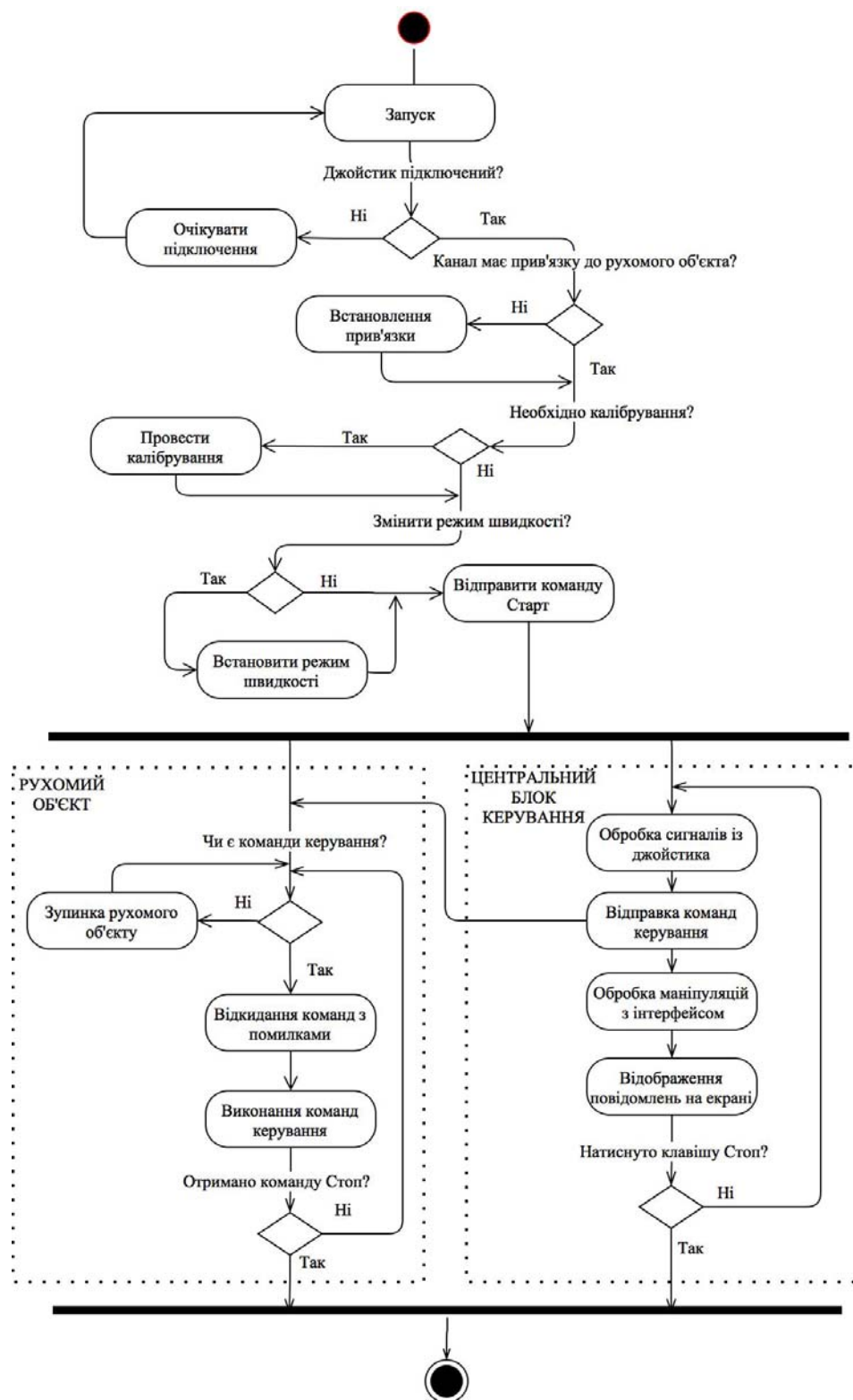


Рис. 4. Діаграма послідовності дій з керування системою

Висновок. В результаті проведених досліджень та проектування створено програмне та апаратне забезпечення автоматизованої системи віддаленого керування групою рухомих об'єктів.

Проаналізовано різні рішення щодо реалізації системи, проведено вдосконалення конструктивної реалізації ЦБК.

Можемо підсумувати, що кожна досліджена конструктивна реалізація має свої переваги та недоліки, а використання готових програмно-апаратних платформ зазвичай дозволяє зменшити терміни та трудомісткість проектування, але не є гарантією забезпечення всіх вимог до системи.

В той же час, власний розроблений модуль керування забезпечив потрібний радіус дії системи, низький рівень енергоспоживання, меншу вартість розробки та дозволив підвищити якість відеозображення за рахунок прийнятих рішень з конструктивної реалізації, а також розробленого програмного забезпечення.

Запропоновано ефективний алгоритм керування системою, що надає можливість керування декількома рухомими об'єктами одночасно, налаштування параметрів рухомих об'єктів та прийому/передачі відеозображення для контролю за процесом руху.

Л і т е р а т у р а

1. Reliability Failure in Unmanned Ground Vehicle (UGV) /Phuoc-Nguyen, Nguyen-Huu and J. Titus // GROUND ROBOTICS RESEARCH CENTER. - 2009. - 33 p. [Online]. Available: http://arc.engin.umich.edu/grrc/techreports/200901_ReliabilityUGV.pdf
2. Smart Transportation. Huawei Technologies Co., Ltd. 2016. - 28 p. [Online]. Available: http://www.huawei.com/minisite/hwmbbf16/insights/smart_transportation_16Nov_PRINT_spread.pdf
3. Mammeri A. North-American Speed Limit Sign Detection and Recognition for Smart Cars / A. Mammeri, A. Boukerche, J. Feng and R. Wang. // Proceedings of 9th IEEE International Workshop on Performance and Management of Wireless and Mobile Networks. – 2013. - P.154-161
4. Anupama, J. Design and Development of Autonomous Ground Vehicle for Wild Life Monitoring / J. Anupama, A. Kavitha, S. Harsha, M. Karthick // International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering. – 2014. - Vol. 2, Issue 5. - P.4227-4234
5. Suwannakom A. The Development of Motion Control for Unmanned Ground Vehicle Navigation / A. Suwannakom, B. Wiengmoon, T. Tathawee // Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists (IMECS 2016). - 2016. - Vol II. - P. 630-633
6. Bangar P. Y. Design and implementation of next generation Smart car / P. Y. Bangar, S. B. Pacharne, S. S. Kabade, and Prachi R. Rajarapolu // Proceedings of the International Conference on Automatic Control and Dynamic Optimization Techniques (ICACDOT). - 2016. - P. 508 – 512
7. Zhou Y. The Prospect of Smart Cars: Intelligent Structure and Human-machine Interaction /Y. Zhou, G. Xu, F. Qin, K. Xu, G. Wang, Y. Ou, Guilin, Lin and Q. Zhang // Proceedings of the International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO). – 2013.- P..1899-1904
8. Vehicle control unit based on radio communication [Online]. Available: https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?adjacent=true&locale=en_EP&FT=D&date=20170329&CC=CN&NR=206049553U&KC=U%23#
9. Автоматична система контролю руху автомобіля [Online]. Available: <http://library.uipv.org/document?fund=%202&id=219571>
10. Vaidya A. Design and Implementation of Intelligent Vehicle System based on ARM Cortex / A. Vaidya, M. T. Kolte // International Journal of Advanced Research in

Computer and Communication Engineering 2015. -Vol. 4, Issue 6. - P.223-225

11. Radio controlled car APP platform race system [Online]. Available: https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&II=1&ND=3&adjacent=true&locale=en_EP&FT=D&date=20170426&CC=CN&NR=106600433A&KC=A#
12. Система автоматизованого керування робочим органом транспортної мережі за допомогою радіо керування. [Online]. Available: http://library.uipv.org/document?fund=2&id=126978&to_fund=2
13. Parkhomenko A. Reusable Solutions for Embedded Systems' Design / A. Parkhomenko, O. Gladkova, A. Sokolyanskii, V. Shepelenko, Y. Zalyubovskiy // Proceedings of the International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV2016). – 2016. - P.313-317
14. Parkhomenko A.V. Virtual Tools and Collaborative Working Environment in Embedded System Design/ A.V. Parkhomenko, O.N.Gladkova // Proceedings of the XI International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV2014). - 2014. - P. 91-93.
15. Parkhomenko A. Modernization of Mobile Object Control System based on Raspberry Pi and Arduino platforms / A. Parkhomenko, O. Kravchenko, D. Kravchenko, O. Gladkova // Proceedings of the International Symposium on Embedded Systems and Trends in Teaching Engineering. - 2016. - P.249-253
16. Пархоменко А.В. Модернізація центрального пульту управління системи FPV AUTO/ А.В.Пархоменко, О.П.Кравченко // Тези доповідей VIII Міжнародної науково-практичної конференції Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій. - 2016. - С. 293-295
17. MSU Video Quality Measurement Tool [Online]. Available: http://www.compression.ru/video/quality_measure/video_measurement_tool.html

References

1. Reliability Failure in Unmanned Ground Vehicle (UGV) /Phuoc-Nguyen, Nguyen-Huu and J. Titus // GROUND ROBOTICS RESEARCH CENTER. - 2009. - 33 p. [Online]. Available: http://arc.engin.umich.edu/grrc/techreports/200901_ReliabilityUGV.pdf
2. Smart Transportation. Huawei Technologies Co., Ltd. 2016. - 28 p. [Online]. Available: http://www.huawei.com/minisite/hwmbbf16/insights/smart_transportation_16Nov_PRINT_spread.pdf
3. Mammeri A. North-American Speed Limit Sign Detection and Recognition for Smart Cars / A. Mammeri, A. Boukerche, J. Feng and R. Wang. // Proceedings of 9th IEEE International Workshop on Performance and Management of Wireless and Mobile Networks. – 2013. - P.154-161
4. Anupama, J. Design and Development of Autonomous Ground Vehicle for Wild Life Monitoring / J. Anupama, A. Kavitha, S. Harsha, M. Karthick // International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering. – 2014. - Vol. 2, Issue 5. - P.4227-4234
5. Suwannakom A. The Development of Motion Control for Unmanned Ground Vehicle Navigation / A. Suwannakom, B. Wiengmoon, T. Tathawee // Proceedings of the International MultiConference of

- Engineers and Computer Scientists (IMECS 2016). - 2016. - Vol II. - P. 630-633
6. Bangar P. Y. Design and implementation of next generation Smart car / P. Y. Bangar, S. B. Pacharne, S. S. Kabade, and Prachi R. Rajarapolu // Proceedings of the International Conference on Automatic Control and Dynamic Optimization Techniques (ICACDOT). - 2016. - P. 508 – 512
 7. Zhou Y. The Prospect of Smart Cars: Intelligent Structure and Human-machine Interaction /Y. Zhou, G. Xu, F. Qin, K. Xu, G. Wang, Y. Ou, Guilin, Lin and Q. Zhang // Proceedings of the International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO). – 2013.- P.1899-1904
 8. Vehicle control unit based on radio communication [Online]. Available: https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?adjacent=true&locale=en_EP&FT=D&date=20170329&CC=CN&NR=206049553U&KC=U%23#
 9. Automatic system of vehicle movement control [Online]. Available: <http://library.uipv.org/document?fund=%202&id=219571>
 10. Vaidya A. Design and Implementation of Intelligent Vehicle System based on ARM Cortex / A. Vaidya, M. T. Kolte // International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering 2015. -Vol. 4, Issue 6.- P.223-225
 11. Radio controlled car APP platform race system [Online]. Available: https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&II=1&ND=3&adjacent=true&locale=en_EP&FT=D&date=20170426&CC=CN&NR=106600433A&KC=A#
 12. Automated system of the transport network working body control using radio control. [Online]. Available: http://library.uipv.org/document?fund=2&id=126978&to_fund=2
 13. Parkhomenko A. Reusable Solutions for Embedded Systems' Design / A. Parkhomenko, O. Gladkova, A. Sokolyanskii, V. Shepelenko, Y. Zalyubovskiy // Proceedings of the International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV2016). – 2016. - P.313-317
 14. Parkhomenko A.V. Virtual Tools and Collaborative Working Environment in Embedded System Design/ A.V. Parkhomenko, O.N.Gladkova // Proceedings of the XI International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV2014). - 2014. - P. 91-93.
 15. Parkhomenko A. Modernization of Mobile Object Control System based on Raspberry Pi and Arduino platforms / A. Parkhomenko, O. Kravchenko, D. Kravchenko, O. Gladkova // Proceedings of the International Symposium on Embedded Systems and Trends in Teaching Engineering. - 2016. - P.249-253
 16. Modernization of the central control panel of the FPV AUTO system / A.V.Parkhomenko, O.P.Kravchenko // Proceedings of the VIII International scientific and practical conference Modern problems and achievements in the field of radio engineering, telecommunications and information technologies. - 2016. - C. 293-295
 17. MSU Video Quality Measurement Tool [Online]. Available: http://www.compression.ru/video/quality_measure/video_measurement_tool.html

Пархоменко А.В., Гладкова О.Н., Кравченко А.П., Кравченко Д.П. Исследование и разработка автоматизированной системы удаленного управления группой подвижных объектов.

В статье рассмотрены вопросы исследования и разработки микроконтроллерной системы удаленного управления подвижными объектами. Представлены архитектура системы, принципы ее функционирования и контроля. Выполнен сравнительный анализ нескольких вариантов реализации системы на основе готовых программно-аппаратных платформ (Arduino, Raspberry Pi), а также собственных спроектированных модулей управления. Исследовано влияние конструктивной реализации на метрики качества системы.

Ключевые слова: подвижный объект, программно-аппаратная платформа, микроконтроллер, эффект присутствия, центральный блок управления, метрики качества.

Parkhomenko A.V., Gladkova O.M., Kravchenko O.P., Kravchenko D.P. Research&Development of automated system for moving objects group remote control

The objectives of this work were research and development of the microcontroller system for several mobile objects remote control. The architecture of the system and the principles of its functioning are presented. A comparative analysis of several options for system implementation based on the ready software/hardware platforms (Arduino, Raspberry Pi), as well as own designed modules is given. The developed system is equipped with a central control block, operator stations and moving objects. Live status of the object's current position, speed, battery status etc. can be viewed from the central control block. The effect of user's presence inside moving object is created. The proposed constructive implementation allowed improving of the system's quality metrics, such as action radius, cost price, energy consumption and quality of video stream to operator video-glasses. The developed control algorithm ensures reliable operation of the system and allows using it in various areas of human activity.

Key words: moving object, hardware/ software platform, microcontroller, presence effect, central control block, quality metrics.

Пархоменко А.В. – к.т.н., доцент, доцент кафедры программних засобів Запорізького національного технічного університету, e-mail: parhom@zntu.edu.ua

Гладкова О.М. – аспірант кафедри програмних засобів Запорізького національного технічного університету, e-mail: gladolechka@gmail.com

Кравченко О.П. – студент магістратури кафедри програмних засобів Запорізького національного технічного університету, e-mail: akravchenko312@gmail.com

Кравченко Д.П. – студент магістратури кафедри програмних засобів Запорізького національного технічного університету, e-mail: dmitrykravchenko95@gmail.com

Рецензент: д.т.н., проф. **Смолій В.М.**

Стаття подана 15.09.2017

УДК 004.41

ПРОГРАМНО-АПАРАТНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ**Сафонова С.О.****HARDWARE AND SOFTWARE PLATFORM FOR AUTOMATED SYSTEM****Safonova S.A.**

У статті розглянуто питання щодо зниження негативних наслідків аварій і забезпечення інформаційної підтримки прийняття рішень диспетчером промислового підприємства в аварійних ситуаціях на основі аналізу загроз, які виникають при техногенних катастрофах. Розроблено структурну схему взаємодії програмно-апаратних засобів; формати представлення даних; бази даних, що дозволяють реалізувати інформаційну підтримку.

Ключові слова: база даних, інформаційна технологія, об'єкт підвищеної небезпеки, аварійна ситуація, програмно-апаратні засоби, автоматизована система.

Вступ. Швидке отримання достовірної інформації щодо масштабів та умов розвитку надзвичайних ситуацій на небезпечних промислових об'єктах дозволяє зменшити негативні наслідки аварій завдяки можливості забезпечення інформаційної підтримки прийняття рішень диспетчером промислового підприємства підвищеної небезпеки на основі аналізу загроз, які виникають при техногенних катастрофах.

Постановка проблеми. Для отримання достовірної прогнозованої інформації в прийнятний час необхідно мати програмно-апаратні засоби введення попередньої вхідної інформації щодо розташування об'єктів, людей, небезпечних речовин, процесів, погодних умов, тощо; а також інформаційну модель для отримання розрахункових даних при прийнятті рішень в умовах аварії, завдяки якій виконується математичне моделювання процесів, що виникають при реалізації загроз.

У зв'язку з цим розробка спрямована на рішення актуальної науково-прикладної задачі.

Мета статті. Для зниження негативних наслідків аварій і забезпечення інформаційної підтримки прийняття рішень диспетчером промислового підприємства в аварійних ситуаціях на основі аналізу загроз, які виникають при техногенних катастрофах необхідна розробка баз даних автоматизованої системи моделювання аварійних ситуацій.

Основний текст. Структурна схема взаємодії модулів автоматизованої системи, призначеної для прогнозування, автоматизованого оповіщення та підтримки дій диспетчера при аваріях на об'єктах підвищеної небезпеки, для яких можливі загрози пожеж, вибухів, поширення парогазової фази небезпечних хімічних речовин в атмосфері приведена на рис.1.

Основні модулі системи: модуль управління; бази даних; програмні засоби введення-виведення графічної і текстової інформації; розрахункові модулі моделювання аварій і визначення їх наслідків, засновані на моделях, представлених у відповідній науковій літературі, для яких проведена верифікація та валідація [1]. Всі представлені засоби розроблені з використанням відкритих форматів даних та доступних джерел (open source) відповідно до вимог, викладених в [2].

Модуль управління здійснює активізацію режимів аварії, навчальної тривоги, редагування бази вхідних даних для визначення наслідків аварій; управляє процесами тестування готовності системи, виконання прогнозу, створення списків дій диспетчера та автооповіщення.

Бази даних, які входять до складу комплексу:

- база даних по речовинах. Містить інформацію про фізичні і хімічні параметри вхідних небезпечних властивостей речовин. Використовується розрахунковими модулями, які входять до складу програмного комплексу моделювання загроз та визначення зон ураження (рис.1). Посталяється користувачеві з внесеним мінімальним набором даних. Якщо при обчисленнях виявляється, що не вистачає необхідних даних, система повідомить про неможливість обчислень. Користувач може працювати з розрахунковим модулем в обхід бази даних, вручну підставляючи значення параметрів відповідних полів під час налаштування розрахункового модуля. Однак, з метою виключення суб'єктивної помилки користувача рекомендується користуватися базою даних.

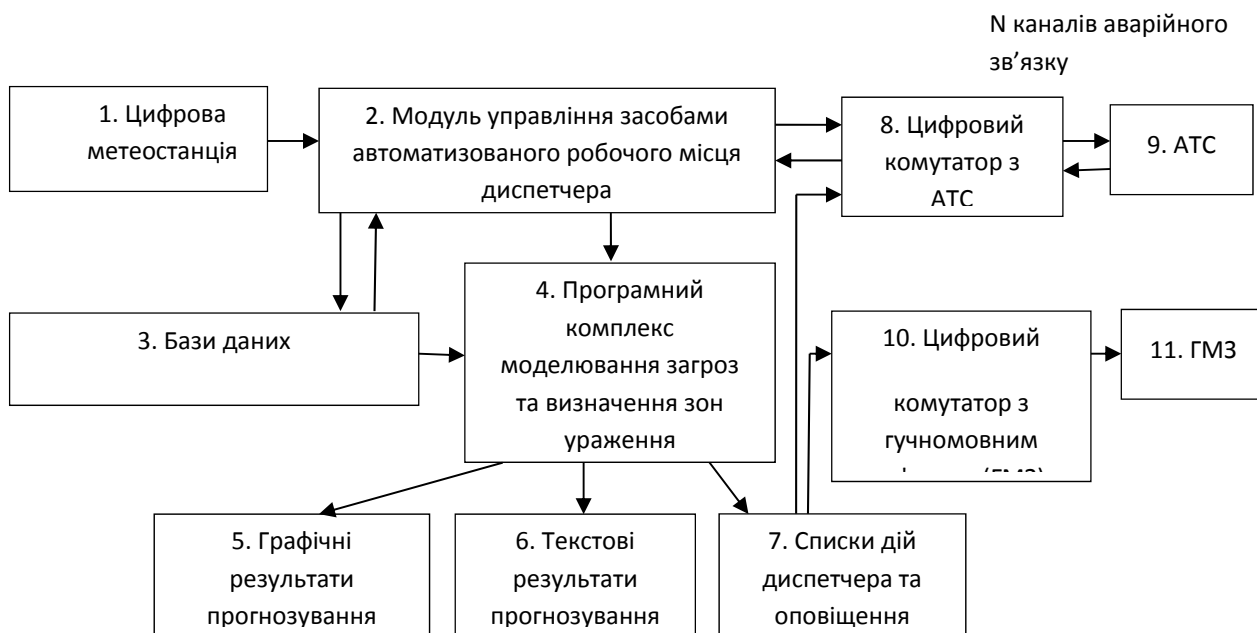


Рис. 1. Структура засобів та взаємодія модулів автоматизованої системи

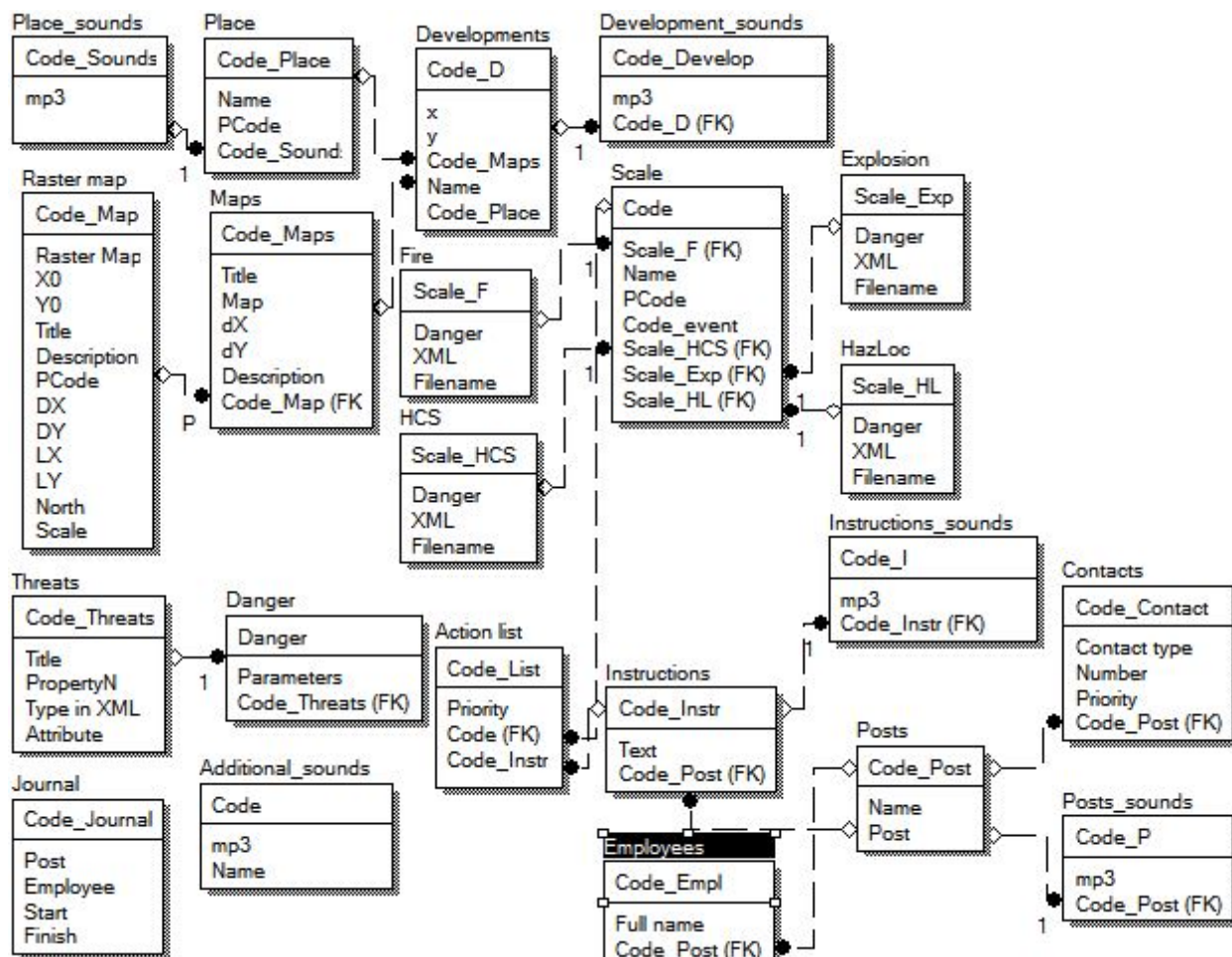


Рис. 2. Структура бази даних

- база даних аварійних ситуацій (основна база даних системи) [3].

Розроблена структура основної бази даних системи (рис.2), яка містить список небезпечних об'єктів, векторні і растрові карти, координати об'єктів, список можливих аварій, масштаби аварії, набір параметрів для розрахунку наслідків [4,5], звукові файли оповіщення та способи автоматичного управління інформаційними потоками, що використані в програмних засобах автоматизованої системи.

Таблиця «Developments» зберігає дані про події. Кожен рядок таблиці містить дані про місце виникнення події і можливі варіанти розвитку події (масштаби).

У таблиці «Scale» зберігаються описи масштабів аварії у вигляді текстового рядка зрозумілого диспетчеру. Рядок зазвичай складається з параметрів, які можна отримати з місця аварійної ситуації (наприклад: час перекриття запірної арматури, час спрацювання аварійної автоматики, маса речовини, яка знаходилася в ємності в момент розгерметизації).

Залежно від виду загрози до масштабу аварії належить той чи інший вид параметрів. Масштаб аварії задається текстовим рядком, поставленим у відповідність певному діапазону кількісних параметрів моделювання. Текстовий рядок формується при проведенні чисельного експерименту. Існує можливість опису масштабу аварійної ситуації у вигляді довгого текстового рядка або розбиття опису масштабу на окремі підрядки і організації їх в деревовидну структуру.

Таблиця «Place» зберігає деревоподібну структуру місць, в яких можливі аварійні події. Кожен рядок таблиці містить назву місця та посилання, що вказує на приналежність даного місця до іншого місця з цієї ж таблиці.

Кожен запис в таблиці «Maps» містить векторну карту, прив'язку векторної карти до растрової, зміщення векторної карти щодо прив'язаної до неї растрової.

Таблиця «Raster Map» зберігає підложки (растрові карти), їх опис, напрямок півночі на карті, масштаб і розмір карти, а так само посилання і зміщення карт відносно одна одної.

Файли налаштувань розрахункових модулів містять дані таблиць «Fire», «Explosion», «HazLoc», «HCS». У них зберігаються кількісні показники масштабів (вхідних даних) аварійних ситуацій. Кожна таблиця містить настройки для розрахунку наслідків одного з видів загроз («Вогняна куля», «Пожежа протоки», «Вибух», «Отруєння», «Розсіювання», «ВВЗ») і вхідні дані для них.

Таблиця «Action list» формує списки оповіщення для кожного конкретного масштабу.

Таблиця «Instructions» містить накази (інструкції) для посад.

Таблиця «Posts» зберігає назву посад підприємства.

Таблиця «Employees» зберігає дані про співробітників підприємства.

Таблиця «Contacts» містить контакти посад. У кожної посади може бути один або кілька контактів.

Таблиці «Posts_sounds», «Instructions_sounds», «Development_sounds», «Place_sounds» зберігають озвучені назви посад, інструкцій, аварійних подій, місць.

Таблиця «Additional_sounds» зберігає суфікси і префікси звукового оповіщення персоналу.

Таблиця «Journal» зберігає дані про чергування.

В базу даних вносяться вихідні дані і налаштування параметрів системи, отримані в результаті аналізу можливих аварійних ситуацій на виробництві.

Рекомендується організувати контрольований доступ до редагування баз даних і перевірку значень внесених параметрів. При колективному користуванні системою в локальній мережі бази даних рекомендується розташувати на сервері підприємства і налаштувати шляхи до них від кожного користувача.

Бази даних відкриті на читання-запис всім користувачам системи, тому необхідно передбачити резервне копіювання. Для можливості злиття баз даних, які редагуються в різних місцях, передбачена процедура реплікації.

Для редагування бази даних і виконання основних функцій системи розроблений спеціальний модуль. Інтерфейс цього модулю дозволяє редагувати базу даних і вносити в якості вихідних даних налаштувань наступну інформацію:

- структурований шлях до місця аварії;
- вид небезпечної події, яка відбувається;
- набір масштабів (логічний рядок) небезпечної події;
- список посад, дій, відповідних кожній посаді, прізвища, імена людей, що займають дану посаду, списки дій посадових осіб при виникненні аварії, списки дій диспетчера;
- текстові дані, які використовуються при автоматичному оповіщенні (можуть забезпечуватися приєднаними звуковими файлами);
- списки обов'язкового оповіщення для кожної аварії;
- списки оповіщення по гучномовному зв'язку підприємства.

Крім того, модуль дозволяє налаштувати відповідні вихідні дані в розрахункових модулях видів загроз; забезпечити прив'язку реальних координат джерела небезпеки до електронних карт системи.

Висновки.

Розроблені засоби дозволяють розширити класи задач моделювання аварій до можливості їх використання при прогнозуванні наслідків та прийнятті рішень, що є основою для створення ефективних програмних засобів прикладної

інформаційної технології підтримки дій диспетчера в аварійних ситуаціях.

Застосування програмно-апаратних засобів в умовах аварії та нестачі часу дозволить:

1) отримати за прийнятний час достовірну прогнозу інформацію про очікувані загрози і їх наслідки, визначити кількість і розташування об'єктів та людей, для яких ці загрози реалізуються в процесі розвитку аварії;

2) провести автоматизоване оповіщення посадових осіб і персоналу підприємства;

3) координувати дії служб з ліквідації аварії, коригувати прогнозу інформацію та підтримувати виконання функцій диспетчера.

Л і т е р а т у р а

1. Гельфанд Б. Е. Химические и физические исследования. Параметры и контроль. / Б. Е. Гельфанд, М. В. Сильников. - СПб. : ООО «Издательский полигон», 2003. - 416 с.
2. ГОСТ 34.601-90. Информационная технология. Автоматизированные системы. Основы положения: сборник. - Москва: Стандартинформ, 2009. - 198 с.
3. Требования к созданию базисных данных апаривно опасных химических средств: метод. рекомендация № 2510 / 1290-02-34 / Простоквашин Г.П., д. - М. : ФГУ «Всероссийская медицина катастроф «Зачита », 2005. - 45 с.
4. РД-03-26-2007. Методические указания по вопросу о последствиях аварийных выходов опасных предметов - М. : НТЦ «Промышленная безопасность», 2008. - 124 с. - Сер. 27. Вып. 6.
5. Методика оценки последствий аварий на опущенных производственных объектах: сб. ДОК. - М. : Гос. unitarное predpriyatije «Научно-технический центр по вопросам безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2004. - 208 с. - Сер. 27. Вып. 2.

References

1. Gelfand B. E. Himicheskije i fizicheskije vzryvy. Parametry i kontrol. / B. E. Gelfand, M. V. Silnikov. - SPb. : ООО « Izdatelstvo Poligon», 2003. - 416 s.
2. GOST 34.601-90. Informacionnaja tehnologija. Avtomatizirovannyje sistemy. Osnovnyje polozhenija: sbornik. - Moskva : Standartinform, 2009. - 198 s.
3. Trebovanija k sozdaniyu bazy dannyh avarijno opasnyh himicheskijh vechestv : metod. rekomendacii № 2510/1290-02-34 / Prostokvashin G. P. i dr. - M. : FGU "Vseros. centr mediciny katastrof "Zachita", 2005. - 45 s.

4. RD-03-26—2007. Metodicheskije ukazaniya po ocenke posledstvij avarijnyh vybrosov opasnyh vechestv - M.: NTC «Promyshlennaja bezopasnost», 2008. - 124 s. - Ser. 27. Vyp. 6.

5. Metodiki ocenki posledstvij avarij na opasnyh proizvodstvennyh objektah : sb. dok. - M. : Gos. unitarное predpriyatije «Nauchno-tehnicheskij centr po bezopasnosti v promyshlennosti Gosgortehnadzora Rossii», 2004. - 208 s. - Ser. 27. Vyp. 2.

Сафонова С.А. Программно-апаратное обеспечение автоматизированной системы

Рассмотрены вопросы снижения негативных последствий аварий и обеспечения информационной поддержки принятия решений диспетчером промышленного предприятия в аварийных ситуациях на основе анализа угроз, возникающих при техногенных катастрофах. Разработана структурная схема взаимодействия программно-аппаратных средств; форматы представления данных; базы данных, позволяющие реализовать информационную поддержку.

Ключевые слова: база данных, информационная технология, объект повышенной опасности, аварийная ситуация, программно-аппаратные средства, автоматизированная система.

Safonova S.O. Hardware and Software Platform for Automated System

The issues of reducing the negative consequences of accidents and providing information support for decision-making by the dispatcher of an industrial enterprise in emergency situations are considered on the basis of an analysis of threats arising from man-made disasters. The structural scheme of interaction of the software and hardware was developed; formats for presenting data was set up; Database, which allows to realize information support was developed.

Key words: database, information technology, high-risk facility, emergency situation, software and hardware, automated system.

Сафонова Світлана Олександрівна – к.т.н., доцент, доцент кафедри комп'ютерної інженерії, Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, e-mail: safonovasa@ukr.net

Рецензент: д.т.н., проф. **Смолий В.М.**

Стаття подана 15.09.2017

УДК: 004.89

ТЕХНОЛОГИИ ИДЕНТИФИКАЦИИ И РАСПОЗНАВАНИЯ ЖЕСТОВ**Сіряк Р.В.****GESTURE IDENTIFICATION AND RECOGNITION TECHNIQUES****Siryak R.V.**

В статье рассмотрены технологии распознавания и методы идентификации жестов. В статье приведены отрасли применения технологии распознавания жестов, выделены нерешенные проблемы в этой области. Определены этапы работы системы распознавания жестов, извлечения и предварительной обработки данных, подходы к получению данных. Выделены основные признаки распознавания жестов руки. Приведены подходы к распознаванию жестов на основе низкоуровневых признаков и на основании поиска кинематических параметров. Определено направление дальнейших исследований направленных на разработку метода улучшения существующих алгоритмов распознавания жестов руки в режиме реального времени в условиях меняющегося освещения.

Ключевые слова: распознавание жестов, нейронные сети, глубокое обучение, обработка динамических данных

Введение. Распознавание жестов – процесс, в котором жесты, совершаемые пользователем, используются для ввода информации в электронное устройство с целью управления, идентификации или коммуникации. Жесты могут быть статичными – одна конкретная позиция, или динамичными – последовательность позиций, извлекаемых из потокового видео. Основным средством передачи информации в большинстве приложений, использующих бесконтактный интерфейс, являются руки, хотя могут использоваться и лицо, и положение тела в целом. Распознавание жестов является комплексной задачей, включающей в себя моделирование и анализ движений, шаблоны распознавания и машинное обучение.

За последние несколько десятилетий разработаны различные инструменты и алгоритмы для применения в человеко-компьютерном взаимодействии, в роботоправлении, в видеонаблюдении, коммуникации, играх и прочих областях, где совершаемые человеком движения интерпретируются как определенные команды или коммуникационное взаимодействие.

Анализ исследований, области применения.

Удаленное управление техникой с помощью жестов достаточно широко используется в военной и космической сферах [1], но имеет реальные возможности для применения во многих других областях деятельности – там, где человеку затруднительно или опасно находиться. Жесты используются для взаимодействия с роботом и управления им в режиме реального времени

Распознавание жестов является актуальным для распознавания языка жестов. На сегодняшний день разработано немало систем распознавания языка жестов для различных языков. Подобная система может использоваться не только в качестве переводчика, но и служить средством ввода текста в компьютер, что для глухонемых людей может быть проще и естественней, чем клавиатура. Кроме того, учитывая, что языки жестов являются высокоструктурированными, они в целом хорошо подходят для проверки того или иного визуального алгоритма распознавания динамических образов.

Некоторые исследования [2] предлагают жестовое управление компьютером как альтернативу клавиатуры и мыши, и для решения этой задачи также используют распознавание жестов. В работе [3] управление компьютером для решения задач манипулирования графикой или редактирования документов включает в себя использование жестов, отражающих движения ручки.

В виртуальной и дополненной реальности используются жесты, позволяющие производить реалистично выглядящие манипуляции с виртуальными объектами через трехмерный интерфейс [4] или двухмерный интерфейс, имитирующий трехмерное взаимодействие [5].

Фриман и соавторы [6] изучили отслеживание руки игрока или его тела для контроля движения и положения игровых интерактивных объектов, таких, как автомобиль. Конрад и соавторы [77] использовали жесты для движения аватаров в виртуальном мире. PlayStation 2 представили

камеру Eye ToU для отслеживания движений руки в интерактивных играх.

Постановка задачи. Несмотря на широкую область применения данных технологий, в области распознавания жестов рук существует целый ряд нерешенных задач. Существующие техники показывают достаточно высокие показатели, но преимущественно в специально созданных для этого условиях. В реальной жизни производительность значительно снижается вследствие различных условий освещения, шумов изображения, неоднородности фона, окклюзий и движения камеры. Помимо этого, в большинстве систем не решена проблема положения руки по отношению к камере: рука должна находиться в предопределенном месте и не уклоняться далее некоторого угла. Проблемой остается определение начала и конца жеста в последовательности кадров.

Все это обуславливает необходимость проведения дальнейших исследований, направленных на разработку комплексных систем, использующих сильные стороны различных подходов, взаимно перекрывающих недостатки.

Этапы работы системы распознавания жестов. Работу системы распознавания жестов можно разделить на определенные этапы. Их количество может различаться, в зависимости от используемых алгоритмов, назначения приложения и целей, которые ставят перед собой разработчики. Обобщенная схема, признаваемая большинством исследователей [8], представлена на рис. 1.

Извлечение и предварительная обработка данных. После получения информации с входного источника запускается процесс моделирования жеста, на котором определяется относятся ли данные на изображении к классу искомым объектам. Первым шагом моделирования является сегментация, которая представляет собой процесс разбиения изображения на области по сходству их точек. Таким образом, поле зрения D разбивается на области объектов $D_1, \dots, D_s$ и область фона D_b .

Затем изображение обрабатывается с более четким делением на объект и фон. Снижаются помехи и подавляются внешние шумы - по сути это операции усреднения и выравнивания гистограмм. Проводится также цветовая нормализация в соответствие с условиями освещения и световой температурой.

Если жест статичен, то на этом шаге достаточно только выделить его контур или силуэт; если динамичен – тогда следует также определить его направленность.

На этапе определения контура объекта выявляются его значимые свойства, которые можно обнаружить по фотометрическим, геометрическим и физическим разрывам. Для этого могут быть использованы градиентные или лапласовы техники определения края.

Выделение характерных признаков. Выделение признаков является ключевым признаком для распознавания жестов руки. Они включают в себя: положение руки, ладони, пальцев, направление и углы, под которым расположены фаланги пальцев. Признаки могут быть геометрическими – контур руки, кончики пальцев, сами пальцы, и негеометрическими – цвет, силуэт, текстура.

При выделении признаков может использоваться кинематический подход, основанный на модели, при которой положение ладони и углы, под которыми расположены суставы, принимаются в качестве признаков [9]. Суть модели состоит в поиске кинематических параметров, переводящих двухмерную проекцию трехмерной модели руки в соответствие с обрезанным по краю изображением руки (рис. 2). Данные поступают с двух или более камер. Были показаны хорошие результаты при модели руки с семью степенями свободы.

При другом подходе, основанном на внешнем виде руки [11], используются двумерные параметры изображения, которые сравниваются с такими же параметрами, выделенными из входного изображения. В то же время жесты моделируются как последовательность представлений. Используемое в данном подходе собственное пространство (eigenspace) обеспечивает эффективное представление большого набора точек высокой размерности с использованием малого набора ортогональных базисных векторов. Эти векторы охватывают подпространство обучающего набора, называемого собственным пространством, и линейная комбинация этих изображений может быть использована для реконструкции изображений из обучающего набора.



Рис. 1. Схема системы распознавания жестов

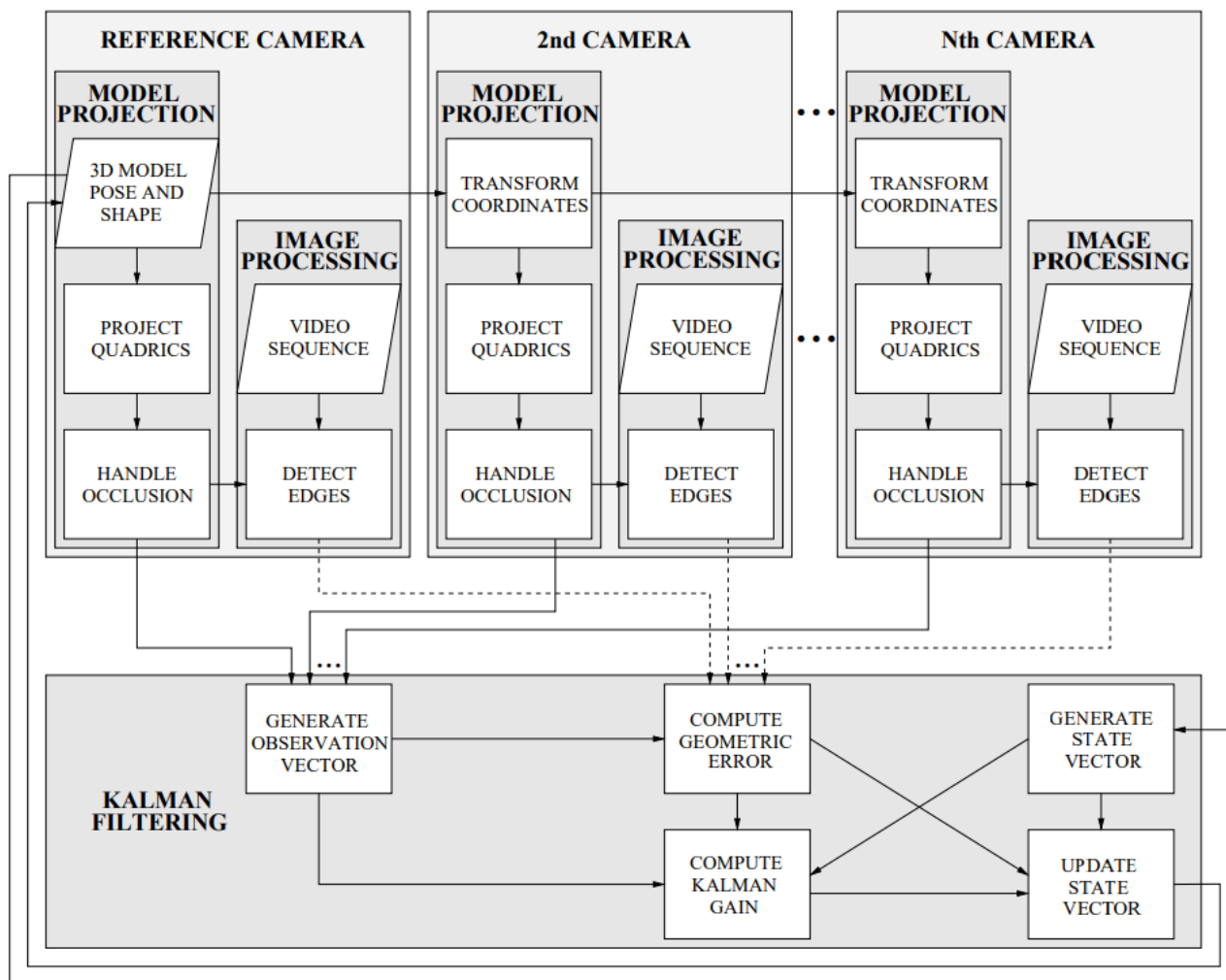


Рис. 2. Схема кинематической модели [10]

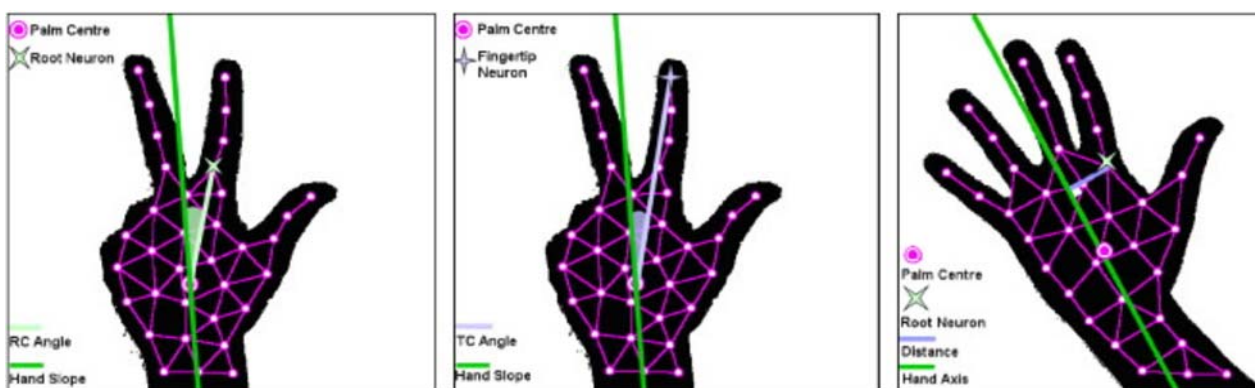


Рис. 3. Использование низкоуровневых признаков

Идея еще одного подхода – основанного на низкоуровневых признаках – исходит из того, что вовсе не обязательно реконструировать всю руку. Вместо этого было предложено извлекать из изображения низкоуровневые параметры, которые устойчивы к шумам и могут быть быстро извлечены. К таким параметрам могут относиться: центр ладони [12]; оси, определяющие эллиптическую область руки [13] и оптический аффинный поток руки [14]. Одни из первых

исследователей, добившихся успеха при данном подходе, Старнер и соавторы [13] использовали в качестве низкоуровневых признаков оттенок кожи, положение руки по x и y , угол оси наименьшей инерции и ограничивающий эллипс. Комбинируя набор низкоуровневых признаков через сеть скрытые марковские модели, при распознавании американского языка жестов они добились точности в 97%. Пример использования низкоуровневых признаков представлен на рис. 3.

Выделенные признаки могут быть сохранены на этапе обучения в системе в виде шаблонов. Или же могут быть включены в уже имеющуюся нейронную сеть, скрытые марковские модели или деревья решений, имеющие ограниченную память.

Этап распознавания жеста. На заключительном этапе проводится идентификация значения жеста. На этой стадии обычно работает классификатор, который относит каждый входящий проверяемый жест к определенному классу с некоторой вероятностью его соответствия этому классу. Далее каждый этап должен быть рассмотрен более подробно с точки зрения применяемых формальных методов и подходов.

Подходы к получению данных. Используемые в распознавании жестов методы можно разделить на визуальные методы распознавания жестов; отслеживание рук с помощью оборудованной перчатки; захват движения на основе маркеров.

Данные методы основаны на восприятии человеческим зрением информации о видимых объектах. Обычно, информация на компьютер поступает через одну или две видеокамеры. Характеристиками, использующимися при идентификации жеста, обычно служат контуры и силуэты. При создании базы данных распознаваемых жестов каждый жест может содержать несколько образцов для повышения точности системы.

Один из распространенных визуальных методов основывается на внешнем подобии. При этом используются двумерные признаки изображения для моделирования визуальной внешности руки. Самым простым ориентиром при этом в процессе сегментации может быть цвет кожи, поскольку он не изменяется при масштабировании, сдвигах и поворотах [15]. Однако, подобный параметр сильно зависит от условий освещения и различия в цвете кожи у разных людей. Исследователи решают эту проблему, либо используя датчики [16], либо фреймворки глубокого обучения [17]. В свою очередь, в работах Неверовой и соавторов [18] или Он-Бара и соавторов [19] работу по распознаванию выполняют сенсоры цвета и глубины (RGB-D). В исследовании последних извлеченные из сенсоров RGB-D признаки HOG использовались для обучения SVM-классификатора. Молчанов и соавторы [16] для повышения точности, помимо RGB-D, использовали в работе глубину пространства, цвет и радарные сенсоры. Визуальные методы способны распознавать как статические, так и динамические жесты руки, порой с точностью более 90 процентов [20].

Другим способом визуального распознавания жеста является скелетный метод. В нем используется детализированная модель скелета руки, которая описывается с указанием длин сегментов и углов между ними. Моделирование

руки с учетом всех ее степеней свободы является сложной задачей, поэтому обычно используется модель с 27-ю степенями свободы. Система отслеживания положения руки в пространстве использует заранее созданную базу данных всевозможных конфигураций рук. Томаси и соавторам [21] удалось создать систему отслеживания руки в пространстве на основе трехмерной модели руки, которая может описать форму и сочлененную структуру руки.

Другим визуальным средством сегментации руки являются метрические методы распознавания жестов [20], в которых на основе множества входных сигналов строится метрика и выполняется классификация путем сравнения входного изображения с набором эталонов. К примеру, предлагается метрика, характеризующая степень сходства скелетов силуэтов ладони, и выполняется классификация жестов с помощью ближайшего соседа.

Достаточно большим интересом среди исследователей [22] пользуется Microsoft Kinect, оборудованный камерой глубины пространства. Благодаря лазерному проектору и сенсору CMOS он способен работать в любых условиях освещения.

Часто используется сочетание сразу нескольких способов получения данных: через цвет, глубину пространства, каркас скелета и т.д.

Главной проблемой при визуальных методах распознавания жестов является изменение фона и освещения, отчего снижается качество переднего плана и сегментированного изображения жеста. Для решения этой проблемы Zhang и соавт. [23] предлагается метод с использованием 3 σ -принципа нормального распределения, исходя из разницы смежных видеокадров. Для выбора оптимального порога предлагается адаптивный метод автоматического выбора, основанный на методе максимальной дисперсии между классами.

Отслеживание рук с помощью оборудованной перчатки. Специально оборудованные перчатки позволяют максимально точно с высокой скоростью отобразить естественную механику человеческой руки и могут быть оснащены рядом датчиков: тактильными, вибрационными, акселерометром и др. Недостатком данного подхода является некоторая скованность движений, поскольку подобные перчатки довольно громоздки, и, помимо этого, человеку несвойственно использовать устройства-посредники для жестового общения. На настоящее время создано несколько достаточно удачных образцов систем, оборудованных перчатками. Бесконтактный интерфейс Fingual [24], созданный японскими исследователями из университетов Осаки и Шиншю представляет собой систему, направленную на перевод языка глухонемых в письменную речь.

Захват движения на основе маркеров. При маркерной системе [26] на руку человека наносятся цветные метки, с помощью которых передаются

данные о движении. На основе полученных данных строится трехмерная модель, в точности отображающая жесты. Маркерные метки наносятся на руку или же надеваются разноцветные перчатки. Подобные системы достаточно точны в передаче информации, просты в использовании и обладают низкой стоимостью.

Методы динамического распознавания жестов на основе глубокого обучения. В последние годы в научной литературе оформилось два основных подхода к алгоритмам распознавания на основе глубокого обучения.

Для первой категории характерна структура с обучением сети по входным данным без явного моделирования межкадровой информации. Как правило, множественная сверточная нейронная сеть адаптируются и обучаются с наборами масштабируемых данных, полученными от нескольких датчиков. Карпати и соавт. [26] предлагают мультиразмерную архитектуру сверточной нейронной сети, которая бы обучалась с исходными и усеченными кадрами, чтобы распознавать действие. О схожей множественной нейронной сети писал Молчанов и соавторы [16], в которой цвет и глубина комбинировались и использовались для обучения двух подсетей. В работе Неверовой и соавторов [1818] использовался мультимасштабный и мультимодальный фреймворк глубокого обучения. Мультимасштабная информация о жесте с системы захвата движения с видео подается как входные данные на несколько нейронных сетей. Выходные сигналы различных сверточных нейронных сетей сливаются многослойным персептроном в выходной слой и классифицируются. Мультимасштабная нейронная сеть была адаптирована Пиги и соавторами [27] чтобы классифицировать американский язык жестов. В их работе несколько кадров RGB и данных глубины извлекались из видеопотока, содержащего жесты рук и тела, которые подавались на вход двух сверточных нейронных сетей для классификации. Также в работе Симонян и соавт. [28] архитектура двух сверточных нейронных сетей обучалась на видеопотоке и получаемом из него оптическом потоке.

Во второй категории распознавания движения посредством глубокого обучения исследователями моделируется межкадровая временная информация с использованием рекуррентных нейронных сетей (возвратных нейронных сетей). Муруками и соавторы [14] создали рекуррентную нейронную сеть для распознавания японского языка жестов. Ордез и соавторы [29] разработали рекуррентную нейронную сеть с долгой краткосрочной памятью (LSTM), чтобы классифицировать жесты через данные, поступающие с датчиков, размещенных на теле. Донахью и соавторы [30] интегрировали сверточную нейронную сеть в рекуррентную сеть с LSTM, создав таким образом рекуррентную сверточную сеть с долгосрочной памятью (LRCN).

В подобной сети несколько кадров выбираются из более длинной видеопоследовательности и передаются в качестве входных сигналов на несколько сверточных нейронных сетей, причем каждая из них получает отдельный кадр. Их выходные сигналы в свою очередь подаются на вход LSTM для предсказания типа класса. Классификаторы действий в данной сети сообщают с большой точностью о проблемах, связанных с распознаванием. Джон и соавторы [17] предложили использовать точность классификации LRCN для извлечения характерных кадров из видеопотока. Кроме того, для репрезентативного извлечения кадров используется новый фреймворк глубокого обучения, основанный на семантической сегментации.

Выводы. Распознавание жестов в последние два десятилетия в связи с развитием технологий нейронных сетей и повышением вычислительных возможностей пользуется среди исследователей большим интересом. Данная область является перспективной в плане развития человеко-машинных интерфейсов, междолической коммуникации, области виртуальной реальности и игровых приложениях. Перед разработчиками приложений для распознавания жестов, как и перед разработчиками распознавания образов вообще, стоят задачи совершенствования существующих алгоритмов и поиска новых. Дальнейшие исследования направлены на разработку метода, который бы позволил улучшить существующие алгоритмы распознавания жестов руки в режиме реального времени в условиях меняющегося освещения. Те, из существующих на сегодняшний день подходов, которые используют простые видеокamеры для получения информации, в значительной степени зависят от освещения и неоднородности фона изображения.

Л і т е р а т у р а

1. Goza, S. M., Ambrose, R. O., Diffler, M. A. & Spain, I. M. "Telepresence Control of the NASA/DARPA Robonaut on a Mobility Platform". In: Proceedings of the 2004 Conference on Human Factors in Computing Systems. ACM Press, (2004) 623–629.
2. Stotts, D., Smith, J. M. & Gyllstrom, K. "Facespace: Endo- and Exo-Spatial Hypermedia in the Transparent Video Facetop". In: Proc. of the Fifteenth ACM Conf. on Hypertext & Hypermedia. ACM Press, (2004) 48–57.
3. Smith, G. M. & Schraefel, M. C. "The Radial Scroll Tool: Scrolling Support for Stylus-or Touch-Based Document Navigation". In Proc. 17th ACM Symposium on User Interface Software and Technology. ACM Press, (2004) 53–56.
4. Sharma, R., Huang, T. S., Pavovic, V. I., Zhao, Y., Lo, Z., Chu, S., Schulten, K., Dalke, A., Phillips, J., Zeller, M. & Humphrey, W. "Speech/Gesture Interface to a Visual Computing Environment for Molecular Biologists". In: Proc. of ICPR'96 II (1996), 964–968.
5. Gandy, M., Starnier, T., Auxier, J. & Ashbrook, D. "The Gesture Pendant: A Self Illuminating, Wearable, Infrared Computer Vision System for Home Automation Control

- and Medical Monitoring". Proc. of IEEE Int. Symposium on Wearable Computers. (2000), 87-94.
6. Freeman, W., Tanaka, K., Ohta, J. & Kyuma, K. "Computer Vision for Computer Games". Tech. Rep. and International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, (1996)
 7. Konrad, T., Demirdjian, D. & Darrell, T. "Gesture + Play: Full-Body Interaction for Virtual Environments". In: CHI '03 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems. ACM Press, (2003) 620–621.
 8. Sarkar, Arpita Ray, G. Sanyal, and S. Majumder. "Hand gesture recognition systems: a survey." International Journal of Computer Applications 71.15 (2013).
 9. Kristensson, P. O., Nicholson, T. F. W. and Quigley, A. 2012. Continuous Recognition of One-handed and Two-handed Gestures using 3-D Full-body motion tracking sensors. In Proc. of IUI 12.
 10. Stenger, Bjoern, Paulo RS Mendonça, and Roberto Cipolla. "Model-based 3D tracking of an articulated hand." Computer Vision and Pattern Recognition, 2001. CVPR 2001. Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on. Vol. 2. IEEE, 2001.
 11. Gupta, N., Mittal, P., Dutta Roy, S., Chaudhury, S. & Banerjee, S. "Developing a Gesture-Based Interface". IETE Journal of Research, 48(3) (2002) 237–244.
 12. New, J. R., Hasanbelliu, E. and Aguilar, M. "Facilitating User Interaction with Complex Systems via Hand Gesture Recognition." In Proc. of Southeastern ACM Conf., Savannah, (2003).
 13. Starner, T., Weaver, J. & Pentland, A. "Real-Time American Sign Language Recognition using Desk and Wearable Computer Based Video". PAMI, 20(12) (1998) 1371–1375.
 14. M. H. Yang, N. Ahuja, and M. Tabb, "Extraction of 2-D Motion Trajectories and its Application to Hand Gesture Recognition," in PAMI., 29(8) (2002) 1062–1074.
 15. E. Stergiopoulou, N. Papamarkos. (2009). "Hand gesture recognition using a neural network shape fitting technique," Elsevier Engineering Applications of Artificial Intelligence
 16. P. Molchanov, S. Gupta, K. Kim, and K. Pulli, "Multi-sensor system for driver's hand-gesture recognition," in FGR, 2015.
 17. V. John, A. Boyali, S. Mita, M. Imanishi, and N. Sanma, "Deep learning-based fast hand gesture recognition using representative frames," in DICTA, 2016.
 18. N. Neverova, C. Wolf, G. W. Taylor, and F. Nebout, Multi-scale Deep Learning for Gesture Detection and Localization, 2015.
 19. E. Ohn-Bar and M. M. Trivedi, "Hand gesture recognition in real time for automotive interfaces: A multimodal vision-based approach and evaluations," IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 15, no. 6, pp. 2368–2377, Dec 2014.
 20. Suk H., Sin B.K., Lee S.W. Hand gesture recognition based on dynamic Bayesian network framework // Journal Pattern Recognition, volume 43, number 9, Elsevier Science Inc.: 2010. — p. 3059-3072
 21. Tomasi C., Petrov S., and Sastry A. 3D tracking = classification + interpolation // Proc. Ninth IEEE International Conference on Computer Vision (Nice, France, 2003). – IEEE Computer Society, 2003. –P. 1441–1448
 22. Li, Y. 2012. Hand Gesture Recognition using KINECT. MS thesis. University of Louisville
 23. Q. Y. Zhang, F. Chen and X. W. Liu, "Hand Gesture Detection and Segmentation Based on Difference Background Image with Complex Background," Proceedings of the 2008 International Conference on Embedded Software and Systems, Sichuan, 29-31 July 2008, pp. 338-343.
 24. Fukushima, Taishi, Fumio Miyazaki, and Atsushi Nishikawa. "The Development of a Noncontact Letter Input Interface "Fingual" Using Magnetic Dataset." Transactions of the Society of Instrument and Control Engineers 48.3 (2012): 159-166.
 25. Dadgostar, Farhad, Andre LC Barczak, and Abdolhossein Sarrafzadeh. "A color hand gesture database for evaluating and improving algorithms on hand gesture and posture recognition." (2005).
 26. Andrej Karpathy, George Toderici, Sanketh Shetty, Thomas Leung, Rahul Sukthankar, and Li Fei-Fei, "Large-scale video classification with convolutional neural networks," in CVPR, 2014
 27. L. Pigou, S. Dieleman, P.-J. Kindermans, and B. Schrauwen, Sign Language Recognition Using Convolutional Neural Networks, 2015.
 28. K. Simonyan and A. Zisserman, "Two-stream convolutional networks for action recognition in videos," 2014.
 29. F. J. Ordez and D. Roggen, "Deep convolutional and lstm recurrent neural networks for multimodal wearable activity recognition," Sensors, vol. 16, no. 1, p. 115, 2016
 30. J. Donahue, L. A. Hendricks, S. Guadarrama, M. Rohrbach, S. Venugopalan, K. Saenko, and T. Darrell, "Long-term recurrent convolutional networks for visual recognition and description," in CVPR, 2015.

References

1. Goza, S. M., Ambrose, R. O., Diftler, M. A. & Spain, I. M. "Telepresence Control of the NASA/DARPA Robonaut on a Mobility Platform". In: Proceedings of the 2004 Conference on Human Factors in Computing Systems. ACM Press, (2004) 623–629.
2. Stotts, D., Smith, J. M. & Gyllstrom, K. "Facespace: Endo- and Exo-Spatial Hypermedia in the Transparent Video Facetop". In: Proc. of the Fifteenth ACM Conf. on Hypertext & Hypermedia. ACM Press, (2004) 48–57.
3. Smith, G. M. & Schraefel, M. C. "The Radial Scroll Tool: Scrolling Support for Stylus-or Touch-Based Document Navigation". In Proc. 17th ACM Symposium on User Interface Software and Technology. ACM Press, (2004) 53–56.
4. Sharma, R., Huang, T. S., Pavovic, V. I., Zhao, Y., Lo, Z., Chu, S., Schulten, K., Dalke, A., Phillips, J., Zeller, M. & Humphrey, W. "Speech/Gesture Interface to a Visual Computing Environment for Molecular Biologists". In: Proc. of ICPR'96 II (1996), 964-968.
5. Gandy, M., Starner, T., Auxier, J. & Ashbrook, D. "The Gesture Pendant: A Self Illuminating, Wearable, Infrared Computer Vision System for Home Automation Control and Medical Monitoring". Proc. of IEEE Int. Symposium on Wearable Computers. (2000), 87-94.
6. Freeman, W., Tanaka, K., Ohta, J. & Kyuma, K. "Computer Vision for Computer Games". Tech. Rep. and International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, (1996)
7. Konrad, T., Demirdjian, D. & Darrell, T. "Gesture + Play: Full-Body Interaction for Virtual Environments". In: CHI '03 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems. ACM Press, (2003) 620–621.

8. Sarkar, Arpita Ray, G. Sanyal, and S. Majumder. "Hand gesture recognition systems: a survey." *International Journal of Computer Applications* 71.15 (2013).
9. Kristensson, P. O., Nicholson, T. F. W. and Quigley, A. 2012. Continuous Recognition of One-handed and Two-handed Gestures using 3-D Full-body motion tracking sensors. In *Proc. of IUI* 12.
10. Stenger, Bjoern, Paulo RS Mendonça, and Roberto Cipolla. "Model-based 3D tracking of an articulated hand." *Computer Vision and Pattern Recognition*, 2001. CVPR 2001. Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on. Vol. 2. IEEE, 2001.
11. Gupta, N., Mittal, P., Dutta Roy, S., Chaudhury, S. & Banerjee, S. "Developing a Gesture-Based Interface". *IETE Journal of Research*, 48(3) (2002) 237–244.
12. New, J. R., Hasanbelliu, E. and Aguilar, M. "Facilitating User Interaction with Complex Systems via Hand Gesture Recognition." In *Proc. of Southeastern ACM Conf., Savannah*, (2003).
13. Starmer, T., Weaver, J. & Pentland, A. "Real-Time American Sign Language Recognition using Desk and Wearable Computer Based Video". *PAMI*, 20(12) (1998) 1371–1375.
14. M. H. Yang, N. Ahuja, and M. Tabb, "Extraction of 2-D Motion Trajectories and its Application to Hand Gesture Recognition," in *PAMI*, 29(8) (2002) 1062–1074.
15. E. Stergiopoulou, N. Papamarkos. (2009). "Hand gesture recognition using a neural network shape fitting technique," *Elsevier Engineering Applications of Artificial Intelligence*
16. P. Molchanov, S. Gupta, K. Kim, and K. Pulli, "Multi-sensor system for driver's hand-gesture recognition," in *FGR*, 2015.
17. V. John, A. Boyali, S. Mita, M. Imanishi, and N. Sanma, "Deep learning-based fast hand gesture recognition using representative frames," in *DICTA*, 2016.
18. N. Neverova, C. Wolf, G. W. Taylor, and F. Nebout, *Multi-scale Deep Learning for Gesture Detection and Localization*, 2015.
19. E. Ohn-Bar and M. M. Trivedi, "Hand gesture recognition in real time for automotive interfaces: A multimodal vision-based approach and evaluations," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 15, no. 6, pp. 2368–2377, Dec 2014.
20. Suk H., Sin B.K., Lee S.W. Hand gesture recognition based on dynamic Bayesian network framework // *Journal Pattern Recognition*, volume 43, number 9, Elsevier Science Inc.: 2010. — p. 3059-3072
21. Tomasi C., Petrov S., and Sastry A. 3D tracking = classification + interpolation // *Proc. Ninth IEEE International Conference on Computer Vision (Nice, France, 2003)*. – IEEE Computer Society, 2003. –P. 1441–1448
22. Li, Y. 2012. Hand Gesture Recognition using KINECT. MS thesis. University of Louisville
23. Q. Y. Zhang, F. Chen and X. W. Liu, "Hand Gesture Detection and Segmentation Based on Difference Background Image with Complex Background," *Proceedings of the 2008 International Conference on Embedded Software and Systems*, Sichuan, 29-31 July 2008, pp. 338-343.
24. Fukushima, Taishi, Fumio Miyazaki, and Atsushi Nishikawa. "The Development of a Noncontact Letter Input Interface "Fingual" Using Magnetic Dataset." *Transactions of the Society of Instrument and Control Engineers* 48.3 (2012): 159-166.
25. Dadgostar, Farhad, Andre LC Barczak, and Abdolhossein Sarrafzadeh. "A color hand gesture database for evaluating and improving algorithms on hand gesture and posture recognition." (2005).
26. Andrej Karpathy, George Toderici, Sanketh Shetty, Thomas Leung, Rahul Sukthankar, and Li Fei-Fei, "Large-scale video classification with convolutional neural networks," in *CVPR*, 2014
27. L. Pigou, S. Dieleman, P.-J. Kindermans, and B. Schrauwen, *Sign Language Recognition Using Convolutional Neural Networks*, 2015.
28. K. Simonyan and A. Zisserman, "Two-stream convolutional networks for action recognition in videos," 2014.
29. F. J. Ordez and D. Roggen, "Deep convolutional and lstm recurrent neural networks for multimodal wearable activity recognition," *Sensors*, vol. 16, no. 1, p. 115, 2016
30. J. Donahue, L. A. Hendricks, S. Guadarrama, M. Rohrbach, S. Venugopalan, K. Saenko, and T. Darrell, "Long-term recurrent convolutional networks for visual recognition and description," in *CVPR*, 2015.

Сіряк Р.В. Технології ідентифікації та розпізнавання жестів

У статті наведено огляд технологій розпізнавання і методів ідентифікації жестів. Наведені приклади застосування технологій, виділені невирішені проблеми в цій галузі. Визначено етапи роботи системи розпізнавання жестів, вилучення та попередньої обробки даних, підходи до отримання даних. Наведено підходи до розпізнавання жестів на основі низькорівневих ознак і на підставі пошуку кінематичних параметрів. Визначено напрямки подальших досліджень спрямованих на розробку методу поліпшення існуючих алгоритмів розпізнавання жестів руки в режимі реального часу в умовах мінливого освітлення.

Ключові слова: розпізнавання жестів, нейронні мережі, глибоке навчання, обробка динамічних даних

R.V. Siryak Gesture Identification and Recognition Techniques

The examples of application of technology are given, outstanding unsolved problems in this area are highlighted. Stages of the system of recognition of gestures, extraction and preliminary processing of data, approaches to data acquisition are determined. The approaches to recognition of gestures on the basis of low-level signs and on the basis of search of kinematic parameters are given. The direction of further research aimed at the development of a method for improving the existing algorithms for recognizing hand gestures in real time in conditions of changing light is determined.

Keywords: gesture recognition, neural networks, deep learning, dynamic data processing

Сіряк Р.В. – пошукач кафедри комп'ютерної інженерії Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, e-mail: hashem.r@gmail.com

Рецензент: д.т.н., проф. **Рязанцев О.І.**

УДК 004.942

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОДДЕРЖКИ ОПЕРАТОРА ХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА ПРИ УПРАВЛЕНИИ ПРЕДАВАРИЙНЫМИ РЕЖИМАМИ

Шумова Л.А.

INFORMATION TECHNOLOGY FOR SUPPORTING CHEMICAL OPERATOR IN PREFault CONDITIONS MANAGEMENT

Shumova L.

В статье рассмотрены информационные процессы аналитической поддержки оператора сложного технологического процесса. Предложена модель прикладной информационной технологии поддержки принятия оперативных решений в предаварийных ситуациях.

Ключевые слова: технологический процесс, безаварийность функционирования, информационная технология, поддержка принятия решений.

Введение. Проблема эффективного управления сложными химико-технологическими процессами связана, прежде всего, с недостаточным информационным обеспечением оперативного персонала, отсутствием в системах управления информационно-аналитических средств распознавания критических состояний и поддержки принятия оперативных решений.

Анализ исследований и публикаций. Теоретическим основам информационных технологий техногенной безопасности химических производств посвящено много работ отечественных и зарубежных ученых, среди которых можно выделить работы таких ученых, как П.Г. Белов, А.Ф. Егоров, В.В. Кафаров, В. Маршалл, В.П. Мешалкин, В.А. Острейковский, Б.В. Палюх, Т.В. Савицкая, Г.А. Статюха, В.Ф. Стоецкий, В.В. Стоянов и др.

Вместе с тем, сложность современных технологических процессов постоянно формирует новые вызовы для человека, который их контролирует. Количество и последствия аварий на химических производствах указывают на то, что автоматизации процессов сбора, хранения и анализа данных недостаточно для того, чтобы оперативный персонал смог принимать эффективные решения относительно аварийной ситуации, ее предупреждения и предотвращения.

Поэтому разработка информационной технологии, обеспечивающей высокую

достоверность оценки состояния технологического агрегата и адекватную информационную поддержку оператора, является актуальной.

Целью работы является решение проблемы информационно-аналитической поддержки оператора сложного технологического процесса в критических ситуациях.

Для достижения поставленной цели сформулированы основные задачи:

- провести анализ концепций и проблем мониторинга сложных химико-технологических процессов с возможностью выявления критических состояний;

- построить информационную технологию поддержки принятия решений оператора в предаварийных ситуациях.

Согласно [1], информационная технология - совокупность методов, моделей, алгоритмов и программно-технологических средств, обеспечивающих сбор, хранение, обработку и вывод информации. Причём, алгоритмы реализуются как информационные процессы, многообразие которых определяется спецификой предметных областей и соответствующими методами и моделями.

Поэтому решение задачи построения информационной технологии заключается в разработке комплекса взаимосвязанных информационных процессов, использующих определенные методы и модели.

Изложение материала и результаты. В работе [2] предложен метод, позволяющий синтезировать рациональный состав информационных технологий мониторинга сложного технологического процесса. Предлагаемая методика используется в данной работе для построения информационной технологии поддержки оператора аммиачного производства в критических ситуациях и заключается в выполнении следующих этапов:

Важкой задачей практической реализации рассматриваемой информационной технологии является разработка проекта базы данных параметров технологических процессов, составляющих химическое производство.

БД формируется на основании информации из технологических регламентов производств, данных мониторинга технологического процесса средствами АСУ ТП и данных по техническому обслуживанию оборудования.

Информация из БД обеспечивает поддержку принятия решений оператора-технолога в предаварийных ситуациях технологического

процесса. Кроме того, информация из БД может использоваться главными специалистами предприятия для управления техническим обслуживанием оборудования.

На рисунке 2 показана функциональная структура БД параметров технологического процесса.

БД параметров технологического процесса (FORECAST) содержит информацию о контролируемых параметрах: считанные показания датчиков, их местоположение, привязка к оборудованию и технологическому процессу, единицы измерения, время и дата считывания.

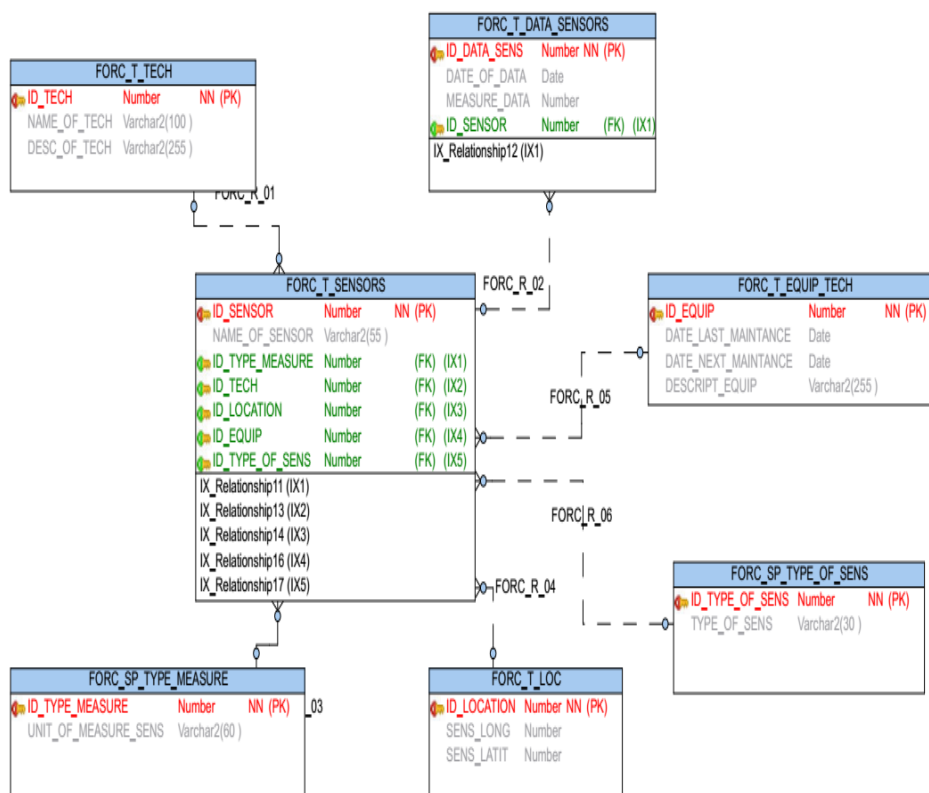


Рис. 3. Схема базы данных FORECAST

Таблица

Характеристика атрибутов БД FORECAST

Атрибут	Объяснение	Пример
ID_	Уникальный идентификатор в базе (запрет на повторение).	115428
NAME_OF_SENSOR	Название датчика	FCSA3
DATE_OF_DATA	Время снятия показания с датчика	10.02.2015 13:17
MEASURE_DATA	Показание значения контролируемого технологического параметра, снятое с определённого датчика в определённый момент времени.	35000
NAME_OF_TECH	Наименование техпроцесса.	1-Б
DESCRIPT_EQUIP	Описание оборудования.	Реактор вторичного риформинга
DATE_LAST_MAINTANC	Дата последнего технического осмотра.	15.07.2014
DATE_NEXT_MAINTANC	Дата следующего технического осмотра (планового).	18.06.2015
TYPE_OF_SENS	Тип датчика.	Датчик расхода воздуха

Для проектирования функциональной структуры БД использовался программный продукт Toad Data Modeller. БД реализована в СУБД Oracle (рис. 3).

В таблице отражены характеристики некоторых атрибутов базы данных FORECAST.

Выводы. Таким образом, применяя системный подход к проектированию прикладных информационных технологий мониторинга сложных технологических процессов, построена информационная технология поддержки оператора аммиачного производства в критических ситуациях. Реализация представленной информационной технологии в контуре АСУТП химического производства обеспечит адекватную информационную поддержку оператора в критических ситуациях.

Л и т е р а т у р а

1. Коголовский М. Р. Перспективные технологии информационных систем / М. Р. Коголовский. – М.: ДМК Пресс, 2003. – 288 с.
2. Левыкин В. М. Метод построения информационной технологии диагностики состояния сложного технологического процесса / В. М. Левыкин, И. В. Шевченко // Управляющие системы и машины. – 2014. – № 3. – С. 33-38.
3. Рязанцев А. И. Система поддержки принятия решений при управлении технологическим процессом в предаварийных ситуациях / А. И. Рязанцев, И. С. Скарга-Бандурова, Л. А. Шумова // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – 2010. – № 9 (151), ч. 1. – С. 189-193.
4. Skarga-Bandurova I. Methods to assessing critical parameters and early warnings of dangerous situations / I. Skarga-Bandurova, L. Shumova, A. Ryazantsev // Journal of Information, Control and Management Systems. – 2014. – V. 12, No. 1. – P. 83-91. (зарубіжне видання, publisher: Faculty of Computer Science and Informatics at Žilina University, Slovakia).

R e f e r e n c e s

1. Kogalovskij M. R. Perspektivnye tehnologii informacionnyh sistem / M. R. Kogalovskij. – M.: DMK Press, 2003. – 288 s.
2. Levykin V. M. Metod postroenija informacionnoj tehnologii diagnostiki sostojanija slozhnogo tehnologicheskogo processa / V. M. Levykin, I. V. Shevchenko // Upravljajushhie sistemy i mashiny. – 2014. – № 3. – S. 33-38.
3. Rjazancev A. I. Sistema podderzhki prinjatija reshenij pri upravlenii tehnologicheskim processom v predavarijnyh situacijah / A. I. Rjazancev, I. S. Skarga-Bandurova, L. A. Shumova // Visnik Shidnoukraïns'kogo nacional'nogo universitetu im. V. Dalja. – 2010. – № 9 (151), ch. 1. – S. 189-193.
4. Skarga-Bandurova I. Methods to assessing critical parameters and early warnings of dangerous situations / I. Skarga-Bandurova, L. Shumova, A. Ryazantsev // Journal of Information, Control and Management Systems. – 2014. – V. 12, No. 1. – P. 83-91. (зарубіжне видання, publisher: Faculty of Computer Science and Informatics at Žilina University, Slovakia).

Шумова Л.О. Інформаційні технології підтримки оператора хімічного виробництва для управління у предаварійних режимах

У статті розглянуті інформаційні процеси аналітичної підтримки оператора складного технологічного процесу. Запропоновано модель прикладної інформаційної технології підтримки прийняття оперативних рішень у предаварійних ситуаціях.

Ключові слова: технологічний процес, безаварійність функціонування, інформаційна технологія, підтримка прийняття рішень.

Shumova L. Information technologies for support of operator of chemical manufacture under management of pre-crash mode.

Information processes of analytical support of operator in a complex technological process are considered. A model of the applied information technology is proposed to support the adoption of operational decisions in pre-crash situations.

Keywords: the technological process, trouble-free operation, information technology, decision support

Шумова Л.О. – к.т.н., доцент кафедри «Комп'ютерна інженерія» Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, e-mail: shumova@ukr.net.

Рецензент: д.т.н., проф. **Рязанцев О.І.**

Стаття подана 25.08.2017

УДК 681.518

АНАЛІЗ КЛАСІВ МОВИ ПРОГРАМУВАННЯ JAVASCRIPT

Щербаков Є.В., Щербакова М.Є.

ANALYSIS OF PROGRAMMING LANGUAGE JAVASCRIPT CLASSES

Shcherbakov E.V., Shcherbakova M.E.

Коротко подані та проаналізовані основні можливості об'єктно-орієнтованого програмування (ООП) на основі класів, введених в мову програмування JavaScript специфікацією ECMAScript 2015 [1]. Зокрема, розглянуті, досліджені та запропоновані варіанти оптимального використання в програмах на JavaScript основних парадигм ООП: властивостей та методів класів, спадкування класів, інкапсуляції та поліморфізму. Зроблено висновок, що головна мета введення класів - це простий та зрозумілий синтаксис для роботи з функціями-конструкторами та прототипним спадкуванням JavaScript.

Ключові слова: JavaScript, об'єктно-орієнтоване програмування, класи, інкапсуляція, спадкування, поліморфізм

Вступ. Об'єктно-орієнтоване програмування в сучасних мовах програмування є розвитком двох концепцій: концепції модульного програмування, що з'явилася в більш ранніх мовах програмування, таких як С, та концепції типів даних користувача, представлених структурами в тій же мові С, що поєднують в собі різнотипні складові елементи. Так само, як і при модульному програмуванні, при об'єктно-орієнтованому програмуванні дані та функції, що їх оброблюють, об'єднуються разом, утворюючи клас. Але на відміну від програмного модуля клас не виконує ніяких реальних дій ні самостійно, ні за запитом від інших частин програми. Клас є штампом, за допомогою якого виробляються однотипні функціональні модулі програми, в сукупності звані об'єктами. Дані та функції кожного об'єкту тісно зв'язані один з одним. Саме об'єкти виконують всю реальну роботу при виконанні об'єктно-орієнтованих програм.

До 2015 року синтаксис класів в мові програмування JavaScript був відсутній. Концепція класів була введена в цю мову специфікацією ECMAScript 15 та носить назву «максимально мінімальної». Тобто, в неї увійшли тільки ті можливості, які вже зовсім необхідні. Зокрема, не увійшли «приватні» і «захищені» властивості, тобто, всі властивості класу доступні зовні.

Основна частина. До появи специфікації ECMAScript 15 [1] в мові JavaScript [2] активно використовувались об'єкти і свій особливий тип спадкування на базі прототипів. Об'єкти в JavaScript могли мати довільне число властивостей і ці властивості могли додаватися в об'єкт динамічно. В строго типізованих мовах, таких як С++ та Java, це не так. У них будь-який об'єкт має заздалегідь визначений набір властивостей, а кожна властивість має строго визначений тип. У С++ та Java клас визначає структуру об'єкта. Клас задає поля, які містяться в об'єкті, і типи даних цих полів. Він також визначає методи для роботи з об'єктом [3].

Специфікація ECMAScript 15, на додаток до вже наявних можливостей об'єктно-орієнтованого програмування, вводить в мову JavaScript традиційний синтаксис класів з об'єктними та статичними властивостями, а також класичним спадкуванням. Проаналізуємо основні можливості об'єктно-орієнтованого програмування сучасної мови JavaScript на базі класів більш детально.

Методи класів. В тілі класу JavaScript дозволяється визначати тільки властивості-методи і не дозволяються властивості-значення. Якщо властивість-значення все ж потрібна, то треба створювати одержувач та/або установник властивості, який буде повертати та/або встановлювати потрібне значення.

Методи, які можуть бути членами класу, можна розділити на три групи: конструктор класу, прототипні та статичні методи класу.

Як і в класичних мовах програмування, завдання конструктора класу - створити та ініціалізувати об'єкт класу, коли конструктор викликається на виконання за допомогою оператора new.

Прототипні методи класу формуються як властивості об'єкта ім'я_класу.prototype і, таким чином, стають методами, які викликаються на виконання через об'єкти даного класу, тобто об'єктними методами класу.

Статичні методи визначаються за допомогою ключового слова static, стають методами

конструктору класу і таким чином можуть викликатись на виконання, використовуючи тільки ім'я класу, як і в інших мовах програмування.

На відміну від класичних мов програмування, ім'я методу класу JavaScript можна визначити за допомогою виразу, якщо помістити цей вираз в квадратні дужки. Наприклад, такі три варіанти визначення класу CmClass еквівалентні:

```
class CmClass {
    myMethod() {}
}
class CmClass {
    ['my'+Method]() {}
}
let m = "myMethod";
class CmClass {
    [m]() {}
}
```

Всі методи класів JavaScript є непереліковними, тобто вони не видимі при обробці властивостей об'єктів класів за допомогою циклів for/in.

Інкапсуляція. Одна з найбільш загальних характеристик класичних об'єктно-орієнтованих мов програмування, таких як C++ та Java, полягає в можливості оголошення приватних (private) властивостей класу, звертатися до яких можна тільки з методів цього класу і недоступних за межами класу. Поширена техніка програмування, звана інкапсуляцією даних, полягає в створенні приватних властивостей і організації доступу до цих властивостей тільки через спеціальні методи читання/запису.

Як було сказано раніше, в відповідності зі специфікацією ECMAScript 15, всі властивості класу доступні зовні. Але JavaScript дозволяє імітувати інкапсуляцію даних за допомогою замикань функцій, для чого необхідно, щоб методи доступу зберігалися в кожному об'єкті класу і з цієї причини не могли успадковуватися від об'єкта-прототипу. Наступний фрагмент демонструє, як можна домогтися цього. Він містить реалізацію класу прямокутника Rectangle, ширина і висота яких доступні і можуть змінюватися тільки шляхом звернення до спеціальних методів:

```
function ImmutableRectangle(w, h) {
    this.getWidth = function() { return w; }
    this.getHeight = function() { return h; }
}
// Клас може мати звичайні методи
// в об'єкті-прототипі
ImmutableRectangle.prototype.area = function() {
    return this.getWidth() * this.getHeight();
};
```

Окрім замикань, для зберігання приватних даних класів в сучасній мові JavaScript можна використовувати слабкі мапи (weak maps), а також застосовувати унікальні ідентифікатори типу Symbol в якості ключів для приватних властивостей.

Спадкування. В відповідності до специфікації ECMAScript 15 в сучасній мові JavaScript можна

створити новий клас, похідний від уже існуючого, вказавши ім'я базового класу після ключового слова extends. Базовий клас в цьому випадку називають суперкласом або батьківським класом, а похідний клас — субкласом або дочірнім класом. В дочірньому класі може використовуватись ключове слово super в спеціальному методі класу constructor() для виклику конструктора батьківського класу або в методах класу для посилань на прототипні та статичні методи батьківського класу або функції-конструктора. Якщо дочірній клас не має метода constructor(), за замовчуванням буде викликатись конструктор батьківського класу. Все це практично повторює синтаксичні механізми спадкування класів в класичних об'єктно-орієнтованих мовах програмування, таких як Java та її подібних.

На відміну від C++ мова JavaScript підтримує тільки одиночне спадкування, оскільки при спадкуванні в більшості випадків створюваному класу достатньо одного суперкласу. Але це становиться обмеженням, коли створюються розгалужені ієрархії класів, а також коли при спадкуванні потрібно наслідувати інструментальні методи з різних джерел. Скажімо, в сценарії є клас Person і створюється підклас Employee:

```
class Person {}
class Employee extends Person {}
```

і при цьому потрібно наслідувати функції від двох службових класів: BackgroundCheck — цей клас робить перевірку даних співробітника, і Onboard — цей клас супроводжує прийом співробітника на роботу, наприклад, друкує бейджик і таке інше:

```
class BackgroundCheck {
    check() {}
}
class Onboard {
    printBadge() {}
}
```

Обидва класи, BackgroundCheck та Onboard, являють собою абстрактні підкласи, функціональні можливості яких можуть використовуватися багато разів, і які називаються міксинами (mixins).

Оскільки множинне спадкування в JavaScript відсутнє (в відповідності до ECMAScript 15), для досягнення початкової мети використовується інша техніка. Популярний спосіб реалізації міксинів в JavaScript — це написати функцію, в якості вхідного аргументу якій передається суперклас, і яка в якості вихідного значення повертає похідний від нього клас (підклас), наприклад:

```
class Person {}
const BackgroundCheck = Tools => class
    extends Tools {
        check() {}
    };
const Onboard = Tools => class extends Tools {
    printBadge() {}
};
class Employee extends
    BackgroundCheck(Onboard(Person)){
}
```

По суті це означає, що Employee є підкласом BackgroundCheck, який, в свою чергу, є підкласом Onboard, який, в свою чергу, є підкласом Person.

Хоча синтаксично спадкування класів в JavaScript дуже близьке до спадкування в класичних мовах програмування, воно насправді є тільки обгорткою над традиційним для JavaScript прототипним спадкуванням [4, 5], тобто є динамічним, а не статичним.

При використанні прототипного спадкування в JavaScript програма під час виконання може будь-коли додати, відкоригувати або видалити одну або декілька властивостей об'єкта на будь-якому рівні ієрархії спадкування, тим самим змінивши поведінку всього піддерева дочірніх об'єктів. При класичному спадкуванні все, що оголошено в кожному класі ієрархії спадкування залишається там назавжди, тобто класичне спадкування передбачає наявність певної статичної схеми, по якій будується кожен об'єкт дерева спадкування класів. Таким чином, при використанні прототипного спадкування ми маємо справу не зі схемою, а з живим організмом, який постійно розвивається, з часом змінюється і приймає ту форму, яка потрібна веб-сторінці, додатку або сервісу в поточний момент часу.

Поліморфізм. Поліморфізм - це можливість використання одного і того ж об'єктного метода для виконання різних дій. У мовах C++ і Java дія, яка виконується в даний момент, визначається типом об'єкта, від імені якого був викликаний об'єктний метод. Поліморфізм в C++ реалізується за допомогою віртуальних функцій, які викликаються через об'єктні змінні, що посилаються за допомогою вказівників на базовий клас [3].

В JavaScript поліморфна поведінка методів класів підтримується механізмом пошуку їх реалізацій по ланцюжку прототипів об'єктів, а також тим, що із-за слабкої типізації всі об'єктні змінні можна розглядати як вказівники на базовий клас Object [2]. Тому для поліморфної поведінки методів JavaScript досить показати можливість перевизначення методів базових класів в похідних класах.

Дійсно, коли на JavaScript в похідному класі визначається метод, який має те ж саме ім'я, що й метод базового класу, похідний клас перевизначає (overrides) цей метод. Найчастіше перевизначення методів проводиться не з метою повної заміни, а лише для того, щоб розширити їх функціональність. Для цього метод повинен мати можливість викликати перевизначений метод. У певному сенсі такий прийом за аналогією з конструкторами можна назвати викликом методів по ланцюжку. Однак викликати перевизначений метод набагато менш зручно, ніж викликати конструктор базового класу. Для демонстрації цього розглянемо наступний приклад. Припустимо, що клас прямокутників Rectangle визначає метод toString() наступним чином:

```
Rectangle.prototype.toString = function() {
    return "[" + this.width + ", " + this.height + "];"
}
```

Цей метод необхідно перевизначити в похідному класі, наприклад, PositionedRectangle, щоб об'єкти похідного класу могли мати строкове представлення, яке відображає значення не тільки ширини і висоти, але і всіх інших властивостей прямокутника. З метою досягнення більшого узагальнення будемо обробляти значення властивостей координат в самому класі, а обробку властивостей width і height делегуємо базовому класу. Зробити це можна приблизно так:

```
PositionedRectangle.prototype.toString =
function() {
    return "(" + this.x + ", " + this.y + ")" +
    // поля цього класу
    Rectangle.prototype.toString.apply(this);
    // виклик методу суперкласу
    // по ланцюжку прототипів
}
```

Реалізація методу toString() базового класу доступна як властивість об'єкта-прототипу базового класу. Не можна викликати метод безпосередньо - довелося скористатися методом apply(), щоб вказати, для якого об'єкта викликається метод. Однак якщо в PositionedRectangle.prototype додати властивість superclass, можна зробити так, щоб цей код не залежав від типу базового класу:

```
PositionedRectangle.prototype.toString = function(
) {
    return "(" + this.x + ", " + this.y + ")" +
    // поля цього класу
    this.superclass.prototype.toString.apply(this);
}
```

Властивість superclass може використовуватися в ієрархії спадкування тільки один раз. Якщо воно буде використовуватись якимось класом і похідним від нього класом, це призведе до безкінечної рекурсії.

Висновки. Програмування на основі класів, введене в JavaScript специфікацією ECMAScript 15, - це тільки новий синтаксис використання існуючої об'єктно-орієнтованої моделі програмування.

Головною метою введення класів є простий та зрозумілий синтаксис для роботи з конструкторами та спадкуванням за допомогою прототипів.

По суті, класи є функціями. Вони лише надають новий синтаксис створення функцій, які застосовуються в якості конструкторів. Створення за допомогою класів функцій, які не використовуються як конструктори, не має будь-якого сенсу, не надає ніяких переваг, але робить код більш заплутаним та важким для читання. Тому класи слід використовувати тільки для створення об'єктів.

Хоча синтаксично спадкування класів в JavaScript дуже близьке до спадкування в класичних мовах програмування, воно насправді є тільки обгорткою над прототипним спадкуванням, тобто є динамічним, а не статичним.

При використанні прототипного спадкування в JavaScript програма під час виконання може будь-коли додати, відкоригувати або видалити одну або декілька властивостей об'єкта на будь-якому рівні ієрархії спадкування, тим самим змінивши поведінку всього піддерева дочірніх об'єктів.

При класичному спадкуванні все, що оголошено в кожному класі ієрархії спадкування залишається там назавжди, тобто класичне спадкування передбачає наявність певної статичної схеми, по якій будуються всі об'єкти дерева спадкування класів.

Для приховування (інкапсуляції) даних в об'єктах класів, формальний синтаксис для чого в специфікації ECMAScript 15 відсутній, можна користатися механізмом замикання функцій, слабкими мапами (weak maps) або унікальними ідентифікаторами Symbol.

Поліморфна поведінка методів класів в JavaScript підтримується механізмом пошуку їх реалізацій по ланцюжку прототипів, а також тим, що із-за слабкої типізації всі об'єктні змінні можна розглядати як вказівники на базовий клас Object.

Література

1. ECMAScript® 2015 Language Specification [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://www.ecma-international.org/ecma-262/6.0/index.html#sec-ecmascript-function-objects>.
2. Рязанцев О.І. Мовні засоби розробки веб-додатків / Рязанцев О.І., Щербаков Є.В., Щербакова М.Є. ; СХУ ім. В. Даля. - Северодонецьк: Вид-во СХУ ім. В. Даля, 2017. - 466 с.
3. Щербаков Є.В. Мовні засоби системного програмування: Навчальний посібник / Щербаков Є.В., Щербакова М.Є. ; СХУ ім. В. Даля. - Луганськ: Вид-во СХУ ім. В. Даля, 2006. - 376 с.
4. Ртищев В. ES6 классы [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://jsraccoon.ru/es6-classes>.
5. Щербаков Е. В. Особенности объектно-ориентированного программирования в языке JavaScript / Е. В. Щербаков, М. Е. Щербакова // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. - 2011 - №10 (164), ч .2. - С. 229-234.

References

1. ECMAScript® 2015 Language Specification [Electronic resource]. - Access mode: <http://www.ecma-international.org/ecma-262/6.0/index.html#sec-ecmascript-function-objects>.
2. Ryazantsev O. I. Language means of web-application developing / Ryazantsev O.I., Shcherbakov E.V., Shcherbakova M.E.; EUNU. - Severodonetsk: Vyd-vo SNU im. V. Dalya, 2017. - 466 p.

3. Shcherbakov E.V. Language means of system programming: Tutorial / Shcherbakov E.V., Shcherbakova M.E. / EUNU. - Luhansk: Vyd-vo SNU im. V. Dalya, 2006. - 376 p.
4. Rtyshchev V. ES6 classes [Electronic resource]. - Access mode: <http://jsraccoon.ru/es6-classes>.
5. Shcherbakov E. V. Features of object-oriented programming in JavaScript language / E. V. Shcherbakov, M. E. Shcherbakova // Visnik of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University. - 2011 - №10 (164), part 2. - p. 229-234.

Щербаков Е.В., Щербакова М.Е. Анализ классов языка программирования JavaScript

Коротко представлены и проанализированы основные возможности объектно-ориентированного программирования (ООП) на основе классов, введенных в язык программирования JavaScript спецификацией ECMAScript 2015. В частности, рассмотрены, изучены и предложены варианты оптимального использования в программах на JavaScript основных парадигм ООП: свойств и методов классов, наследования классов, инкапсуляции и полиморфизма. Сделан вывод, что главная цель введения классов - это простой и понятный синтаксис для работы с функциями-конструкторами и прототипным наследованием JavaScript.

Ключевые слова: JavaScript, объектно-ориентированное программирование, классы, инкапсуляция, наследование, полиморфизм

Shcherbakov E.V., Shcherbakova M.E. Analysis of programming language JavaScript classes

Briefly presented and analyzed the main features of object-oriented programming (OOP) based on classes, introduced into the programming language JavaScript by specification ECMAScript 2015. In particular, the variants of the optimal use of basic OOP paradigms in JavaScript programs are discussed, studied and proposed: class properties and methods, class inheritance, encapsulation and polymorphism. It is concluded that the main purpose of introducing classes is a simple and understandable syntax for working with constructor functions and prototypical JavaScript inheritance.

Keywords: JavaScript, object-oriented programming, classes, encapsulation, inheritance, polymorphism

Щербаков Є.В. – к.т.н., доцент, доцент кафедри комп'ютерної інженерії Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, e-mail: gkvarc@gmail.com

Щербакова М.Є. – к.т.н., доцент, доцент кафедри комп'ютерної інженерії Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, e-mail: m.shcherbakova432@gmail.com

Рецензент: д.т.н., проф. **Смолий В.М.**

Стаття подана 26.08.2017

УДК 681.518

РОЗПАРАЛЕЛЮВАННЯ ОБЧИСЛЕНЬ В СУЧАСНИХ ВЕБ-БРАУЗЕРАХ

Щербакова М. Є., Щербаков Є. В.

PARALLELIZING COMPUTING IN MODERN WEB BROWSERS

Shcherbakova M.E., Shcherbakov E.V.

Представлені можливості синхронних та асинхронних обчислень в веб-програмуванні з використанням мови JavaScript. Показано, що використання технології синхронних (векторних) обчислень SIMD для JavaScript може в декілька разів пришвидшити обробку великих масивів даних при наявності в комп'ютерному пристрої векторного розширювача. Додатковий вииграш в часі рішення великих задач можна отримати на багатоядерних процесорах за рахунок асинхронного розпаралелювання задачі на багато потоків, використовуючи технологію веб-виконавців.

Ключові слова: JavaScript, синхронні обчислення, SIMD API, асинхронні обчислення, веб-виконавці

Вступ. Мова програмування JavaScript стала доступною майже всюди, в мережі Інтернет - вона використовується на серверах, вбудована в додатки за технологією веб-сторінок і, звичайно, працює в якості середовища виконання в веб-браузерах, які активно використовуються, як в мобільних пристроях, так і в настільних комп'ютерах.

JavaScript є стандартною мовою програмування веб-платформ, і все частіше традиційне програмне забезпечення стає веб-програмним забезпеченням. Це стосується мобільних додатків, ігор, програмного забезпечення вбудованих комп'ютерів, пристроїв IoT, хмарних сервісів. Все це програмне забезпечення потребує використання найбільш сучасних комп'ютерних технологій, які потребують багато обчислень: воно включає моделювання фізичних та інших процесів, воно користується алгоритмами штучного інтелекту, в ньому часто проводиться цифрова обробка сигналів, забезпечується візуалізація динамічних даних, а також виконуються багато інших функцій обробки інформації в режимі реального виміру часу.

Розробники програмного забезпечення все більше покладаються на JavaScript і все в більшій мірі потребують передбачуваної високої продуктивності виконання програм, написаних на

цій мові, наприклад, коли для гри потрібні гарантовані 60 кадрів в секунду. Це потребує ефективного використання в програмах всіх засобів пришвидшення обчислень, в першу чергу таких, як синхронні обчислення з використанням розширювачів процесорів типу SIMD, а також асинхронні обчислення на сучасних багатоядерних процесорах.

Синхронні обчислення. При синхронних (або векторних) обчисленнях один потік інструкцій обробляє одночасно багато потоків даних (Single Instruction Multiple Data - SIMD), тобто в одній інструкції в якості кожного операнду використовується не одне скалярне значення, а відразу масив (вектор) значень. Нехай, наприклад, X_1 , X_2 і Y - це три одновимірних масиви, що мають однакове число елементів, і є інструкція: $Y = X_1 + X_2$.

Векторний розширювач по одній інструкції процесора виконає попарні складання елементів масивів X_1 і X_2 і присвоїть отримані значення відповідним елементам масиву Y . На противагу цьому, звичайному послідовному процесору довелося багато разів виконувати операцію додавання елементів двох масивів, а також кожного разу виконувати кілька додаткових інструкцій, які організовують циклічну обробку масивів. Очевидно, що при вирішенні великих задач за рахунок паралельної векторної реалізації її алгоритму можна досягти більш високої швидкості обчислень.

В JavaScript інтерфейс прикладного програмування SIMD API [1] складається з декількох нових типів і операцій. Браузери забезпечують високо оптимізовану реалізацію цього API в залежності від базового апаратного забезпечення. В даний час реалізація SIMD API існує для платформи ARMv7 з розширенням NEON та платформи x86 з розширенням SSE.

На рис. 1 представлена ієрархія основних типів об'єктів модуля SIMD для мови програмування JavaScript.

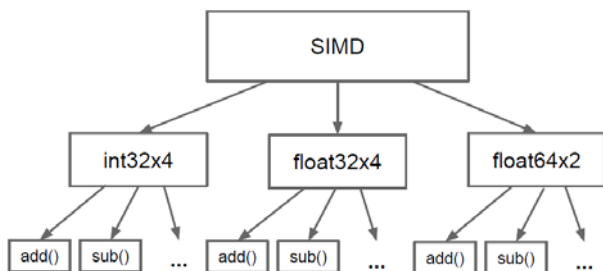


Рис. 1. Ієрархія об'єктів модуля SIMD для JavaScript

В цілому, реалізація SIMD API включає в себе наступні типи об'єктів: 2 - для роботи з числами з плаваючою точкою (float32x4, float64x2), 3 - для роботи з цілими числами без знаку (uint8x16, uint16x8, uint32x4), 3 - для роботи з цілими числами зі знаком (int8x16, int16x8, int32x4), 4 - для роботи з логічними значеннями (bool8x16, bool16x8, bool32x4, bool64x2). В назвах типів перше число позначає розрядність оброблюваних відповідним об'єктом величин, а друге число – кількість одночасно оброблюваних величин або, в термінології SIMD-технології, кількість одночасно оброблюваних смуг (lanes) в регістрах векторного розширювача процесора. Як можна переконатися, добуток першого і другого числа в імені типу кожного об'єкта завжди дорівнює 128, тобто, розрядності регістрів векторного розширювача.

Кожний з об'єктів має функціонально повний набір методів для створення та виконання обчислень над векторами значень відповідного типу та розмірності. Нижче наводиться приклад додавання двох векторів:

```

let a = SIMD.Float32x4(1, 2, 3, 4);
let b = SIMD.Float32x4(5, 6, 7, 8);
let c = SIMD.Float32x4.add(a,b);
// Float32x4[6,8,10,12]

```

Для поелементного розгалуження векторної обробки в модулі SIMD використовується технологія, подібна методології, запропонованій в роботі [2]. В якості прикладу векторного розгалуження нижче приведена функція отримання вектору max, елементи якого містять максимуми елементів вхідних векторів a та b:

```

max = function(a, b) {
  let greaterThan = SIMD.Float32x4.greaterThan(a, b);
  return SIMD.float32x4.select(greaterThan, a, b);
}

```

В якості демонстрації на рис. 2 приведені значення елементів векторів greaterThan та max при роботі функції після її виклику на виконання з вхідними векторами a та b, значення яких позначені різними кольорами.

Як можна побачити з цього прикладу, для проведення обчислень з 32-розрядними числами використовуються 4 смуги (lanes), тобто прискорення векторних обчислень в порівнянні зі скалярними обчисленнями при роботі з 32-розрядними числами не може бути більше 4-х.

Вектор a	1.0	2.0	3.0	4.0
Вектор b	0.0	3.0	5.0	2.0
Вектор маски greaterThan	true	false	false	true
Вектор max	1.0	3.0	5.0	4.0

Рис. 2. Значення елементів векторів a, b, greaterThan та max при виконанні векторної функції

Технологія синхронних обчислень SIMD для JavaScript є експериментальною і реалізовувалась в рамках бібліотеки SIMD.js. Передбачалось, що опис SIMD API увійде в специфікацію ECMAScript 2016, але SIMD була виключена з цієї специфікації, оскільки було прийнято рішення розвивати цю технологію в рамках проекту WebAssembly – низькорівневої мови веб-програмування та віртуальної машини для неї, який підтримується всіма основними виробниками веб-браузерів.

Асинхронні обчислення. Доповнення до мови розмітки HTML 5 «Web Workers» [3] ввело в мову програмування JavaScript механізм веб-виконавців, за допомогою яких можна організувати ефективну паралельну обробку даних на всіх ядрах процесора так, щоб вона не впливала на час реакції візуального інтерфейсу користувача, який зазвичай реалізується браузером. Окрім того, специфікація ECMAScript 2015 [4] додала в мову JavaScript підтримку популярних шаблонів програмування. Одним з таких шаблонів є об'єкт Promise, який полегшує розробку легкого для сприйняття асинхронного коду.

Використання сучасних асинхронних програмних інтерфейсів мов HTML5 та JavaScript сприяють написанню більш швидких, надійних, коротких та зрозумілих програм веб-додатків та веб-сайтів.

Веб-виконавці. Веб-виконавці представляють собою ефективно працюючі потоки виконання. Веб-виконавці живуть в автономному середовищі виконання, проте, без доступу до об'єктів Window або Document, і можуть спілкуватися з головним потоком тільки через механізм асинхронної передачі повідомлень. Це означає, що паралельна модифікація об'єктної моделі документа (DOM) все ще не можлива, але в той же час веб-виконавці дають можливість використовувати синхронні API і писати занадто довгі по часу виконання функції, які не гальмують цикл обробки подій і не підвищують браузер. Створення нового виконавця не є важкою операцією, такою, як відкриття нового вікна браузера. Але виконавці не найпростіші потоки з усіх, і тому не має сенсу створення нових виконавців для виконання тривіальних операцій. Для складних веб-додатків може виявитися корисним створювати десятки виконавців, але малоймовірно, що додатки з сотнями або тисячами виконавців будуть зустрічатися на практиці.

Як і в будь-якому потоковому API, є дві частини визначення веб-виконавця. Першою частиною є об'єкт Worker: він визначає, як

виконавець представляється ззовні, з боку потоку, який його створює. Другою частиною є `WorkerGlobalScope` - глобальний об'єкт для нового виконавця, який визначає, як потік виконавця виглядає з внутрішньої сторони, тобто з коду виконавця.

Об'єкт `Worker`. Щоб створити новий виконавець, треба використати конструктор `Worker()`, передавши йому URL файлу з кодом JavaScript, який виконавець повинен виконати:

```
var loader = new Worker("utils/loader.js");
```

Об'єкту `Worker` можна посилати дані за допомогою методу `postMessage()`. Значення, яке передається `postMessage()`, клонується і його копія доставляється виконавцю через подію `message`:

```
loader.postMessage("file.txt");
```

Повідомлення від виконавця можна отримувати, прослуховуючи подію `message` об'єкта `Worker`:

```
worker.onmessage = function(e) {
  var message = e.data;
  // Отримання повідомлення
  console.log("URL contents: " + message);
  // Робота з ним
}
```

Подібно до всіх приймачів подій, об'єкти `Worker` визначають стандартні методи `addEventListener()` та `removeEventListener()`, і їх можна використовувати замість властивостей `onmessage` та `onerror`, якщо потрібно управляти кількома обробниками подій.

Об'єкт `Worker` має ще один метод, метод `terminate()`, який забезпечує завершення виконання потоку виконавця.

Об'єкт `WorkerGlobalScope`. Коли створюється новий виконавець за допомогою конструктора `Worker()`, задається URL файлу з кодом JavaScript. Цей код виконується в новому незайманому оточенні виконання JavaScript, повністю ізольованому від сценарію, який створив виконавця. Глобальним об'єктом для цього нового оточення виконання є об'єкт `WorkerGlobalScope`. `WorkerGlobalScope` - це щось більше ніж глобальний об'єкт базового JavaScript, але менше, ніж повномасштабний об'єкт `Window` клієнтського JavaScript.

Об'єкт `WorkerGlobalScope` має метод `postMessage()` та властивість обробника подій `onmessage`, які такі ж, як і у об'єкта `Worker`, але працюють в протилежному напрямку: виклик `postMessage()` зсередини виконавця генерує подію `message` поза виконавцем, а повідомлення, що посилаються ззовні виконавця, перетворюються в події і доставляються обробнику `onmessage`. Потрібно зауважити, що оскільки `WorkerGlobalScope` є глобальним об'єктом для виконавця, `postMessage()` та `onmessage` для коду виконавця виглядають як глобальна функція і глобальна змінна.

Функція `close()` дає можливість виконавцю завершити самого себе і працює подібно методу `terminate()` об'єкта `Worker`. Однак, слід зауважити,

що немає API для об'єкта `Worker`, який би забезпечував перевірку, чи закрив себе виконавець, і немає властивості обробника подій `onclose`. Якщо викликати `postMessage()` для виконавця, який був закритий, повідомлення буде тихо скинуто і ніякої помилки не буде згенеровано. Загалом, якщо виконавець має намір викликати `close()` для закриття самого себе, хорошою ідеєю може бути попередня посилка якогось «закриваючого» повідомлення.

Приклад використання. Найбільш поширене застосування веб-виконавців - це вирішення задач, які потребують тривалих обчислень без гальмування візуального інтерфейсу користувача.

Прикладом такої задачі може служити відображення на екрані фракталів на основі множини Мандельброта (рис. 3). Фрактал Мандельброта визначається як множина точок на комплексній площині, для яких не йде в безкінечність ітеративна послідовність:

$$Z_0 = 0$$

$$Z_{n+1} = Z_n^2 + C$$

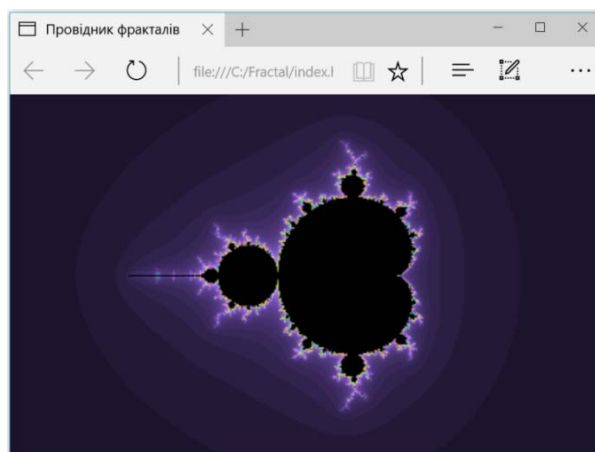


Рис. 3. Представлення в браузері початкового зображення множини Мандельброта

Якщо отримувати наведене на рисунку зображення послідовно за допомогою одного веб-виконавця, то на його відображення знадобиться близько 20 секунд. Оскільки ітерації для отримання зображення ведуться порядково, обчислення можна розподілити між групою паралельно працюючих веб-виконавців, ітеруючих сусідні рядки зображення. В результаті на комп'ютері з багатоядерним процесором час отримання зображення зменшується в кілька разів.

У програмі цього прикладу передбачено автоматичне масштабування зображення в залежності від розмірів вікна браузера. Крім того, після клацання мишею в якійсь точці зображення встановлюються нові межі множини Мандельброта з встановленим коефіцієнтом масштабування, рівним 8, і за допомогою тих же веб-виконавців обчислюється новий фрактал, що підтримує співвідношення сторін поточного розміру вікна. На рис. 4 представлений один з таких фракталів.

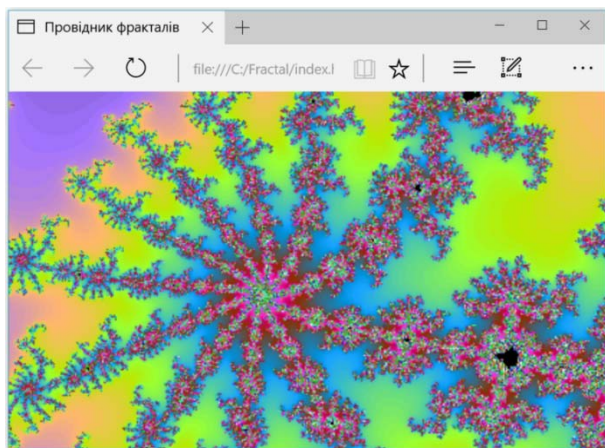


Рис. 4. Зображення одного з фракталів, отриманого масштабуванням однієї з прямокутних ділянок на кордоні множини Мандельброта

Висновок. Представлені засоби паралельних обчислень в веб-браузерах є дуже перспективними і при їх належній реалізації браузерами можуть істотно розширити сферу застосування веб-програмування. При наявності в комп'ютерному пристрої векторного розширювача процесора використання технології синхронних (векторних) обчислень SIMD для JavaScript може в декілька разів пришвидшити обробку великих масивів даних. Додатковий вииграш в швидкості рішення великих задач, особливо їх ділянок, які не піддаються векторному розпаралелюванню, можна отримати на багатоядерних процесорах за рахунок асинхронного розпаралелювання задачі на багато потоків, використовуючи технологію веб-виконавців. В цілому, технології SIMD та веб-виконавців спільно з іншими сучасними засобами веб-розробки, такими як типізовані масиви JavaScript та WebAssembly, API для безпосереднього малювання (canvas) та інші просунуті можливості HTML5, можуть скласти серйозну конкуренцію таким технологіям, як SilverLight (Microsoft) і Adobe Flash, особливо, при програмуванні мобільних додатків, ігор, програмного забезпечення вбудованих комп'ютерів, пристроїв IoT.

Л і т е р а т у р а

1. SIMD [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/JavaScript/Reference/Global_Objects/SIMD.
2. Щербаківа М.Е. Балансирование загрузки конвейера процессора с помощью векторов ветвления / Щербаківа М.Е., Щербаків Е. В., Рязанцев А.И. // Збірник наукових праць ДонНТУ. Серія «Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка», 2009. – С. 123-130
3. Workers [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://dev.w3.org/html5/workers/>.
4. ECMAScript® 2015 Language Specification [Електронний ресурс]. - Режим доступу:

<http://www.ecma-international.org/ecma-262/6.0/index.html#sec-ecmascript-function-objects>.

References

1. SIMD [Electronic resource]. - Access mode: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/JavaScript/Reference/Global_Objects/SIMD.
2. Shcherbakova M.E. Balancing of processor conveyor loading using branch vectors / Shcherbakova M.E., Shcherbakov E. V., Ryazantsev O.I. // Digest of scientific works of DonNTU. Series «Informatics, cybernetics and computer engineering», 2009. – P.123-130
3. Workers [Electronic resource]. - Access mode: <http://dev.w3.org/html5/workers/>.
4. ECMAScript® 2015 Language Specification [Electronic resource]. - Access mode: <http://www.ecma-international.org/ecma-262/6.0/index.html#sec-ecmascript-function-objects>.

Щербаківа М.Е., Щербаків Е.В. Распаралеливание вычислений в современных веб-браузерах

Представлены возможности синхронных и асинхронных вычислений в веб-программировании с использованием языка JavaScript. Показано, что использование технологии синхронных (векторных) вычислений SIMD для JavaScript может в несколько раз ускорить обработку больших массивов данных при наличии в компьютерном устройстве векторного расширителя. Дополнительный выигрыш во времени решения больших задач можно получить на многоядерных процессорах за счет асинхронного распаралеливания задачи на много потоков, используя технологию веб-исполнителей.

Ключевые слова: JavaScript, синхронные вычисления, SIMD API, асинхронные вычисления, веб-исполнители

Shcherbakova M.E., Shcherbakov E.V. Parallelizing computing in modern web browsers

The possibilities of synchronous and asynchronous calculations in web programming using the JavaScript language are presented. It is shown that the use of synchronous (vector) SIMD technology for JavaScript can speed up processing of large data sets in a several times if there is a vector expander in the computer device. Additional time gain in solving of large tasks can be obtained on multi-core processors due to the asynchronous parallelization of the task to many threads using web workers technology.

Keywords: JavaScript, synchronous calculations, SIMD API, asynchronous calculations, web workers

Щербаківа М. Є. – к.т.н., доцент, доцент кафедри комп'ютерної інженерії Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, e-mail: m.shcherbakova432@gmail.com

Щербаків Є.В. – к.т.н., доцент, доцент кафедри комп'ютерної інженерії Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, e-mail: gkvarc@gmail.com

Рецензент: д.т.н., професор **Рязанцев О.І.**

Стаття подана 26.09.2017

УДК 519.2:330.:658.5

МОДЕЛЬ НАКОПИЧЕННЯ ВТОМНИХ ПОШКОДЖЕНЬ ТА ФОРМУВАННЯ ПЕРЕДДЕФЕКТНОГО СТАНУ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ

Марченко Д.М., Жидков А.Б.

MODEL OF ACCUMULATION OF FATIGUE DAMAGE AND FORMATION OF PREDEFECT STATE OF METAL STRUCTURES

Marchenko D.M., Zhydkov A.B.

Викладено принципи побудови моделі накопичення втомних пошкоджень та формування переддефектного стану металоконструкцій, яка будується на моделі структурних перетворень у металі при масовому русі дислокацій внаслідок мікропластичної деформації. Розглянуто відповідність моделі експериментальним даним та можливість її застосування для прогнозування настання переддефектного стану, тобто стану, який передуює руйнуванню конструкції.

Ключові слова: втомне руйнування, модель, гомеостазіс, автоколивання, дислокація, металоконструкція

Вступ. Прогнозування та діагностика переддефектного стану металоконструкцій є важливою технічною задачею, вирішення якої дозволить значно просунутися в уявленні про кінетику втомного руйнування та отримати значний економічний ефект від своєчасного виведення об'єктів, які містять металоконструкції з експлуатації.

Дослідженню втомного руйнування присвячено чисельні роботи вітчизняних та закордонних науковців [1-4], але узагальненої та закінченої теорії процесу на даний час не існує.

Метою роботи є побудова моделі тонких структурних перетворень в напруженому металі при втомному руйнуванні з виділенням часового проміжку, який передуює утворенню небезпечного дефекту.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розглядаючи феноменологічну модель яку засновано на схемі гомеостазиса, при переході від феноменологічної моделі до фізичних уявлень, схема гомеостазиса трансформується для опису процесу накопичення втомних пошкоджень у металоконструкції в модель «хижак - жертва» яка є моделлю періодичних структурних перетворень в рамках дислокаційно-дифузійної кінетики, що відображає колективні ефекти при структурних перетвореннях у напруженому матеріалі.

Згідно принципу гомеостазиса, диссипативні системи є парними утвореннями: якщо формується система $X(t)$, то разом з нею формується і її сателіт - система $Y(X(t))$ [5].

Для $Y(X(t))$ система $X(t)$ постачає енергію і визначає просторові межі розвитку і час існування. Динаміка системи, як бінарної структури, здійснюється, з одного боку, за рахунок надходження речовини і енергії з середовища, а, з іншого, - внаслідок обміну ними між складовими її підсистемами.

Складові підсистеми X і Y знаходяться у функціональній залежності від вихідних характеристик. Система Y завжди прагне по своїй величині до X , і, по суті, її величина виступає як зворотній негативний зв'язок, що уповільнює і стабілізує зростання речовини, енергії і інформації (PEI) в системі $X \leftrightarrow Y$.

У диференціальній формі дана закономірність записується в наступному вигляді [5]:

$$\frac{dM}{dt} = Q(M, V, t) - q(M, t), \quad (1)$$

де M - вихідні характеристики системи; Q - витрата PEI, що йде на формування сателіта Y ; V - місткість середовища; q - витрата PEI у потоку, створюваному системою Y ; t - час.

Доданок $Q(M, V, t)$ характеризує процес накопичення PEI в системі X , асимптотично затухаючого у міру заповнення місткості V . Доданок $q(M, t)$ характеризує процес накопичення PEI сателітом Y , який теж відбувається з уповільненням у міру заповнення місткості, але створюваної системою X . Таким чином, сателіт Y інгібує розвиток системи X , і виступає як зворотний негативний зв'язок. А взаємодія

складових елементів (підсистем) $X(t)$, $Y(t)$ направлена до встановлення балансу витрат РЕІ, що відповідає на фазовій площині аттрактору. Всі фазові траєкторії, розташовані на аттракторі, характеризують об'єктивну спрямованість до дисипації РЕІ, відповідно до другого началу термодинаміки. Завдяки цьому, система переходить в режим сталого автоколивання [5], що не виходить по амплітуді за межі, обумовлені процесами, які відбуваються в системі. Моделюватимемо процес співвідношення процесів в бінарній системі, одна складова якої відповідає «хижаку» – підсистемі з об'ємом, який заповнюється, за рахунок вичерпання іншої її складової – «жертви».

Співвіднесемо цей алгоритм з гомеостазисом. Феноменологічна модель взаємодії відповідних потоків в системі є системою трьох диференціальних рівнянь з сімома параметрами [5]:

$$\begin{aligned}\frac{du}{dt} &= \mu u - \nu u^2 - \beta uv, \\ \frac{dv}{dt} &= h\nu w - \alpha v, \\ \frac{dw}{dt} &= \delta \beta uv - \gamma w.\end{aligned}\quad (2)$$

У якості змінних узяті щільності конкуруючих потоків накачування і розсіювання РЕІ (u, v, w); t - час.

Перехід до безрозмірних змінних $x = \nu \mu^{-1} u, y = \beta \mu^{-1} v, z = w, \tau = \mu t$ $x = \nu \mu^{-1} u, y = \beta \mu^{-1} v, z = w, \tau = \mu t$ приводить до системи

$$\begin{aligned}\frac{dx}{d\tau} &= x(1 - x - y) \equiv P(x, y, z), \\ \frac{dy}{d\tau} &= \alpha y(z - 1) \equiv Q(x, y, z), \\ \frac{dz}{d\tau} &= b(xy - cz) \equiv R(x, y, z)\end{aligned}\quad (3)$$

з трьома позитивними параметрами $a = \alpha \mu^{-1}, b = h \delta \mu (\alpha \nu)^{-1}, c = \alpha \gamma \nu (\delta h)^{-1} \mu^{-2}$.

З фізичного значення змінних виходить, що всі вони позитивні, отже, фазовий простір даної системи – перший октант простору (x, y, z) .

Система (3) має наступні стани рівноваги:

- 1) $O(0,0,0)$ - сідло із стійкою сепаратрисною поверхнею, яка співпадає з площиною $x = 0$.
- 2) $A(1,0,0)$ - стійкий вузол.

Координати решти станів рівноваги визначаються із системи рівнянь:

$$\begin{aligned}1 - x - y &= 0, \\ z - 1 &= 0, \\ xy - cz &= 0.\end{aligned}\quad (4)$$

Для встановлення числа і характеру цих станів рівноваги побудуємо на площині (x, c) чотири основні криві: криву станів рівноваги і криві $r = 0, q = 0, pq - r = 0$.

З перших двох рівнянь (4) виходить, що $y = 1 - x, z = 1$. Підставивши ці вирази в третє з рівнянь (4), одержимо рівняння кривої станів рівноваги:

$$c = x - x^2. \quad (5)$$

Ця крива – парабола з вершиною у точці $(1/2; 1/4)$, перетинаюча вісь x при $x = 0$ і $x = 1$ (рис. 1). Розглядаючи перетин прямої $c = \text{const}$ з кривою (5), приходимо до висновку, що при $c < 1/4$ є два стани рівноваги. При $c = 1/4$ ці стани рівноваги зливаються, а при $c > 1/4$ зникають.

Для цих двох станів рівноваги параметри p, q і r визначаються виразом $p = x + bc, q = bc(x - a), r = abc(1 - 2x)$. Рівняння кривої $pq - r = 0$ має вигляд

$$c = \frac{a - ax - x^2}{b(x - a)} \quad (6)$$

Ця крива має вертикальну асимптоту $x = a$, і її графік може мати різний якісний характер, залежно від значення параметра a .

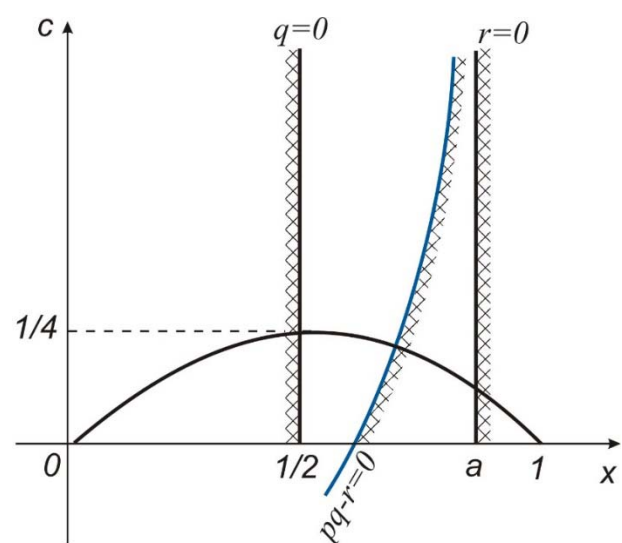


Рис. 1. Крива станів рівноваги (випадок 1)

При $a < 1/2$ $c(x)$ - убуваюча функція; гілка кривої (6), перетинаючи вісь x при $x > 0$, має в цьому випадку точку перетину з параболою (5) $\alpha < x < 1/2$, тобто зліва від її вершини.

При $a > 1/2$ крива (6) має мінімум при $x < a$ і максимум при $x > a$, причому обидва ці екстремуми розташовані в області $c < 0$; в цьому випадку вона перетинає вісь при $1/2 < x < a$, і, отже, перетин кривих (5) і (6) відбувається праворуч від вершини параболі (5).

На рис. 1 зображено взаємне розташування на площині x, c кривої станів рівноваги і кривої $r = 0, q = 0$ і $pq - r = 0$ для $a < 1 < 2$ (випадок 1). Штрихування на кривих $r = 0, q = 0, pq - r = 0$ показує, по яку сторону від цих кривих розташовані області, де відповідно $r > 0, q > 0, pq - r > 0$.

Позначимо через x_0 абсцису точки перетину кривої станів рівноваги з кривою $pq - r = 0$. При $0 < x < a$ $r > 0, q < 0$; при $a < x < x_0$ $r > 0, q > 0, pq - r < 0$. Отже, при $0 < x < x_0$ М - сідло або сідло-фокус з нестійкою сепаратрисною поверхнею.

При $x_0 < x < 1/2$ $r > 0, q > 0, pq - r > 0$. В цьому випадку М - стійкий вузол або фокус.

При $1/2 < x < 1$ $r < 0, q > 0, pq - r > 0$. Тоді, N - сідло або сідло-фокус із стійкою сепаратрисною поверхнею.

При $x = 1/2$, тобто у вершині параболі (5), відбувається злиття М і N. При цьому $r = 0$, і один з коренів характеристичного рівняння $\lambda_1 = 0$. Два інші кореня визначаються з рівняння

$$\lambda^2 + (1/2 + bc)\lambda + bc(1/2 - a) = 0. \quad (7)$$

Дискримінант цього рівняння $D = (1/2 - bc)^2 + 4abc > 0$, значить корені дійсні. Оскільки $1/2 + bc > 0$ і, то обидва кореня негативні. Беручи до уваги той факт, що досліджуваний складний стан рівноваги парно-кратний, оскільки розпадається на два простих: М і N, визначаємо, що він є сідло-вузлом із стійкою вузловою областю [5].

Поблизу вершини параболі (5), тобто при С, трохи менше $1/4$, М буде стійким вузлом, а N - сідлом. При подальшому зменшенні С вузол М десь на кривій станів рівноваги до її перетину з кривою $pq - r = 0$ повинен перетворитися на фокус, оскільки в точці, де $pq - r = 0$, цей стан рівноваги є складним фокусом або центром.

Для з'ясування його характеру була обчислена перша ляпуновська величина, яка виявилася негативною. Це означає, що під час переходу через межу $pq - r = 0$ стійкий фокус стає складним стійким фокусом, з якого народжується єдиний стійкий граничний цикл; складний фокус при цьому

перетворюється на сідло-фокус з нестійкою сепаратрисною поверхнею [6].

Таким чином, система (3) в певній області значень параметрів описує періодичні зміни параметрів x, y, z .

На рис. 2 зображено взаємне розташування на площині x, c чотирьох основних кривих: кривої станів рівноваги, $r = 0, q = 0, pq - r = 0$ для $1/2 < a < 1$ (випадок 2).

При $0 < x < 1/2$ $r > 0, q < 0$, тоді М - сідло або сідло-фокус з нестійкою сепаратрисною поверхнею.

При $1/2 < x < 1$ $r < 0, q > 0$, тоді N - сідло або сідло-фокус із стійкою сепаратрисною поверхнею (оскільки при $1/2 < x < a$ $r < 0, q < 0$, а при $a < x < 1$ $r < 0, q > 0, pq - r > 0$).

У вершині параболі (5) М і N зливаються, утворюючи складний стан рівноваги, для якого один з коренів характеристичного рівняння $\lambda_1 = 0$, а два інших визначаються з рівняння (7). Оскільки в даному випадку $bc(1/2 - a) < 0$, то корені λ_2 і λ_3 дійсні і різних знаків.

Оскільки даний складний стан рівноваги парно-кратний, то, як впливає з [6], він є станом рівноваги типу С (сідло-сідло).

При $a > 1$ (випадок 3) розташування основних кривих відрізняється від показаного на рис. 3.2 тільки тим, що точка перетину кривої станів рівноваги і кривої $pq - r = 0$ лежить нижче осі абсцис. При цьому М і N мають той же якісний характер, що і у випадку 2. Тому випадки 2 і 3 аналогічні.

Покажемо, що дана система (3) не має в I октанті замкнутих інтегральних поверхонь.

Достатньою умовою того, що в деякій області система (3) не має замкнутих інтегральних поверхонь, є існування функції, що безперервно диференціюється, для якої вираз $\sigma = (PF)'_x + (QF)'_y + (RF)'_z$ зберігає знак в цій області [5, 6].

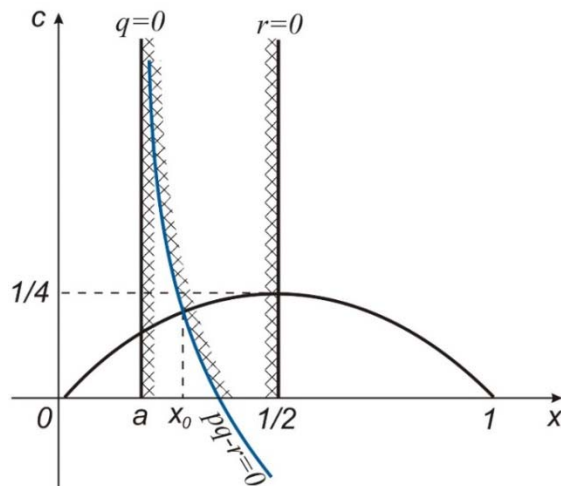


Рис. 2. Крива станів рівноваги (випадок 2)

Візьмемо для системи (3) $F(x, y, z) = 1/(xyz)$. Тоді $\sigma = -1/(yz) - b/z^2 < 0$. Беручи до уваги той факт, що $x=0$ і $y=0$ - інтегральні площини, а $z=0$ - площина без контакту з траєкторіями, можна заключити, що система (3.3) не має в I октанті замкнутих інтегральних поверхонь.

У припущенні, що, окрім стійких станів рівноваги і стійкого граничного циклу, система (3) не має інших граничних множин, можливі наступні сценарії еволюції бінарної системи залежно від співвідношення параметрів і початкових умов: 1) повна адаптація системи до зовнішніх збурень; 2) періодичний характер розвитку; 3) колапс системи.

Хай початкові умови потрапляють в область тяжіння стійкого вузла N. Тоді можливі два результати: якщо початкові значення x, y, z невеликі, то це означає, що невеликі початкові пошкодження структури успішно ліквідуються системою; якщо початкові значення x, y, z великі, то сприятливий сценарій в цьому випадку можна розглядати тільки теоретично, оскільки система повинна зруйнуватися.

Якщо початкові умови потрапляють в область тяжіння стійкого вузла або фокусу M, або в область тяжіння граничного циклу, то це означає автоколивальний характер процесів – «співіснування» конкуруючих потоків [6].

Переходячи від феноменологічної моделі до фізичних уявлень, відповідні потоки РЕІ представимо співвідношенням інтенсивностей взаємного впливу дислокацій і вакансій [7] і інтенсивністю процесів розмноження і анігіляції дефектів.

Тоді п. 2 стану системи може бути представлено ефектом періодичної зміни фізико-механічних властивостей при еволюції структури системи [8].

При теоретичному дослідженні вказаних особливостей представляються можливими два підходи. Перший ґрунтується на розгляді мікромеханізмів дислокаційно-вакансійної взаємодії, включаючи процеси генерації і розмноження вакансій і дислокацій, їх анігіляції і поглинання стоками, які визначаються особливостями мікроструктури, умовами деформації і т.д. Не дивлячись на наочність і передбачуваність такого підходу, він ґрунтується на конкретних механізмах, а це може привести до недооцінки найістотніших з них і зайвої деталізації неістотних. В результаті ускладнюється математична схема і можуть виникнути непереборні формальні труднощі. В рамках другого підходу, що має феноменологічний характер, використовується певний алгоритм, що дозволяє знайти структуру рівнянь руху для основних величин, що характеризують поведінку системи. Очевидні недоліки такого підходу витікають з недооцінки мікромеханізмів явища і полягають в труднощі відбору фізичних параметрів, що впливають на поведінку системи (параметрів мікроструктури матеріалу, умов деформації і т. д.).

Найпривабливішим представляється комплексний метод, коли основні рівняння виводяться феноменологічно, а потім кожен їх доданків представляється в рамках мікроскопічних уявлень. В результаті коефіцієнти феноменологічних рівнянь виражаються через параметри структури.

Феноменологічна модель еволюції системи, як динамічного нелінійного середовища в процесі його деградації, в наближенні схеми гомеостазиса (2) [5, 9], включає ансамблі взаємодіючих дислокацій і мікротріщин [7], кінетика яких описується системою зв'язаних диференціальних рівнянь, впливаючих з (2):

$$\frac{d\rho}{dt} = A\rho - B\rho^2 - C\rho m, \quad (8)$$

$$\frac{dm}{dt} = C_1\rho m - Dm, \quad (9)$$

де ρ — густина дислокацій, m — сумарна площа поверхні мікротріщин в одиниці об'єму, t — час, A, B, C, C_1, D — постійні коефіцієнти. У правій частині (8) перший член характеризує розмноження дислокацій під впливом механічного навантаження, другий описує анігіляцію дислокацій, а третій — поглинання дислокацій мікротріщинами і зменшення густини дислокацій, новими поверхнями (мікропорожнини, що виникають при втомному руйнуванні, так званий ефект «розпушення» металу), які утворюються за рахунок об'єднання дислокацій. У правій частині (3.9) перший член характеризує зростання мікротріщин за рахунок поглинання дислокацій, а другий — зменшення густини мікротріщин, пов'язане з їх виходом на поверхню мікропорожнин, або поверхню об'єкту.

У фізично цікавому діапазоні коефіцієнтів A, B, C, C_1, D система (8), (9) має рішення у вигляді затухаючих коливань $\rho(t)$ і $m(t)$ з періодом при великих t , рівним

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{DA - BD^2/C_1 - (BD/2C_1)^2}}. \quad (10)$$

Швидкість зростання мікротріщин $\frac{dN}{dt}$

пов'язана з величиною m наступним наближенням співвідношенням:

$$\frac{dN}{dt} = \frac{\alpha k S D m}{d^2 m_{lok}}, \quad (11)$$

де α — частка утворених мікропорожнин до всіх, які утворилися за період реєстрації, k — відношення площі перетину, в якій відбувається пластична деформація до загальної площі перетину ($k < 1$), S — площа перетину, d — розмір області локалізації втомних пошкоджень, m_{lok} — густина внутрішньої вільної

поверхні, при якій відбувається руйнування. Звідси коливання $m(t)$ визначають відповідні коливання характеристики $\frac{dN}{dt}$ процесу руйнування.

Як феноменологічна модель взаємодії відповідних потоків дефектів в рамках схеми гомеостазиса приймемо бруселятор, або систему «хижак – жертва» [5,8].

$$\begin{aligned} \frac{d\rho}{d\varepsilon} &= \frac{\rho}{\varepsilon_0} \left(1 - \frac{\rho}{\rho_0} - \frac{n}{n_0} \right), \\ \frac{dn}{d\varepsilon} &= -\frac{n}{\varepsilon_0} \left(1 - \frac{\rho}{\rho_0} \right). \end{aligned} \quad (12)$$

Тут ρ - густина дислокацій, що представляє «хижака»; n - густина вакансій, що відповідає «жертві»; ρ_0, ε_0 - позитивні постійні. Перший доданок в правій частині першого рівняння описує розмноження дислокацій в полі деформації, друге – їх анігіляцію, третє – їх анігіляцію при взаємодії з вакансіями. У другому рівнянні перший доданок відповідає процесу регресії густини джерел вакансій, друге описує зворотний процес за рахунок взаємодії з дислокаціями.

Якісний аналіз нелінійних рівнянь показує, що взаємодія складових направлена до встановлення автоколивань [7].

Оскільки кожний з витків відповідає провалу на залежності $H_V(\varepsilon)$, то з рис. 3 виходить, що насправді спіраль повинна містити невелику кількість таких витків. Із зростанням деформації ε система еволюціонує по одному з них, наприклад витку $ABCDE$. При цьому густина дислокацій спочатку зменшується від ρ_A до ρ_C (на кривій залежності $H_V(\varepsilon)$ це відповідає спадаючій гілці провалу мікротвердості) а потім відбувається зворотне зростання $\rho(\varepsilon)$ по траєкторії CDE (відповідно потрапляємо на висхідну ділянку залежності $H_V(\varepsilon)$). В ході такої еволюції густина вакансій n росте на ділянці AB ; подальше зменшення густини дислокацій $\rho(\varepsilon)$ і об'єднання цих областей приводить до спаду величини n на ділянці BCD ; остаточне збільшення густини n на ділянці DE пов'язане із зростанням густини дислокацій ρ . Звуження спіралі з наближенням до точки F приводить до зменшення амплітуди коливань густини дислокацій ρ і, як наслідок, до спаду глибини провалів мікротвердості $H_V(\varepsilon)$.

Отримані результати добре корелюють експериментальними результатами по дослідженню мікротвердості у зоні втомного руйнування (рис. 4).

Подібний вигляд має також система осередків пластичної деформації які рухаються під час накопичення втомних пошкоджень у моно- та полікристалах.

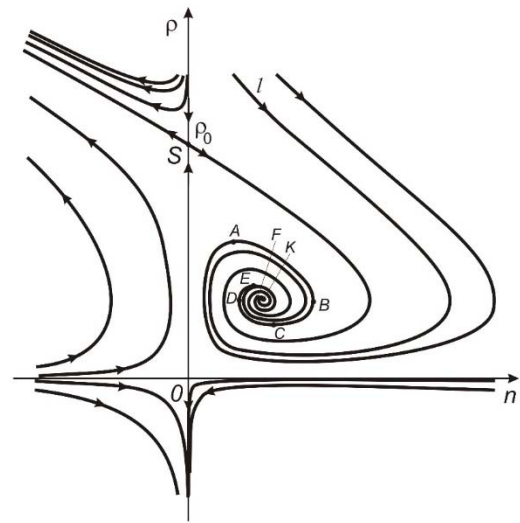


Рис. 3. Періодична зміна параметрів системи (12) [7]

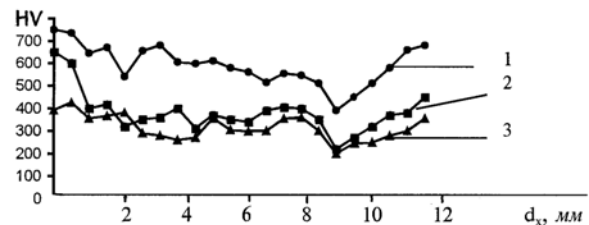


Рис. 4. Розподіл мікротвердості в діаметральному перетині зразка після втомного руйнування: 1- у поверхневому шарі зламу; 2 – на відстані 0,3 мм від зламу; на відстані 0,5 мм від зламу [10]

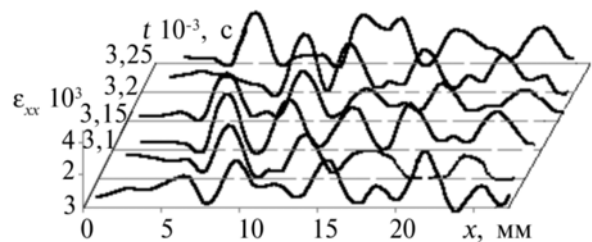


Рис. 5. Еквідистантна система осередків локалізованої деформації, що рухаються на стадії лінійного зміцнення монокристалу Cu [11]

Порівняння рельєфу пачок смуг текучості, які виникають при утворенні «шийки» зразку, що розтягують з розрахунковими результатами, які отримано за допомогою запропонованої моделі (рис. 6) свідчить про задовільну кількісну відповідність моделі з експериментальними даними і, таким чином, можна припустити, що як найважливіша складова задачі вироблення адекватних динамічних образів ключових явищ, що відбуваються в системі в процесі її деградації, є дослідження універсальних механізмів коливально-хвильових процесів, відповідальних за встановлення в системі коливань, що самопідтримуються [6].

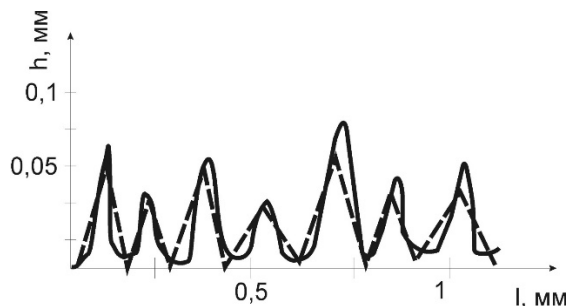


Рис. 6. Мікрорельєф пачок смуг текучості та розрахункова їх висота

Висновки. Ця схема може бути коректно реалізована в рамках прийнятої схеми формалізації, якщо виходити з перших принципів, сформульованих польовими теоріями і запропонований підхід може бути застосований для моделювання утворення переддефектного стану металокопункції

Л і т е р а т у р а

1. Хоникомб Р. Пластическая деформация металлов [Текст] / Р. Хоникомб. - М.: Мир, 1972. - 408 с.
2. Романив О. Н. Усталость и циклическая трещиностойкость конструкционных материалов [Текст] / [О. Н. Романив, С. Я. Ярема, Г. Н. Никифорчин, Н. А. Махутов та ін.]. - К.: Наукова думка, 1990- 680 с.
3. Механика разрушения и прочность материалов: Справ. пос. в 4-х т. / Под общ. ред. В. В. Панасюка. - Т. 4: Усталость и циклическая трещиностойкость конструкционных материалов / О. Н. Романив, С. Я. Ярема, Г. Н. Никифорчин и др. - К.: Наук. думка, 1990. - 680 с.
4. Pokluda J. and Sandera P. Micromechanisms of Fracture and Fatigue: In a Multi-Scale Context. - Springer, 2010. - 295 p.
5. Понтрягин Л.С. Математическая теория оптимальных процессов / Понтрягин Л.С. и др. - М.: Физматгиз, 1961. - 218 с.
6. Олемской А.И. Синергетика пластической деформации / Олемской А.И., Хоменко А.В. // УФМ, 2001. - Т.2. - №3. - С. 189-264.
7. Мозгалецкий А.В. Техническая диагностика / Мозгалецкий А.В., Гаскаров Д.В. - М.: Высшая школа, 1975. - 201 с.
8. Хакен Г. Информация и самоорганизация. Макроскопический подход к сложным системам / Хакен Г. - М.: Мир, 1991. - 240 с.
9. Чукбар К. В. Стохастический перенос и дробные производные / К. В. Чукбар. - ЖЭТФ 108, 1875, 1995.
10. Галечан. Оценка процесса усталостного разрушения методом измерения микротвердости // Известия НАН РА и ГИУА. сер. ТН. 2000. Т. LIII, 3. МАШИНОСТРОЕНИЕ, -2000, с. 281-286
11. Зуев Л. Б. Пространственно-временное упорядочение при пластическом течении твердых тел / Л. Б. Зуев, В. И. Данилов, Б. С. Семухин // Успехи физ. мет. 2002, т. 3, с. 237-304

References

1. Honikomb R. Plastic deformation of metals [Text] / R. Honikombe. - Moscow: Mir, 1972. - 408 p.
2. Romanin O. Fatigue and cyclic trash-resistance of structural materials [Text] / [O. N. Romanin, S. Ya. Yarema, GN Nikiforchin, N. A. Makhutov t.]. - K.: Naukova dumka, 1990- 680 p.
3. Mechanics of destruction and strength of materials: Ref. pos. in 4 tons / Under the general. Ed. V. V. Panasyuk. - T. 4: Fatigue and cyclic crack resistance of structural materials / O. N. Romanin, S. Ya. Yarema, GN Nikiforchin, et al. - K.: Nauk. dumka, 1990. - 680 p.
4. Pokluda J. and Sandera P. Micromechanisms of Fracture and Fatigue: In a Multi-Scale Context. - Springer, 2010. - 295 p.
5. Pontryagin LS Mathematical theory of optimal processes / Pontryagin LS and others. - Moscow: Fizmatgiz, 1961. - 218 p.
6. Olemskoy A.I. Synergetics of plastic deformation / Olemskoy AI, Khomenko AV // UFM, 2001. - T.2. - No. 3. - P. 189-264.
7. Mozgalevsky A.V. Technical diagnostics / Moz-galievsky AV, Gaskarov DV - Moscow: Higher School, 1975. - 201 p.
8. Hacken G. Information and self-organization. Macro-copy approach to complex systems / Haken G. - M.: Mir, 1991. - 240 p.
9. Chukbar K. V. Stochastic transfer and fractional derivatives / K. V. Chukbar. - JETP 108, 1875, 1995.
10. Galechan. Evaluation of the process of fatigue destruction by the method of measuring the microhardness // Izvestiya NAS RA and SEUA. Ser. TN. 2000. T. LIII, No. 3. MACHINE-BUILDING, -2000, p. 281-286
11. Zuev, LB, Spatial-temporal ordering in the plastic flow of solids / LB Zuev, VI Danilov, BS Semukhin // Uspekhi Fiz. meth. 2002, v. 3, p. 237-304

Марченко Д.Н., Жидков А.Б. Модель накопления усталостных повреждений и формирования преддефектного состояния металлокопункций

Изложены принципы построения модели накопления усталостных повреждений и формирования преддефектного состояния металлокопункций, которая основана на модели структурных превращений в металле при массовом движении дислокаций в результате микропластической деформации. Рассмотрено соответствие модели экспериментальным данным и возможность ее применения для прогнозирования наступления преддефектного состояния, то есть состояния, которое предшествует разрушению конструкции.

Ключевые слова: усталостное разрушение, модель, гомеостазис, автоколебания, дислокация, металлокопункция

Marchenko D.M., Zhydkov A.B. Model of accumulation of fatigue damage and formation of predefect state of metal structures

The principles of constructing a model of accumulation of fatigue damage and the formation of predefect state of metal structures, which are based on the model of structural transformations in a metal with massive motion of dislocations due to microplastic deformation, are described. The compliance of the model with the experimental data and the possibility of its application for predicting the state of the defect state, i.e., a state that prevents the destruction of the structure, is disrupted.

Key words: fatigue fracture, model, homeostasis, auto-oscillation, dislocation, metal construction

Марченко Дмитро Миколайович, д.т.н., проф. перший проректор СХУ ім. В.Даля, mdnsnumdn@gmail.com

Жидков Андрій Борисович, к.т.н., доц., доцент кафедри електричної інженерії СХУ ім. В.Даля zhand.cmw@ukr.net

Рецензент: д.т.н., проф. **Рязанцев О.І.**

Стаття подана 11.09.2017

УДК 656.13.08

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ ГУЧНОМОВНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ ПІШОХОДІВ ЗІ СЛАБКИМ ЗОРОМ

Трушевський В.Е.

CALCULATION OF LOUDSPEAKER FOR BLIND PEDESTRIANS PARAMETERS

Trushevski V.

Розглядається спосіб визначення параметрів режиму роботи гучномовного сигнального пристрою для пішоходів зі слабким зором на регульованих пішохідних переходах. Визначено порядок розрахунку коефіцієнту корекції основного такту фази регулювання, що містить пішохідний напрям із гучномовним пристроєм для пішоходів із вадами зору.

Ключові слова: фаза, такт, напрям, проміжок, інтервал, метроном, проїзна частина, цикл, швидкість, пішохід, регулювання, безпека.

Постановка проблеми. За даними Управління безпеки дорожнього руху МВС України [1] протягом 2016-го року в Україні сталося 8605 дорожньо-транспортних пригод (ДТП) за участю пішоходів (33% від загальної кількості ДТП з постраждалими), у яких 1163 особи загинули та 8108 - травмовано. З вини пішоходів сталося 1289 ДТП, що ставить 15% від усіх пригод за участю пішоходів.

У статті [2] зазначається, що, відповідно до встановленої правилами дорожнього руху [3] та державним стандартом [4] структури світлофорного режиму для пішохідних напрямів регулювання, тривалості такту червоного сигналу, що відводиться на залишення пішоходами проїзної частини, недостатньо для забезпечення безпеки руху навіть для пішоходів, що пересуваються з нормативною швидкістю 1,3 м/с. Такого висновку доходять і у статті [5], визначаючи графічно межі безпечного інтервалу залежно від ширини проїзної частини. При цьому слід зауважити, що наведений у [5] розрахунок засновано на припущенні про початок залишення пішоходами проїзної частини на зелений миготливий, а не на червоний сигнал пішохідного світлофора.

У стандарті [4] йдеться: на пішохідних переходах, якими регулярно користуються сліпі,

окрім світлофорної сигналізації можна застосовувати звукову сигналізацію, що працює в узгодженому режимі з пішохідними світлофорами.

У статті [6] стверджується, що ускладнення структури світлофорних циклів та необхідність координації режимів регулювання сусідніх перехресть призводить до зниження рівня безпеки руху пішоходів зі слабким зором у випадках, коли не застосовуються додаткові заходи або технічні засоби організації дорожнього руху.

Мета роботи Пропонується розробити такий підхід до визначення режиму роботи гучномовного сигнального пристрою, аби його сигнали гарантували максимальний ступінь інформаційного забезпечення пішоходів зі слабким зором та узгодження з режимом роботи пішохідного світлофора.

Основна частина. При визначенні режиму роботи гучномовного пристрою за основу беруться значення тривалостей часових інтервалів пішохідного напрямку регулювання, разом із світлофором якого буде функціонувати гучномовний пристрій, що розглядається.

Мінімальний часовий проміжок $t_{[i,j]}$ – це елемент матриці конфліктів T , що дорівнює мінімальному часу, який проходить від ввімкнення зеленого миготливого сигналу за напрямом i до початку дозволяючого сигналу за конфліктним напрямом j [5].

Визначення тривалості мінімального проміжку для пішоходів базується на вимогах Правил дорожнього руху України [3], де у п. 4.9 йдеться: «У місцях, де рух регулюється, пішоходи повинні керуватися сигналами регулювальника або світлофора. У таких місцях пішоходи, які не встигли закінчити перехід проїзної частини дороги одного напрямку, повинні перебувати на острові безпеки або лінії, що розділяє транспортні потоки

протилежних напрямків, а у разі їх відсутності - на середині проїзної частини і можуть продовжити перехід лише тоді, коли це буде дозволено відповідним сигналом світлофора чи регулювальника та переконаються в безпеці подальшого руху».

Отже, мінімальний часовий проміжок для пішохідного напрямку визначається за формулою:

$$t_{\min} = \frac{b}{V_n}, \quad (1)$$

де b - максимальна відстань, яку слід пройти пішоходам по проїзній частині, аби досягти тротуару, острівця безпеки чи лінії, що розділяє транспортні потоки протилежних, м;

V_n - швидкість руху пішохода, м/с (1,3 м/с [4]).

Отримане значення округлюється в більший бік до цілого числа. Відповідно ДСТУ 4092-2002 [4], воно повинно бути в діапазоні від 6 до 8с. У випадку, якщо розраховане значення виходить з діапазону в більший бік, рекомендується застосування пішохідного табло зворотного відліку часу.

Мінімальний часовий проміжок для пішохідного напрямку з урахуванням руху пішоходів зі слабким зором визначається на основі зменшеної швидкості руху пішохода:

$$t'_{\min} = \frac{b}{V'_n}, \quad (2)$$

де V'_n - швидкість руху пішохода зі слабким зором, м/с.

Оскільки швидкість руху пішоходів з вадами зору нижча, ніж в інших пішоходів, то як мінімальний часовий проміжок для таких пішоходів, так і мінімальна тривалість часу, що відводиться на перехід проїзної частини, будуть більшими. Оскільки межі інтервалу часу, що відводиться на перехід для пішоходів з вадами зору, визначаються параметрами циклу світлофорного об'єкта, то з метою узгодження моментів початку і завершення руху пішоходів зі слабким зором через проїзну частину слід провести корекцію основних тактів регулювання.

Корекція проводиться не лише з метою приведення тривалостей дозволяючих світлофорного та гучномовного сигналів у відповідність, але й для пропорційного збільшення інших основних тактів регулювання, аби не порушити пропорційність тривалостей ефективного часу та ступенів насичення рухом перерізів стоп-ліній напрямів регулювання.

За методикою, викладеною у статті [5], корекція основних тактів на пішохідний мінімум проводиться шляхом визначення коефіцієнтів корекції для кожного пішохідного напрямку у кожній фазі регулювання:

$$k = \frac{\frac{B}{V_n} + 5 - t_{\min}}{t_{om}}, \quad (3)$$

де B - ширина проїзної частини, м;

t_{om} - розрахункове значення тривалості основного такту регулювання даної фази, визначене за методикою [7,8], с.

Необхідно визначити спосіб розрахунку коефіцієнту корекції основного такту регулювання для фази, до якої включено пішохідний напрям, разом з яким застосовується гучномовний пристрій для пішоходів зі слабким зором.

Оскільки, відповідно [4], режими роботи гучномовного пристрою та пішохідного світлофору повинні бути узгоджені, а початок першої фонограми збігається з початком дозволяючого сигналу для пішоходів, а, значить, і основного такту регулювання, то можна стверджувати, що скоригована тривалість фази, до якої включено пішохідний напрям регулювання $\ddot{t}_{niu}$ повинна дорівнювати часу, що необхідний для перетину проїзної частини пішоходами зі слабким зором t'_{niu} .

$$\ddot{t}_{niu} = t'_{niu}. \quad (4)$$

Оскільки фаза складається з основного такту та перехідного інтервалу, то

$$\ddot{t}_{niu} = \ddot{t}_{om} + t_{\min}, \quad (5)$$

де $\ddot{t}_{om}$ - скоригована тривалість основного такту фази регулювання, до якої включено пішохідний напрям з гучномовним пристроєм, с.

Гучномовний пристрій підключається до електричних клем пішохідного світлофора та працює за певним алгоритмом.

З моменту ввімкнення зеленого сигналу пішохідного світлофора послідовно запускаються фонограми «Перехід через вулицю (проспект, бульвар) ... дозволено»; метроном, що поволі прискорюється; «Перехід через вулицю (проспект, бульвар) ... завершується». Їх тривалості відповідно складають t'_{no} , t'_m , t'_{nz} .

Після цього оголошення вмикається метроном в постійному прискореному темпі з подвійним ударом.

Під час миготіння зеленого пішохідного сигналу за циклограмою гучномовець видає переривчасті однотонні сигнали, останній з яких є довгим.

В момент ввімкнення червоного пішохідного сигналу лунає оголошення «Заборонено перехід через вулицю (проспект, бульвар) ...».

Час, необхідний для перетину проїзної частини пішоходами зі слабким зором визначається за формулою:

$$t'_{niu} = \frac{B}{V'_n} + t'_{\min} + t'_{nd}, \quad (6)$$

де t'_{nd} – тривалість оголошення гучномовного пристрою «Перехід через вулицю ... дозволено», с.

Підставивши (5) та (6) до (4), отримуємо:

$$\ddot{t}_{om} + t_{\min} = \frac{B}{V'_n} + t'_{\min} + t'_{nd}. \quad (7)$$

Розв'язуємо це рівняння відносно $\ddot{t}_{om}$:

$$\ddot{t}_{om} = \frac{B}{V'_n} + t'_{\min} + t'_{nd} - t_{\min}. \quad (8)$$

Аналогічно до (3), коефіцієнт корекції визначається, як $k' = \frac{\ddot{t}_{om}}{t_{om}}$, з чого можна вивести остаточну формулу для корекції основних тактів фаз, до яких включено пішохідні напрямки з гучномовними пристроями:

$$k' = \frac{\frac{B}{V'_n} + t'_{\min} + t'_{nd} - t_{\min}}{t_{om}}. \quad (9)$$

Мінімальна тривалість дозволяючого звукового сигналу для пішоходів зі слабким зором визначається за формулою:

$$t'_m = t'_{niu} - t'_{\min} - t'_{nd} - t'_{nz}, \quad (10)$$

де t'_{nz} – тривалість оголошення гучномовного пристрою «Перехід через вулицю ... завершується», с.

Режим роботи гучномовного пристрою зручно зображувати на циклограмі світлофорного

регулювання, як окремий напрям. При цьому використовуються спеціальні умовні позначення для всіх фонограм (табл.). Приклад циклограм зі суміщеними режимами напрямів світлофорного регулювання та інтервалами фонограм гучномовного пристрою наведено на рис. Умовні позначення світлофорних сигналів виконано за державним стандартом [9].

Таблиця

Умовне позначення фонограм гучномовного пристрою на циклограмі світлофорного регулювання

Фонограма	Умовне позначення на циклограмі
Перехід через вулицю ... дозволено	
Перехід через вулицю ... завершується	
Заборонено перехід через вулицю ...	
Метроном	
Подвійний метроном	
Переривчастий сигнал	
Тиша	

Висновки та пропозиції. Для узгодження режиму роботи гучномовного пристрою для пішоходів зі слабким зором із режимом світлофорного об'єкту необхідно визначати коефіцієнти корекції основних тактів фаз регулювання, до яких включені пішохідні напрямки, паралельно з якими планується функціонування гучномовних пристроїв. Проведення корекції забезпечує безпеку дорожнього руху, в першу чергу, для пішоходів з вадами зору та зберігає оптимальне з точки зору мінімізації транспортних затримок співвідношення між ефективним часом для різних напрямів регулювання у світлофорному циклі. Крім того, наявність кількох фонограм для гучномовного пристрою підвищує рівень інформаційного забезпечення пішоходів із вадами зору.

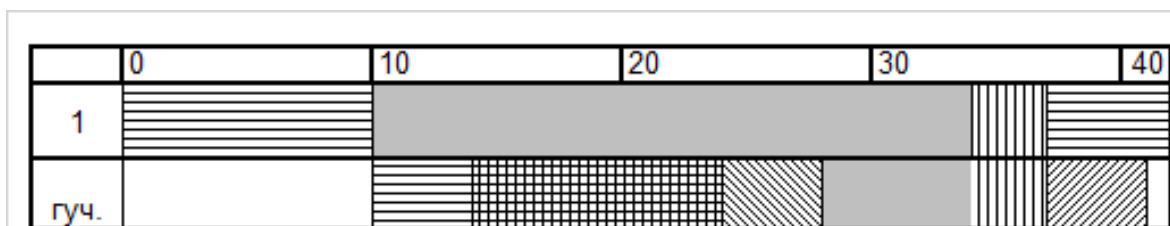


Рис. Фрагмент циклограми світлофорного регулювання із зображенням режиму роботи гучномовного пристрою

Література

1. Сайт Управління безпеки дорожнього руху МВС України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.sai.gov.ua>.
2. Капский, Д. Рекомендации по разработке режимов светофорного регулирования на пешеходных переходах [Електронний ресурс] / Капский, Д., Кот Е. - Режим доступа : \www/ URL: http://www.tsi.lv/Transport-and-Telecommunication/V73_en/art09.pdf.
3. Правила дорожнього руху України: офіц. текст. – Введ. 2001–10–10. – К.: Моноліт, 2017. – 57 с
4. Державний стандарт України ДСТУ 4092–2002 "Світлофори дорожні. Загальні технічні вимоги, правила застосування та вимоги безпеки". – Введ. 2002–06–03. – К.: Держстандарт України, 2002. – 27 с.
5. Трушевський В. Е. Особливості корекції елементів циклу світлофорного регулювання з метою гарантування безпеки руху пішоходів / В. Е. Трушевський, С. В. Грицай. // Автошляховик України. – 2014. – № 5. – С. 20–22.
6. Barlow J. M. Blind pedestrians and the changing technology and geometry of signalized intersections / J. M. Barlow, B. L. Bentzen, T. Bond: Safety, orientation, and independence //Journal of visual impairment & blindness. – 2005. – Т. 99. – №. 10. – С. EJ720652.
7. Кременец Ю. А. Технические средства организации дорожного движения. Учебник для вузов / Ю. А. Кременец, М. П. Печерский, М. Б. Афанасьев. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. – 279 с.
8. Левашев А. Г. Проектирование регулируемых пересечений: Учеб. пособие / А. Г. Левашев, А. Ю. Михайлов, И. М. Головных. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2007. – 208 с.
9. Державний стандарт України ДСТУ 4159–2003 "Безпека дорожнього руху. Організація дорожнього руху. Умовні позначення на схемах і планах". – Введ. 2004–07–01. – К.: Держстандарт України, 2004. – 14 с.

References

1. Sayt Upravlinnya bezpeky dorozhn'oho rukhu MVS Ukrayiny [Road safety department of the Ministry of Police] [Virtual Resource]. – Available at: <http://www.sai.gov.ua>.
2. Kapsky, D. Rekomendatsyy po razrabotke rezhymov svetofornoho rehulyrovannya na peshokhodnykh perekhodakh [Recommendations for the development of traffic light regulation at pedestrian crossings] [Virtual Resource] / Kapsky, D., Kot E. - Available at: \www/ URL: http://www.tsi.lv/Transport-and-Telecommunication/V73_en/art09.pdf.
3. Pravyla dorozhn'oho rukhu Ukrayiny: ofits. Tekst [Ukrainian road traffic rules]. – Kyiv.: Monolit, 2017. – 57 p.
4. Derzhavnyy standart Ukrayiny DSTU 4092–2002 "Svitlofory dorozhni. Zahal'ni tekhnichni vymohy, pravyla zastosovuvannya ta vymohy bezpeky" [State Standard 4092–2002 Traffic lights road. General technical requirements. application rules and safety requirements]. – Kyiv.: Derzhstandart Ukrayiny, 2002. – 27 p.
5. Trushevs'ky V. E. Osoblyvosti korektsiyi elementiv tsyklad svitlofornoho rehulyuvannya z metoyu harantuvannya bezpeky rukhu pishokhodiv [Features of the correction of the elements of the light-signal regulation cycle for the purpose of guaranteeing the safety of pedestrians] / V. E. Trushevs'ky, S. V. Hrytsay. // Avtozhlyakovyk Ukrayiny. – 2014. – № 5. – P. 20–22.

6. Barlow J. M. Blind pedestrians and the changing technology and geometry of signalized intersections / J. M. Barlow, B. L. Bentzen, T. Bond: Safety, orientation, and independence //Journal of visual impairment & blindness. – 2005. – Т. 99. – №. 10. – С. EJ720652.
7. Kremenets YU. A. Tekhnicheskiye sredstva orhanyzatsyy dorozhnoho dvyzheniya. Uchebnyk dlya vuzov [Technical means for organizing traffic] / YU. A. Kremenets, M. P. Pechersky, M. B. Afanas'ev. – Moscow: YKTS «Akademknyha», 2005. – 279 p.
8. Levashev A. H. Proektyrovanye rehulyruemykh peresecheniy: Ucheb. Posobyie [Designing adjustable intersections] / A. H. Levashev, A. YU. Mykhaylov, Y. M. Holovnykh. – Yrkut'sk: Yzd-vo YrHTU, 2007. – 208 p.
9. Derzhavnyy standart Ukrayiny DSTU 4159–2003 "Bezpeka dorozhn'oho rukhu. Orhanizatsiya dorozhn'oho rukhu. Umovni poznachennya na skhemakh i planakh" [State Standard 4159–2003 Road safety. Organization of traffic. Symbols on schemes and plans]. – Kyiv.: Derzhstandart Ukrayiny, 2004. – 14 p.

Трушевський В.Э. Расчет параметров режима громкоговорящего устройства для пешеходов слабовидящих

Рассматривается способ определения параметров режима работы громкоговорящего сигнального устройства для пешеходов со слабым зрением на регулируемых пешеходных переходах. Определён порядок расчета коэффициента коррекции основного такта фазы регулирования, содержащего пешеходное направление с громкоговорящим устройством для пешеходов со слабым зрением.

Ключевые слова: фаза, такт, направление, промежуток, интервал, метроном, проезжая часть, цикл, скорость, пешеход, регулирования, безопасность.

Trushevski V. Calculation of loudspeaker for blind pedestrians parameters

A method for calculating the operating parameters of a loudspeaker for blind pedestrians is observed. The device operates on controlled pedestrian crossings parallel to the traffic light for pedestrians. Since the speed of the movement of blind pedestrians at the pedestrian crossing is less than the speed set for pedestrians in the state standard, the parameters of the traffic light cycle can be changed for using the loudspeaker. For a signal permitting the movement for blind pedestrians, the minimum period of time is taken into account on the basis of their speed of movement. Then, the correction of the duration of the main phase clock, in which the pedestrian direction is switched on, as well as the traffic light, on which the loudspeaker for blind pedestrians operates, is performed. It is proposed that the mode of the loudspeaker operation should be shown on the same graph, with the mode of the traffic light object when using special notations for phonograms of the loudspeaker.

Keywords: phase, cycle, direction, interval, interval, metronome, carriageway, cycle, speed, pedestrian, regulation, safety.

Вячеслав Едуардович Трушевський, к.т.н., доцент кафедри «Транспортні технології» Запорізького національного технічного університету, м. Запоріжжя. aspirerz@gmail.com

Рецензент: д.т.н., проф. **Смолій В.М.**

УДК 697.32

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИДРОТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ВОДОУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА

Чернецкая-Белецкая Н.Б., Баранов И.О., Мирошникова М.В.

INCREASE EFFICIENCY HYDROTRANSPORTATION OF WATER HEATED FUEL

Chernetskaya-Beletskaya N., Baranov I., Miroshnykova M.

Получение ВУТ с необходимыми технологическими свойствами возможно при достижении бимодального гранулометрического состава, а также при введении реагентов, создающих затруднение для коагуляции частиц угля и формировании электростатического барьера между частицами твердой фазы. Установлено, что бимодальность гранулометрического состава способствует снижению вязкости суспензии за счет роли мелкой фракции твердого компонента ВУТ. Определены реологические и гидродинамические характеристик ВУТ, изучены закономерности влияния гранулометрического состава твердого компонента ВУТ на его характеристики. Установлено, что наиболее перспективным направлением дальнейших исследований является применение полученного уравнения регрессии для определения сопротивления движению ВУТ трубопроводным транспортом по уравнению Букингема.

Ключевые слова: водоугольное топливо, эффективная вязкость, напряжение сдвига, концентрация, бимодальность, гранулометрический состав.

Введение. Наиболее перспективным направлением развития угольных технологий в Украине, является использование водоугольного топлива (ВУТ) в качестве альтернативного вида топлива для потребностей теплоэнергетического комплекса Украины.

Расширение сферы использования ВУТ как эффективной угольной технологии вызывает необходимость дальнейших исследований, направленных на совершенствование технологий приготовления для уменьшения энергозатрат на единицу продукта и режимов его транспортирования для уменьшения транспортной энергетики и упрощения насосного оборудования.

Наиболее существенное влияние на процессы транспортирования ВУТ трубопроводным транспортом оказывает концентрация угольных частиц, их гранулометрическое распределение и физико-химические особенности, зависящие от марки исходного угля.

В связи с этим актуальной является задача регулирования реологических свойств высококонцентрированных дисперсных водоугольных систем и получение ВУТ с необходимыми технологическими свойствами при достижении бимодальности гранулометрического состава исходного угля. Выполнение этого условия позволит снизить величину гидравлического сопротивления и общие энергетические затраты на транспортирование ВУТ промышленными гидротранспортными системами (ПГТС), что в свою очередь обусловит возможность повышения концентрации угольной компоненты и как следствие, к повышению теплотворной способности топлива.

Постановка проблемы. Исследование и уточнение закономерностей течения водоугольного топлива в ПГТС позволит уменьшить до необходимого уровня величину энергетических затрат на транспортирование на стадии приготовления ВУТ, что приведет к повышению эффективности работы гидротранспортной системы [1].

Кроме того, уточнение математического описания процессов транспортирования ВУТ позволит более достоверно прогнозировать необходимые гидромеханические параметры ПГТС на стадии ее проектирования.

Сложность получения ВУТ заключается в упрочнении пространственной структурной сетки, образованной частицами угля, по мере возрастания концентрации твердой фазы, что препятствует реализации максимальной текучести при сохранении наименьшего значения эффективной вязкости ($\eta=1-2$ Па·с при скорости сдвига $Dr \approx 9c^{-1}$). Естественно, что успешное решение одной из проблем неизбежно приводит к возникновению препятствий в решении остальных. Увеличение содержания твердой фазы в области критических значений характеризуется резким возрастанием

вязкости и напряжения сдвига. С другой стороны, высокое значение прочности, вязкости и особенно концентрации твердой фазы в жидкой среде способствует седиментационной устойчивости, то есть исключает опасность их расслоения, за счет создания стерического препятствия между частицами [2,5].

Исходя из методов регулирования реологических свойств высококонцентрированных дисперсных систем, получение ВУТ с необходимыми технологическими свойствами возможно при достижении бимодального гранулометрического состава, а также при введении реагентов, создающих стерическое затруднение для коагуляции частиц угля и формировании электростатического барьера между частицами твердой фазы [3,6].

Анализ последних исследований и публикаций. Фундаментальные исследования в области развития технологий приготовления и транспортирования ВУТ принадлежат таким известным ученым как: В. Е. Зайденварг, К. Н. Трубецкой, В. И. Мурко, И. Х. Нехороший. Особый вклад в развитие технологий водоугольного топлива внес Г. Н. Делягин.

При выполнении работы были проанализированы и исследованы разработки НПО ЦКТИ, ОПУ Белово-Новосибирск, ученых Н.С. Рассудова, В.В. Манцева и др. Основную веху исследования вопросов управления структурно-реологическими характеристиками ВУТ закрепил С.П. Костовецкий.

Цель статьи. В работе ставится задача повышение эффективности гидротранспортирования водоугольного топлива за счет управления реологическими свойствами при приготовлении ВУТ, что позволит получить требуемые параметры гранулометрического состава, минимизировать основной интегральный показатель - удельные потери давления при транспортировании.

Результаты исследований. Максимально возможная концентрация ВУТ с удовлетворительными реологическими и седиментационными характеристиками определяется гранулометрическим составом измельченного исходного продукта, а также применением диспергирующих и стабилизирующих химических добавок. При не контролируемом бимодальном гранулометрическом составе, приближающемся к составу максимальной упаковки, полученном в результате двухстадийного помола угля в шаровой мельнице, без применения химических добавок можно достичь массовой концентрации 56 % – 58 % при весьма неудовлетворительных реологических характеристиках (высокий уровень эффективной вязкости и напряжения сдвига) при неудовлетворительной агрегативной устойчивости и седиментационной стабильности. Снижение

концентрации, тем более при повышенной зольности, снижает энергетический потенциал водоугольного топлива, что ставит под сомнение экономическую целесообразность его использования как котельного и печного топлива [4].

Следует учесть, что теория пластифицирующего и диспергирующего эффекта различных химических добавок в плане регулирования реологических характеристик высококонцентрированных дисперсных (особенно угольных) систем к настоящему времени разработана недостаточно, поэтому выбор их в каждом конкретном случае целесообразно осуществлять опытным путем.

Как показывает опыт, для начала движения неньютоновских жидкостей необходимо создать некоторую определенную разность напоров, соответствующую равенству возникающего в жидкости касательного напряжения τ и ее начального напряжения сдвига τ_0 . При этом вся масса жидкости отрывается от стенок трубы и движется первоначально как одно целое (как твердое тело) с одинаковыми скоростями для всех частиц.

Поскольку в рассматриваемом случае силы трения будут возникать только у стенок трубы на боковой поверхности выделенного объема жидкости и равнодействующая этих сил [7]

$$T = \tau_0 \pi d l \quad (1)$$

То уравнение равновесия, составленное для системы сил, действующих на этот объем, по аналогии с выводом общего выражения для потерь напора при равномерном движении, будет иметь вид:

$$p_1 \pi d^2 / 4 - p_2 \pi d^2 / 4 - \tau_0 \pi d l = 0 \quad (2)$$

Отсюда получим следующие выражения:
Для разности давлений на концах трубопровода

$$\Delta p = p_1 - p_2 = 4 \tau_0 l / d \quad (3)$$

Для разности напоров в тех же сечениях

$$\Delta H = H_1 - H_2 = 4 \tau_0 l / \rho g d = 4 \tau_0 l / \gamma d \quad (4)$$

Суспензия в трубопроводе будет двигаться, причем в зависимости от приложенной разности напоров $H_1 - H_2$ здесь возможны три режима ее движения: структурный, ламинарный и турбулентный.

Данное выражение является исходным при исследовании начальных стадий движения (например, для расчета процесса течения ВУТ). При

этом, как уже указывалось, под τ_0 следует понимать статическое начальное напряжение сдвига τ_{0st} .

Вначале при соблюдении равенств (1) и (2) весь поток жидкости движется целиком как твердое тело с одинаковой скоростью по всему поперечному сечению. По мере увеличения разности напоров ΔH возрастает и скорость движения жидкости.

В ближайших к стенкам трубы частях потока развивается ламинарный режим, а в центральной части (так называемом центральном ядре) жидкость по-прежнему продолжает двигаться как твердое тело. Такой режим движения, характеризующийся наличием центрального ядра, называется структурным [8,9].

Радиус центрального ядра может быть найден путем рассуждений, аналогичных сделанным выше, и определяется выражением

$$r_0 = 2\tau_0 l / \Delta p = 2\tau_0 l / \rho g \Delta H \quad (5)$$

При дальнейшем возрастании ΔH область ламинарного режима будет расширяться, размеры же центрального ядра – соответственно уменьшается. Повышая ΔH , можно достичь того, что структурный режим полностью перейдет в ламинарный (что соответствует значению $\tau_0=0$) [10,11].

Установим закон распределения скоростей в поперечном сечении трубы при структурном режиме. Для этого будем исходить из общего уравнения [12,13]:

$$v_y = \frac{r}{\tau_r} \int_{\tau_r}^{\tau} f(\tau) d\tau \quad (6)$$

Кривая скоростей состоит из двух параболических ветвей у стенок в зоне ламинарного режима и прямолинейного участка в центральном ядре.

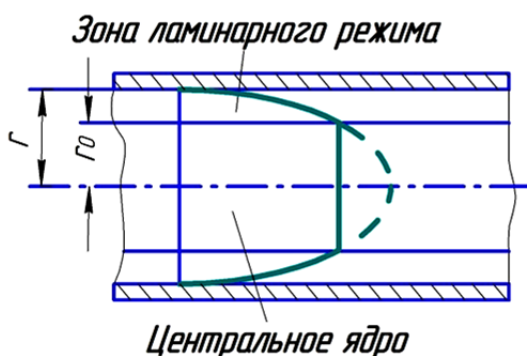


Рис.1. Кривая скоростей течения ВУТ

μ – пластическая вязкость жидкости. Для определения скорости движения центрального ядра в формуле v_y необходимо принять $y = r_0$ при этом получаем:

$$v_0 = \frac{\Delta P}{4\mu L} (r^2 - r_0^2) - \frac{\tau_0}{\mu} (r - r_0) \quad (7)$$

В частном случае, когда $\tau_0 = 0$, выражение v_0 превращается в обычную формулу Стокса для ламинарного режима (ей соответствует пунктирная кривая на рис. 1.).

Расход жидкости при структурном режиме может быть определен интегрированием уравнения

$$Q = \frac{\pi r^3}{\tau_r^3} \int_0^{\tau_r} f(\tau) \tau^2 d\tau \quad (8)$$

Δp – приложенная разность давлений; Δp_0 – разность давлений, соответствующая началу движения жидкости, вычисляемая по формуле (1). Подчеркнем также, что формула Букингема не может быть непосредственно разрешена относительно перепада давления Δp . При этом формула Букингема принимает более простой вид

$$Q = \frac{\pi^4}{8\mu L} \left[\Delta p - \frac{4}{3} \Delta p_0 \right] \quad (9)$$

При входе ВУТ в трубу круглого сечения скорости во всех точках входного поперечного сечения будут почти одинаковы, за исключением весьма тонкого пограничного (пристенного) слоя вблизи стенок, в котором вследствие прилипания жидкости к стенкам происходит почти внезапное падение скорости до нуля. Поэтому кривая скоростей во входном сечении может быть представлена достаточно точно в виде отрезка прямой (рис.2.)

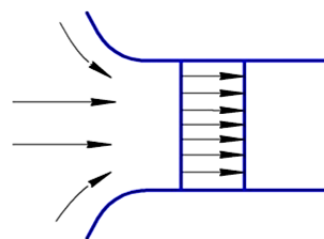


Рис.2. Кривая скоростей во входном сечении

По мере удаления от входа слои жидкости, соседние с пограничным слоем, вследствие трения у стенок начинают затормаживаться, толщина этого слоя постепенно увеличивается, а движение в нем, наоборот, замедляется. Центральная же часть потока (ядро течения), еще не захваченное трением, продолжает двигаться как одно целое с примерно одинаковой для всех слоев скоростью, причем (вследствие того, что количество протекающей жидкости остается неизменным) замедление

движения в пограничном слое неизбежно вызывает увеличение скорости в ядре [14,15].

Таким образом, в середине трубы, в ядре, скорость течения все время возрастает, а у стенок, в растущем пограничном слое, уменьшается. Это происходит до тех пор, пока пограничный слой не захватит всего сечения потока и ядро не будет сведено к нулю. На этом формирование потока заканчивается и кривая скоростей принимает обычную для ламинарного режима параболическую форму [16,17].

Проанализировав экспериментальные данные гранулометрического распределения исходного угля и проведя оценку значимости коэффициентов уравнения регрессии были исключены незначимые члены уравнения [18,19,20]. В связи с этим уравнения регрессии для выбранной матрицы планирования запишутся в виде кодированных параметров:

$$y(\eta) = 0,51438 + 0,08963x_1 + 0,13588x_2 + 0,07213x_3 - 0,00437x_1x_2 - 0,00463x_1x_3 - 0,01537x_2x_3 + 0,01838x_1x_2x_3$$

где $y(\eta)$ - эффективная вязкость ВУТ.

На основании полученных результатов были определены значения реологических параметров ВУТ, эффективной вязкости и предельного напряжения сдвига для трех вариантов концентраций твердого компонента (60, 62,5 и 65%). Оптимальным гранулометрическим составом угля, позволяющим получить водоугольное топливо с высокой степенью насыщения, обладающее сравнительно высокой стабильностью реологических характеристик, седиментационной и агрегативной устойчивостью и обеспечивающее беспрепятственное его прохождение через каналы и отверстия форсунок при подаче топливной системы на сжигание, является гранулометрический состав, при котором значения η составляют 0,278, 0,342 и 0,438 Па с, для концентраций 60, 62,5 и 65% соответственно. Значения τ_0 при этом составили 1,3, 1,55 и 3,18 соответственно.

В работе были проведены экспериментальные исследования, целью которых является определение реологических и гидродинамических характеристик ВУТ, изучение закономерностей влияния гранулометрического состава твердого компонента ВУТ на его характеристики и получение уравнения регрессии для дальнейшего определения сопротивления движению ВУТ по трубопроводам на основе использования уравнения Букингема.

Вывод. Проведенные исследования позволяют утверждать, что бимодальность гранулометрического состава способствует снижению вязкости суспензии за счет роли мелкой фракции твердого компонента ВУТ, которая способствуют перемещению крупной фракции угля в составе ВУТ с более низкими показателями

сопротивления. Установлено, что с помощью методов коллоидной химии и физико-химической механики можно эффективно создавать высококонцентрированное водоугольное топливо на основе угля различных марок концентрацией до 75% с необходимыми коллоидно-химическими свойствами. Анализ исследований показал, что для приготовления ВУТ максимально возможной концентрации следует измельчать уголь до гранулометрического состава максимальной упаковки, который описывается формулой Альфреда.

В результате проведения экспериментальных исследований были определены реологические и гидродинамические характеристик ВУТ, изучены закономерности влияния гранулометрического состава твердого компонента ВУТ на его характеристики. В работе было установлено, что наиболее перспективным направлением дальнейших исследований является применение полученного уравнения регрессии для определения сопротивления движению ВУТ трубопроводным транспортом по уравнению Букингема.

Л и т е р а т у р а

1. Савицкий Д.П., Макаров А.С., Завгородний В.А. Реологические свойства водоугольных суспензий на основе бурых углей в присутствии натриевых лигно-сульфонатов и щелочи // Химия твердого топлива. – 2009. - №5. – С.73–77.
2. Макарова К.В., Савицкий Д.П., Макаров А.С., Егурнов А.И. Водоугольное топливо на основе антрацита // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2010. – №5. – С. 3–5.
3. Mosa E.S., Saleh A.M., Taha T.A. Effect of chemical additives on flow characteristics of coal slurries // Physicochemical Problems of mineral Processing. – 2008. – Vol. 42. – P.107–118.
4. Урьев Н. Б. Высококонцентрированные дисперсные системы. – М.: Химия., 1980. – 320с.
5. Ходаков Г.С. Реология суспензий. Теория фазового течения и ее экспериментальное обоснование // Российский химический журнал. – 2003. Т.47. - №2. – С.33–44.
6. Keat-Teong Lee, Kok-Chong Tan, Irvan Dahlan, Abdul Rahman Mohamed. Development of kinetic model for the reaction between SO₂/NO and coal fly ash/ CaO/CaSO₄ sorbent // Fuel. — 2008. — Vol. 87. — P. 23–28.
7. Камерон Алистер. Теория смазки в инженерном деле [Текст] / Перевод с англ. инж. В. А. Бородина ; Под ред. д-ра техн. наук В. К. Житомирского. - Москва : Машгиз, 1962. - 296 с.
8. Хренкова Т.М. Механохимическая активация углей. — М., 1993.
9. Олофинский Е.П. Исследования гидромеханики трубопроводного транспортирования суспензии // Исследования гидромеханики суспензий в трубопроводном транспорте. — М.: ВНИИПИгидротрубопровод, 1985. — С. 4–8.
10. Pearson J.T. Hydrotropic and Adsorption Properties of Some Bis — Quaternary Ammonium Compounds and Related Cationic surfactants // J. Colloid and Interface Sci. — 1971. — Vol. 37. — №3. — P. 509–520.

11. Круть О.А. Водовугільне паливо / О.А. Круть. – К.: Наукова думка, 2002. – 172 с.
12. Білецький В.С. Перспективи впровадження технології водовугільного палива у малій теплоенергетиці України / В.С. Білецький, О.А. Круть, Ю.Г. Світлий // Форум гірників: матеріали міжнародної конференції. – Дніпропетровськ, 2007. – С. 177 – 180.
13. Круть А.А. Высокозольные угольные шламы – дополнительный источник энергоносителей / А.А. Круть // 36. наукових праць ДНТУ: серія електротехніка та енергетика. – 2001. – № 21. – С. 34 – 37.
14. Helle G., Nygaard B, Søren Kiilb, Johnssonb Jan E., Jørgen N. Jensen, Jørn Hansenb, Folmer Foghc, Kim Dam-Johansenb. Full-scale measurements of SO₂ gas phase concentrations and slurry compositions in a wet flue gas desulphurisation spray absorber // Fuel. — 2004. — Vol. 83. — p. 151–164.
15. Fu Xiao-an. A New Kind of Light Fuel Composed of Water/-Coal /Hydrocarbon / Xiao-an Fu [et al.] // The Proceedings of the 21st International Technical Conference on Coal Utilization & Fuel Systems, March 1996. – Clearwater, Florida, USA, 1996. – P. 259 – 266.
16. Huettenhain Horst. Premium Coal-Water Fuel (CWF) / Horst Huettenhain, M.V. Chari // The Proceedings of the 23rd International Technical Conference on Coal Utilization & Fuel Systems, March 1998. – Clearwater, Florida, USA, 1998. – p. 1099 – 1108.
17. Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. Издательство “Наука”, Москва 1976, 279с.
18. Longlian Cui, Liqian An, Hejin Jiang. A novel process for preparation of an ultra-clean superfine coal-oil slurry // Fuel. — 2007. — Vol. 83. — P. 1016.
19. Гюльмалиев А.М., Головин Г.С., Гладун Т.Г. Теоретические основы химии угля. — М.: Изд-во МГГУ, 2003. — 524 с.
20. Рабинович Е.З. Гидравлика: учебное пособие для вузов / Е.З. Рабинович. — М.: Недра, 1990. — 278 с.
8. Hrenkova T.M. Mehanohimicheskaia aktivacija uglej. — M., 1993.
9. Olofinskij E.P. Issledovanija gidromehaniki truboprovodnogo transportirovanija suspenzii // Issledovanija gidromehaniki suspenzij v truboprovodnom transporte. — M.: VNIPIgidrotruboprovod, 1985. — S. 4–8.
10. Pearson J.T. Hydrotropic and Adsorption Properties of Some Bis — Quaternary Ammonium Compounds and Related Cationic surfactants // J. Colloid and Interface Sci. — 1971. — Vol. 37. — №3. — P. 509–520.
11. Krut O.A. Vodovugilne palivo / O.A. Krut'. — K.: Naukova dumka, 2002. — 172 s.
12. Bileckij V.S. Perspektivi vprovadzhenja tehnologii vodovugilnogo paliva u malij teploenergetici Ukraini / V.S. Bileckij, O.A. Krut, J.G. Svitlij // Forum gimikiv: materiali mizhnarodnoї konferencii. — Dnipropetrovsk, 2007. — S. 177 – 180.
13. Krut A.A. Vysokozolnye ugolnye shlamy – dopol-nitelnyj istochnik jenergonositelej / A.A. Krut // Zb. naukovih prac DNTU: serija elektrotehnika ta energetika. – 2001. – № 21. – S. 34 – 37.
14. Helle G., Nygaard B, Søren Kiilb, Johnssonb Jan E., Jørgen N. Jensen, Jørn Hansenb, Folmer Foghc, Kim Dam-Johansenb. Full-scale measurements of SO₂ gas phase concentrations and slurry compositions in a wet flue gas desulphurisation spray absorber // Fuel. — 2004. — Vol. 83. — p. 151–164.
15. Fu Xiao-an. A New Kind of Light Fuel Composed of Water/-Coal /Hydrocarbon / Xiao-an Fu [et al.] // The Proceedings of the 21st International Technical Conference on Coal Utilization & Fuel Systems, March 1996. – Clearwater, Florida, USA, 1996. – P. 259 – 266.
16. Huettenhain Horst. Premium Coal-Water Fuel (CWF) / Horst Huettenhain, M.V. Chari // The Proceedings of the 23rd International Technical Conference on Coal Utilization & Fuel Systems, March 1998. – Clearwater, Florida, USA, 1998. – p. 1099 – 1108.
17. J.P. Adler, E.V. Markova, J.V. Granovskij. Planirovanie jeksperimenta pri poiske optimalnyh uslovij. Izdatelstvo “Nauka”, Moskva 1976, 279s.
18. Longlian Cui, Liqian An, Hejin Jiang. A novel process for preparation of an ultra-clean superfine coal-oil slurry // Fuel. — 2007. — Vol. 83. — P. 1016.
19. Gjulmaliev A.M., Golovin G.S., Gladun T.G. Teoreticheskie osnovy himii uglja. — M.: Izd-vo MGGU, 2003. — 524 s.
20. Rabinovich E.Z. Gidravlika: uchebnoe posobie dlja vuzov / E.Z. Rabinovich. — M.: Nedra, 1990. — 278 s.

References

1. Savickij D.P., Makarov A.S., Zavgorodnij V.A. Reologicheskie svojstva vodougolnyh suspenzij na osnove buryh uglej v prisutstvii natrievyh ligno-sulfonatov i shhelochi // Himija tverdogo topliva. – 2009. - №5. – S.73–77.
2. Makarova K.V., Savickij D.P., Makarov A.S., Egurnov A.I. Vodougolnoe toplivo na osnove antracita // Jenergotehnologii i resursosberezhenie. – 2010. – №5. – S. 3–5.
3. Mosa E.S., Saleh A.M., Taha T.A. Effect of chemical additives on flow characteristics of coal slurries // Physicochemical Problems of mineral Processing. – 2008. – Vol. 42. – P.107–118.
4. Ur'ev N. B. Vysokokonzentrirovannye dispersnye sistemy. – M.: Himija, 1980. – 320s.
5. Hodakov G.S. Reologija suspenzij. Teorija fazovogo techenija i ee jeksperimental'noe obosnovanie // Rossijskij himicheskij zhurnal. – 2003. T.47. - №2. – S.33–44.
6. Keat-Teong Lee, Kok-Chong Tan, Irvan Dahlan, Abdul Rahman Mohamed. Development of kinetic model for the reaction between SO₂/NO and coal fly ash/ CaO/CaSO₄ sorbent // Fuel. — 2008. — Vol. 87. — P. 23–28.
7. Kameron Alister. Teorija smazki v inzhenernom dele [Tekst] / Perevod s angl. inzh. V. A. Borodina ; Pod red. d-ra tehn. nauk V. K. Zhitomirskogo. - Moskva : Mashgiz, 1962. - 296 s.
- Чернецька-Білецька Н.Б., Баранов І.О., Мірошникова М.В. Підвищення ефективності гідротранспортування водовугільного палива.

Отримання ВВП з необхідними технологічними властивостями можливо при досягненні бімодального гранулометричного складу, а також при введенні реагентів, що створюють ускладнення для коагуляції часток вугілля і формування електростатичного бар'єру між частками твердої фази. Встановлено, що бімодальність гранулометричного складу сприяє зниженню в'язкості суспензії за рахунок ролі дрібної фракції твердого компонента ВВП. Визначено реологічні і гідродинамічні характеристики ВВП, вивчені закономірності впливу гранулометричного складу твердого компонента ВВП на його характеристики. Встановлено, що найбільш перспективним напрямком

подальших досліджень є застосування отриманого рівняння регресії для визначення опору руху ВВП трубопровідним транспортом по рівнянню Букінгема.

Ключові слова: водовугільне паливо, ефективна в'язкість, напруження зсуву, концентрація, бімодальність, гранулометричний склад.

Chernetskaya-Beletskaya N., Baranov I., Ostapenko V., Miroshnykova M. Increase efficiency hydrotransportation of water heated fuel.

Obtaining WCF with necessary technological properties is possible when bimodal granulometric composition is reached, as well by introducing reagents make it difficult coagulate coal particles and form electrostatic barrier between particles of solid phase. It is established that bimodality granulometric composition helps reduce viscosity suspension due to role of fine fraction solid component WCF. The rheological and hydrodynamic characteristics WCF are determined, regularities influence of granulometric composition solid component WCF on its characteristics are studied.

Analysis existing theoretical studies and experimental data shows that most important factors affecting parameters of hydrotreating water-coal fuel are concentration solid component (C) and parameters characterizing bimodality of grain size distribution solid phase WCF. The paper

established that with the help methods of colloid chemistry and physico-chemical mechanics is possible to efficiently create highly concentrated water coal fuel based on coal various grades with a concentration to 75% with necessary colloidal-chemical properties. Analysis studies showed to prepare the water-coal fuel (WCF) much possible concentration, it is necessary refine coal granulometric composition of maximum package, which is described by Alfred formula.

Keywords: water-coal fuel, effective viscosity, shear stress, concentration, bimodality, granulometric composition.

Чернецька-Білецька Н.Б. – д.т.н., проф., зав. кафедри «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» СХУ ім. В. Даля.

Баранов І.О. – старший викладач кафедри «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» СХУ ім. В. Даля. mail: baranov_90@inbox.ru

Мірошникова М.В. - асистент кафедри «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» СХУ ім. В. Даля.

Рецензент: д.т.н., проф. **Марченко Д.М.**

Стаття подана 29.09.2017

**ВІСНИК
СХІДНОУКРАЇНСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ
№ 8 (238) 2017**

Науковий журнал

Відповідальний за випуск

Скарга-Бандурова І.С.

Оригінал-макет

Могильна О.В.

Статті надруковано в авторській редакції

Підписано до друку 31.10.2017 р.
Формат 60 x 84 1/8. Папір офсетний. Гарнітура Times.
Друк офсетний. Умов. друк. арк. 13,5. Обл.-вид. арк. 14,9.
Наклад 300 прим. Вид. № 3129. Ціна вільна.

Видавництво
Східноукраїнського національного університету
імені Володимира Даля

Свідоцтво про реєстрацію: серія ДК № 1620 від 18.12.03 р.

Адреса університета: просп. Центральний 59-А
м. Сєвєродонецьк, 93400, Україна
E-mail: vidavnictvoSNU.ua@gmail.com

Надруковано у ПП «Поліграф-Сервіс»
Свідоцтво про реєстрацію серія АОО №049269 93406,
м. Сєвєродонецьк, проспект Гвардійський, 30
тел.: (0645) 70-14-41, (095) 850-61-53
e-mail: poligrafSDLK@ukr.net