

Захожай О.І.

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ СИНТЕЗУ АДАПТИВНИХ СТРУКТУР ЦИФРОВИХ ФІЛЬТРІВ ДЛЯ ВИСОКОШВИДКІСНОЇ ОБРОБКИ ВІДЕОЗОБРАЖЕНЬ

*Стаття присвячена вирішенню актуальної задачі зниження часової складності обробки відеозображень на яких фіксуються швидкоплинні процеси і явища. Основною метою дослідження є покращення експлуатаційних показників засобів технічного зору для високошвидкісної обробки відеозображень шляхом застосування методів і моделей адаптивної фільтрації та селекції інформативних даних. В роботі проведено обґрунтування підходу до зниження часової складності процесу ідентифікації об'єктів на зображенні, а також доцільність застосування цифрових фільтрів з кінцевою імпульсно-фазовою характеристикою для виконання такого роду завдань. Розглянуті етапи інформаційної технології їх синтезу, а також запропоновані критерії вибору раціональних параметрів цифрових фільтрів. Запропонована інформаційна технологія основана на принципі адаптивної фільтрації, яка дозволяє керувати деталізацією зображення та здійснювати селекцію інформативних ознак для подальшої обробки. Інші, неінформативні ознаки на зображенні усуваються. Таким чином, в будь який момент часу забезпечується прийняття рішень на основі меншої сукупності але більш інформативних ознак. Ефективність запропонованих технічних рішень перевірена засобами математичного моделювання, де додатковим критерієм ефективності системи фільтрації зазначалась її стійкість. В результаті моделювання вдалося визначити області раціональних параметрів цифрових фільтрів для забезпечення раціональних комбінацій конкуруючих параметрів: рівня деталізації зображення, часової складності обробки та стійкості цифрової системи фільтрації. **Ключові слова:** інформаційні системи і технології обробки відеозображень, синтез структур цифрових фільтрів, зміна деталізації відеозображень, часова складність обробки відеозображень, метод динамічної зміни деталізації відеозображення*

Вступ. На сьогоднішній день комп'ютерний зір знаходить широке застосування у різноманітних сферах діяльності людини та технічних системах із різними призначеннями [1]. Методи й інструменти обробки візуальної інформації використовуються для виконання широкого спектра завдань: від обробки зображень у звичайних цифрових фото- та відеокамерах до складного багатокомпонентного аналізу в системах діагностики й управління. В таких системах аналізуються вхідні потоки візуальної інформації для виділення й класифікації інформативних ознак, синтезу та відновлення візуальних даних, а також визначення характеристик аналізованих об'єктів. Більшість сучасних систем розпізнавання образів тісно пов'язані з підсистемами обробки візуальної інформації.

Розвиток методів і алгоритмів аналізу й обробки візуальних даних сприяє широкому впровадженню систем обробки відеоінформації для аналізу швидкоплинних процесів. Завдяки цьому технічні системи зору не лише фіксують інформацію, яку неможливо сприйняти людським зором, але й виконують її інтелектуальний аналіз у реальному часі [2-3].

Однією з важливих сфер використання високошвидкісної обробки відеозображень є дослідження потоків рідин і газів. Течії суцільних середовищ можна спостерігати як у природному середовищі (наприклад, потоки повітря в атмосфері чи кругообіг води в природі), так і в різних технічних системах, таких як аеродинамічні труби, газо- та водопроводи. Високошвидкісна обробка відеозображень зустрічається в широкому спектрі прикладних застосувань як то: випробування газотурбінних авіаційних двигунів на обрив лопатки; випробування кабін літальних апаратів на стійкість до потрапляння птахів та різних предметів; реєстрація балістичних випробувань; тестування технічних систем на транспорті (краш-тести, випробування подушок безпеки тощо); відеореєстрація процесів деформації і руйнування; системи машинного зору в промисловості; наукові дослідження у фізиці, хімії, біології, тощо. Часто ці процеси мають складний характер через нерівномірність швидкісного поля, нестационарність і турбулентність. У таких умовах ефективно вивчення динаміки потоків неможливе без сучасних технічних засобів, які дозволяють не лише візуалізувати потік, а й визначити його основні характеристики, конфігурацію та динаміку. Для цього актуальним є використання систем технічного зору зі спеціалізованими алгоритмами обробки відеоданих.

Аналіз відеоінформації про потоки суцільних середовищ пов'язаний із вирішенням двох ключових завдань:

- забезпечення високої достовірності аналізу даних і виявлення інформативних ознак;
- зниження часової складності аналізу, що сприяє підвищенню частоти кадрів і розширенню діапазону реєстрованих швидкостей.

Проте вирішення цих завдань є непростим, оскільки підвищення достовірності аналізу зазвичай збільшує часову складність, а спрощення алгоритмів для зниження часової складності може негативно вплинути на достовірність. В цьому аспекті основним напрямом забезпечення достатнього рівня достовірності та оперативності обробки є прийняття рішень на основі меншої кількості але найбільш інформативних ознак.

Усунення від обробки неінформативних ознак не вплине на достовірність результату, але значно скоротить час обробки за рахунок зменшення інформаційного поля аналізу даних.

Враховуючи, що сучасні технічні засоби реєстрації відеоданих є цифровими системами і збереження даних також відбувається в цифровому форматі, то для зменшення кількості даних, що надаються для аналізу, доцільне використання цифрових фільтрів [4-5] з метою усунення додаткових етапів перетворень форматів та, відповідно, додаткових витрат часу. Однак, слід зазначити, що інформативність об'єктів на зображенні може змінюватися, тому система цифрової фільтрації повинна бути адаптивною до зміни цільового рівня деталізації.

Таким чином, розробка нових методів і засобів, синтезу структур цифрових фільтрів для високошвидкісної обробки відеозображень є актуальною науково-технічною задачею, рішення якої забезпечить покращення експлуатаційних показників засобів технічного зору для високошвидкісної обробки відеозображень.

Аналіз питання та постановка завдання. Обробка одного кадру, що реєструється цифровою камерою високої роздільної здатності, потребує значного обсягу обчислень з урахуванням великого формату матричного фотоприймача (мільйони пікселів). Крім того, з огляду на швидкоплинність процесу, що реєструється, і його явно виражену динаміку мінливості структури потоку, необхідно проводити швидкісне знімання з великою частотою кадрів, що породжує великий потік відеокадрів, який має бути проаналізовано й опрацьовано в режимі реального часу.

На рисунку 1 наведений приклад кадру зображення запиленого потоку газу, що фіксується цифровою камерою й надається для подальшої обробки.



Рисунок 1 – Зображення запиленого потоку газу, отримане високошвидкісною цифровою камерою на основі ПЗЗ-матриці

Збільшивши час експозиції кадру, на зображенні можна отримати більш довгі треки (як показано на рисунку 2), для яких достатньо просто оцінити швидкість частинок в різних поперечних січеннях потоку.



Рисунок 2 – Зображення треків частинок при часі експозиції $\tau=10$ мкс

В цьому випадку, швидкість частинок можна визначити як відношення довжини зображення треку L , позначеної на рисунку 2, до часу експозиції кадру τ і помножене на масштабний коефіцієнт μ , що перетворює відстань на екрані зображення до реального пройденого частинкою шляху. Іноді цей коефіцієнт називають коефіцієнтом геометричного перетворення. Таким чином, швидкість частинок можна визначити наступним чином:

$$V = \frac{\mu \cdot L}{\tau}. \quad (1)$$

Очевидно, що для наведеного прикладного застосування обробки відеозображення інформативними даними є виключно довжина треку частинки. Інші ж об'єкти зображення, як і його атрибути (такі як колір), не мають інформаційної цінності. Таким чином, зниження часової складності аналізу відеоданих можна отримати, якщо для певного прикладного застосування в будь який момент часу до обробки будуть видаватися виключно найбільш інформативні ознаки. Інші ж характеристики зображення підлягають усуненню. Така селекція раціональних ознак [5] дозволить зменшити розмірність інформаційного поля аналізу, при одночасному збереженні отриманого достовірного результату.

Насьогодні для зниження часової складності аналізу зображень широко використовується зміна його деталізації. Так, наприклад, зменшення роздільної здатності зображення дозволяє зменшити розмірність бітової матриці, що надається до аналізу і, відповідно, зменшити кількість даних що аналізуються для прийняття рішення. При цьому, актуальним є визначення меж такої зміни деталізації, так як надмірне зниження призводить до втрати частини інформативних ознак, а надмірне завищення – до появи малоінформативних або зовсім неінформативних ознак, що не підвищує достовірність результату, але збільшує часову складність процесу його отримання.

Для цифрової фільтрації зображення використовуються рекурсивні і нерекурсивні цифрові фільтри з кінцевою та нескінченною імпульсною характеристикою [6-8].

Таким чином, для високошвидкісної обробки зображень на основі аналізу меншої кількості але найбільш інформативних ознак необхідна розробка інформаційної технології адаптивної фільтрації, що також додатково вимагає розробки системи критеріїв визначення раціонального рівня деталізації зображення, що надається для аналізу і прийняття рішення.

Системи цифрової фільтрації для високошвидкісної обробки відеозображень повинні мати такі особливості [2, 5]:

- наявність мінімальних затримок внесених в сигнал під час обробки;
- висока частота дискретизації;
- можливість динамічного переналаштування параметрів фільтрації;
- загороджувальні властивості для частот, що знаходяться поза смуги пропускання;
- висока стійкість.

Рекурсивні цифрові фільтри (РЦФ) забезпечують більшу гнучкість налаштувань параметрів системи фільтрації, де окрім поточних значень відліків цифрових сигналів можуть застосовуватися попередні значення або, іноді, наступні. При цьому, під час зміни параметрів рекурсивного фільтру спостерігаються значні зміни його стійкості [8], що не припустиме для адаптивної системи, де параметри фільтрації динамічно змінюються.

Нерекурсивні цифрові фільтри (НЦФ) використовують для обробки поточні відліки сигналу і не застосовують рекурсивних запитів попередніх чи наступних значень. Уся обробка в цьому випадку ведеться в межах обраного вікна фільтра, що забезпечує кращу схожимість алгоритмів обробки у випадку динамічної зміни параметрів налаштувань системи цифрової фільтрації.

Кінцеві імпульсні характеристики (КІХ) гарантують стійкість, а при введенні відповідної кінцевої затримки і гарну реалізованість системи фільтрації. Більше того, КІХ-последовності можна вибрати так, щоб фільтри мали строго лінійні фазові характеристики [5]. Тому, використовуючи КІХ-последовності, можна синтезувати фільтри з довільною амплітудною характеристикою. До появи алгоритму швидкого перетворення Фур'є (ШПФ) реалізація КІХ-фільтрів вважалася, як правило, нереальною, оскільки для досить хорошої апроксимації фільтрів з гострими зрізами потрібні досить довгі последовності (довжина вікна фільтра). Розробка на основі високоефективного алгоритму ШПФ методів швидкої згортки змінила це положення, і в даний час КІХ-фільтри успішно конкурують з фільтрами на основі нескінченних імпульсних характеристик (НІХ) та мають гострі зрізи в частотній області.

З двох глобальних класів цифрових фільтрів: нерекурсивних з кінцевою імпульсно-фазовою характеристикою і рекурсивних з нескінченною імпульсно-фазовою характеристикою, обидва можуть бути застосовані для адаптивної зміни деталізації, але з урахуванням необхідності мінімізації витрат часу на обробку, пропонується застосування саме НЦФ з КІХ. Додатковий аргумент на користь цього вибору – НЦФ дозволить невілювати фазові перетворення між вхідними та вихідними даними, що є критично важливим у випадку високошвидкісної зміни об'єктів спостереження на сцені відеоряду (у НЦФ з КІХ фазова характеристика лінійна). В цьому випадку немає необхідності робити високоточні розрахунки враховуючи рекурсію, так як це помітно збільшить навантаження на обчислювальне ядро і знизить ефективність фільтра при невеликому вираші в якості, що явно не буде раціональним при високошвидкісній обробці відеозображень.

Таким чином, для високошвидкісної обробки відеозображень стає актуальним вирішення задачі розробки інформаційної технології адаптивного синтезу структур нерекурсивних цифрових фільтрів з кінцевою імпульсно-фазовою характеристикою.

Вирішення завдання. Для зниження часової складності процесу визначення векторів швидкостей зміни елементів на високошвидкісному відеозображенні пропонується застосування методу адаптивної зміни деталізації зображення. Згідно цього методу, на етапі попередньої обробки, зображення буде формуватися з меншою деталізацією але включатиме інформативні елементи відеозображення, які використовуватиметься як опорні для визначення векторів швидкостей. В якості критерію зміни деталізації пропонується застосування

швидкості зміни зображення, що реєструється та надається для аналізу. Принцип застосування цього критерію проілюстрований на рисунку 2 [2].

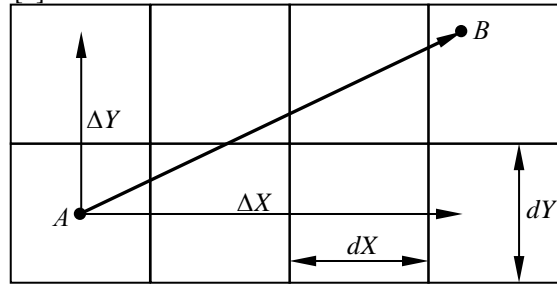


Рисунок 2 – Адаптивна сегментація зображення при визначенні вектору швидкості переміщення точки з положення A в положення B

Для зміни деталізації, зображення піддається сегментації на елементарні вікна, розмір яких визначає результуючий рівень деталізації. Припустимо, що система комп'ютерного зору реєструє переміщення точки з положення A в положення B (рисунк 2). При цьому точність визначення проєкцій складових вектору швидкості ΔX і ΔY на площину спостереження буде знаходитися в залежності від розмірів елементарного вікна сегментації dX і dY .

Очевидно, що при збільшенні швидкості переміщення, за один і той же проміжок часу, точка B буде знаходитися на більшій відстані від точки A . При цьому проєкції складових вектору швидкості ΔX і ΔY будуть збільшуватися. Якщо задатися умовою, що точність визначення вектору швидкості залишається незмінною, то можна зробити висновок, що більшим значенням ΔX і ΔY повинні відповідати більші значення dX і dY . Звідси випливає, що при збільшенні швидкості, розмір елементарного вікна сегментації може бути збільшений, що фактично призведе до зменшення деталізації зображення та зниження часової складності обробки зображення.

Тоді, в якості критерію визначення рівня деталізації для заданої швидкості зміни вектору зображення будуть застосовуватися співвідношення:

$$G_x = \frac{\Delta X}{dX}, G_y = \frac{\Delta Y}{dY} \quad (2)$$

У разі застосування однорідного кінцевовимірного простору та з метою спрощення алгоритму динамічного визначення рівня деталізації справедливе припущення

$$dX = dY. \quad (3)$$

Тоді обидві характеристики G_x і G_y є рівнозначними:

$$G_x \approx G_y \approx G. \quad (4)$$

Пропонована інформаційна технологія синтезу адаптивних структур цифрових фільтрів для високошвидкісної обробки відеозображень включає 6 етапів які повторюються при зміні умов деталізації зображення.

Етап 1. По необхідному, апіорно заданому загасанню частотної характеристики в смузі затримання A , обирається тип вагової функції.

Найпростіша вагова функція – прямокутна, має мінімальну ширину головного пелюстка і максимальний рівень бічних пелюстків

$$w_R(n) = 1, n = 0, \dots, N - 1. \quad (5)$$

У випадку трикутної вагової функції вона є згорткою двох прямокутних функцій довжиною $N/2$:

$$w_T(n) = w_R(n) * w_R(n) = \begin{cases} \frac{2-n}{N-1}, & 0 \leq n \leq \frac{N-1}{2} \\ 2 - \frac{2-n}{N-1}, & \frac{N-1}{2} < n \leq N - 1 \end{cases} \quad (6)$$

В цій ваговій функції вдвічі більша ширина головного пелюстка при досить великому рівні бічних пелюстків, які мають ширину $\Delta\omega_{\delta n} = 2 \cdot \omega_{\delta} / N$ або $\Delta\lambda_{\delta n} = 4 \cdot \pi / N$.

Узагальнена вагова функція Хемінга описується виразом

$$w_H(n) = \alpha - (1 - \alpha) \cdot \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right). \quad (7)$$

При $\alpha = 0.5$ вона відповідає ваговій функції Ханна, при $\alpha = 0.54$ – ваговій функції Хемінга.

Рівень бічних пелюсток вагових функції Хемінга є прийнятним для багатьох реалізацій НЦФ. Бічні пелюстки частотної характеристики мають ширину $\Delta\omega_{\delta n} = \omega_d/N$ або $\Delta\lambda_{\delta n} = 2\pi/N$. Площа під бічними пелюстками становить 0.04% від площі квадрата частотної характеристики вагової функції.

Вагова функція Блекмана має вигляд

$$w_B(n) = 0.42 - 0.5 \cdot \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right) + 0.08 \cdot \cos\left(\frac{4\pi n}{N-1}\right). \quad (8)$$

У порівнянні з ваговою функцією Хемінга вона має більш широкий головний пелюсток (у 1.5 рази) при достатньо малому рівні бічних пелюсток.

При синтезі НЦФ використовуються також вагові функції Ланцоша, Дольфа-Чебишева, Каппеліні, та ін, серед яких особливе значення має клас вагових функцій або вікон Кайзера. На відміну від інших вагових функцій, які мають постійні значення рівнів бічних пелюсток $\delta_{bn,max}$ і відношення (D -фактор), у вагових функціях Кайзера ці параметри можуть широко варіюватися за допомогою коефіцієнта β , що входить до математичного виразу цієї функції:

$$w_C(n) = I_0(\beta) \cdot \sqrt{1 - \left[\frac{2n}{N-1}\right]^2} / I_0(\beta), \quad (9)$$

де $I_0(x)$ – функція Бесселя нульового порядку.

Завдяки цьому забезпечується найкраща для цього методу синтезу якість апроксимації заданої частотної характеристики або найменший порядок фільтра при заданій якості апроксимації, що має значну перевагу для високошвидкісної обробки на основі фільтрів меншого порядку.

З ваговою функцією Кайзера, шляхом чисельного інтегрування згортки по заданому загасанню $A_3 = |\delta_{2max}|$ частотної характеристики $H(j\omega)$ апроксимованого ідеального ФНЧ, обрати або розрахувати значення D -фактору і коефіцієнти β :

$$D \approx \frac{A_3 - 7.95}{14.36}, \text{ при } A_3 > 21 \text{ дБ}; \quad D = 0.9222, \text{ при } A_3 < 21 \text{ дБ}; \quad (10)$$

$$\beta = \begin{cases} 0, & \text{при } A_3 \leq 21 \text{ дБ} \\ 0.5842 \cdot (A_3 - 21)^{0.4} + 0.07886 \cdot (A_3 - 21), & \text{при } 21 < A_3 < 50 \text{ дБ} \\ 0.1102 \cdot (A_3 - 8.7), & \text{при } A_3 \geq 50 \text{ дБ} \end{cases} \quad (11)$$

Етап 2. Для обраної вагової функції і заданої перехідної смуги частотної характеристики фільтра $\Delta f_{nep} = |f_s - f_c|_{\min}$, відповідно наблизеному співвідношенню $\Delta f_{2\pi} = \Delta f_{nep} = D \cdot f_d / N$, знаходиться необхідна довжина вагової функції і визначається довжина імпульсної характеристики фільтра:

$$N \geq D \cdot f_d / \Delta f_{nep}, \quad (12)$$

де D - коефіцієнт, що залежить від типу вагової функції (D -фактор).

Значення N прирівнюється до найближчого цілого числа, зазвичай непарного.

Етап 3. В якості частот зрізу заданої частотної характеристики використовуються їх розрахункові значення f_{cp} , зміщені в смугу затримування приблизно на половину перехідної смуги фільтра Δf_{nep} . Це пов'язано з властивим даному методу розмиванням кордонів переходу від смуги пропускання фільтра до смуги затримання. Наприклад, для смугового фільтра:

$$f_{c1p} \approx f_{c1} - \Delta f_{nep} / 2; \quad f_{c2p} \approx f_{c2} + \Delta f_{nep} / 2. \quad (13)$$

Етап 4. Знаходиться імпульсна характеристика фільтра шляхом вагового усічення зміщеної вправо імпульсної характеристики $h_d(m)$ на $(N-1)/2$ відліків:

$$h(m) = h_d[m - (N-1)/2] \cdot w(m), \quad m = 0, 1, \dots, N-1. \quad (14)$$

Етап 5. Розраховується амплітудно-частотна характеристика фільтра

$$H(j\omega) = \sum_{k=0}^{N-1} h[k] \cdot e^{-j\omega \cdot k \cdot T_d} \quad (15)$$

і перевіряється її відповідність нерівномірності частотної характеристики в смугах пропускання A_n і затримування A_z .

Етап 6. Можливе проведення уточнення параметрів фільтра на наступну ітерацію. Для цього, за необхідності корегуються значення розрахункових частот зрізу f_{c1p} , f_{c2p} і довжини фільтра N . Після цього розрахунки повторюються.

При визначенні раціональних значень порядку фільтра і дискретизації сигналу слід враховувати, що мінімальна часова складність процесу обробки, відповідає мінімально допустимому обсягу даних, що обробляються. Таким чином, система фільтрації повинна дозволити виключити максимальну кількість неінформативних або малоінформативних аспектів зображення.

З урахуванням вищесказаного, необхідне вироблення критеріїв визначенням раціональних значень порядку фільтра і частоти дискретизації. При зміні порядку фільтра, фактично, достатньо не змінювати частоту дискретизації, а обрати її завідомо достатньою для пропускання максимально можливого бітрейту. Але при малому порядку і великій дискретизації цифровий фільтр буде мати малу стійкість, оскільки накопичення великої кількості попередніх вибірок визначає велику часову затримку реакції системи і це негативно позначається на стійкості системи.

З метою забезпечення використання раціональних значень порядку фільтра і дискретизації сигналу для кожного рівня деталізація було проведено дослідження впливу цих параметрів на основі математичної моделі адаптивного цифрового фільтра, який синтезувався за представленою інформаційною технологією. Проведення чисельного моделювання дозволило отримати характеристику визначення раціональних значень цифрового фільтра для бітрейта рівня f . Характеристика проілюстрована на рисунку 3.

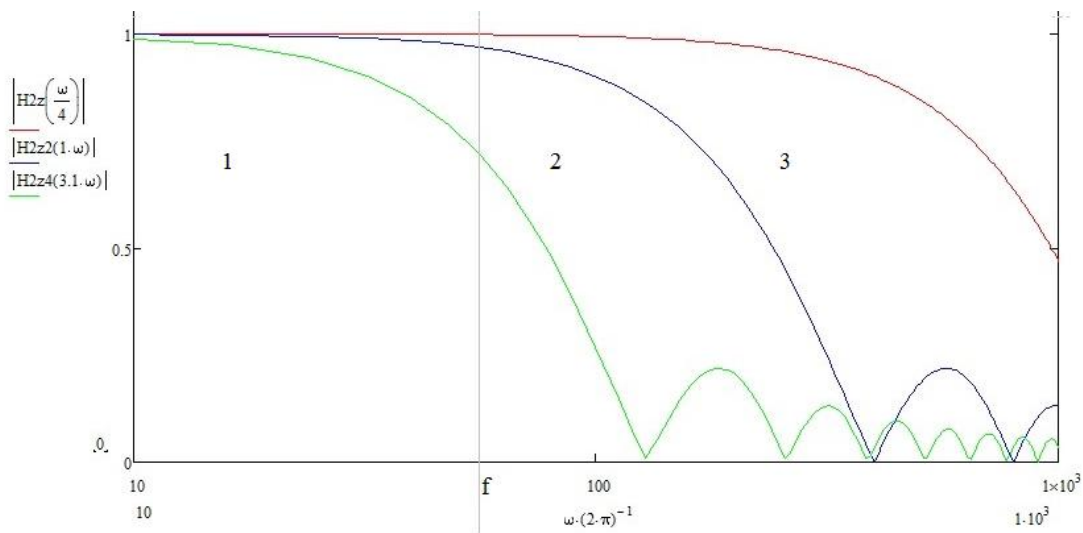


Рисунок 3 – Визначення областей раціональних значень цифрового фільтра для бітрейта рівня f

На рисунку 3 видно, що смуга пропускання повинна відповідати значенню бітрейта. Графік розбитий на 3 області, де 1 – область втрат даних, 3 – область надлишкових даних, 2 – область відповідності бітрейта смузі пропускання. У першій області частина даних буде втрачатися, так як бітрейт не буде відповідати смузі пропускання. Це призводить до надмірної втрати інформативних аспектів зображення. В області 3 навпаки, смуга пропускання буде пропускати великий спектр сигналу, завдяки чому збільшиться час його обробки, а також можуть з'явитися високочастотні перешкоди, що погіршують процес високошвидкісної обробки відеозображень. В цьому випадку, зображення буде мати надлишкові ознаки, які не мають достатньої інформативності для поточного апріорно заданого рівня деталізації. В області 2 смуга пропускання налаштована оптимальним чином, завдяки чому необхідні дані будуть повністю надходити в тракт обробки сигналу без надлишку і втрат. В цьому випадку машинний час буде ефективно використано на обробку виключно інформативних ознак відеозображення.

Таким чином, найбільш важливим завданням при налаштуванні параметрів цифрового фільтра є правильний вибір параметрів частоти дискретизації і порядку фільтра для забезпечення необхідної смузи пропускання, і також забезпечення необхідної стійкості фільтра.

Потрібно зазначити, що вибір параметрів здійснюється в середній області залежності на рисунку 3. При цьому раціональні параметри будуть спостерігатися коли смуга пропускання цифрового фільтра буде відповідати встановленому бітрейту відеозображення.

Висновки. В результаті проведеного дослідження були отримані наступні основні результати.

- Обґрунтована доцільність застосування нерекурсивних цифрових фільтрів з кінцевою імпульсно-фазовою характеристикою для попередньої обробки високошвидкісних відеозображень з метою усунення

неінформативних або малоінформативних ознак за забезпечення апіорного рівня достовірності аналізу при одночасній мінімізації часової складності процесу обробки.

- Запропонована інформаційна технологія синтезу адаптивних структур цифрових фільтрів для високошвидкісної обробки відеозображень яка дозволяє в будь який момент часу змінювати налаштування цифрового фільтру та забезпечувати зміну деталізації зображення для прийняття рішення на основі меншої сукупності але найбільш інформативних даних. Це дозволяє забезпечити завданий рівень достовірності результату при одночасній мінімізації часової складності такого аналізу.

- Розроблені критерії визначення цільового рівня деталізації високошвидкісного зображення для подальшого усунення від аналізу неінформативних ознак, які не впливають на достовірність але підвищують кількість даних що надаються для аналізу та впливають на оперативність отримання результату.

- В якості напрямку подальшого дослідження доцільним є визначення апаратно-програмних засобів для реалізації синтезованих адаптивних цифрових фільтрів для різних варіантів прикладного застосування.

Л і т е р а т у р а

1. Іваненко Г.П. Основи обробки зображень та комп'ютерного зору /– Львів: ЛНУ. – 2018. ISBN: 978-617-7004-21-0.
2. Author A. Introduction to Video Processing /– Springer. – 2014. ISBN: 978-3319012264.
3. Gonzalez R.C., Woods R. E. Digital Image Processing (4th ed.) /– Pearson. –2018. ISBN: 978-0133946179.
4. Trauth, M.H. Signal Processing. In: MATLAB® Recipes for Earth Sciences /– Berlin: Springer. – 2015. DOI: 10.1007/978-3-662-46244-7_6.
5. Захожай О.І., Дубовик В.С. Використання структур цифрових фільтрів для високошвидкісної обробки відеозображень /- Збірник наукових праць Донбаського державного технічного університету. – 2013. – №39. – С. 263 – 268.
6. Коваль О.В., Мельник В. І. Цифрові фільтри в обробці зображень /– Харків: ХНУРЕ. – 2017. ISBN: 978-617-7246-42-4.
7. Буряк М.І. Основи цифрових технологій обробки сигналів /– Одеса: ОНУ. – 2016. ISBN: 978-617-7607-45-1.
8. Kennedy H. Recursive and non-recursive filters for sequential smoothing and prediction with instantaneous phase and frequency estimation applications /– Cornell University Arxiv. – 2023. DOI: 10.48550/arXiv.2311.07089.

R e f e r e n c e s

1. Ivanenko G.P. Image processing and computer vision fundamentals /– Lviv: LNU. – 2018. ISBN: 978-617-7004-21-0.
2. Author A. Introduction to Video Processing /– Springer. – 2014. ISBN: 978-3319012264.
3. Gonzalez R.C., Woods R. E. Digital Image Processing (4th ed.) /– Pearson. –2018. ISBN: 978-0133946179.
4. Trauth, M.H. Signal Processing. In: MATLAB® Recipes for Earth Sciences /– Berlin: Springer. – 2015. DOI: 10.1007/978-3-662-46244-7_6.
5. Zakhozhai O., Dubovik V. Using digital filter structures for high-speed video image processing /- Collection of scientific papers of Donbass State Technical University. – 2013. – vol. 39. – pp. 263 – 268.
6. Koval O. V., Melnyk V. I. Digital filters in image processing /– Kharkiv: KhNURE. – 2017. ISBN: 978-617-7246-42-4.
7. Buryak M. I. Digital technologies of signal processing fundamentals /– Odessa: ONU. – 2016. ISBN: 978-617-7607-45-1.
8. Kennedy H. Recursive and non-recursive filters for sequential smoothing and prediction with instantaneous phase and frequency estimation applications /– Cornell University Arxiv. – 2023. DOI: 10.48550/arXiv.2311.07089.

The article is devoted to solving the actual problem of reducing the time complexity of video image processing, which captures fleeting processes and phenomena. The main purpose of the study is to improve the performance of technical vision means for high-speed video image processing by applying methods and models of adaptive filtering and selection of informative data. The paper substantiates an approach to reducing the time complexity of the process of identifying objects in an image, as well as the feasibility of using digital filters with a finite impulse-phase response to perform such tasks. The stages of information technology for their synthesis are considered, and criteria for selecting rational parameters of digital filters are proposed. The proposed information technology is based on the principle of adaptive filtering, which allows controlling the image detail and selecting informative features for further processing. Other, uninformative features in the image are eliminated. Thus, at any given time, decision-making is ensured based on a smaller set of more informative features. The effectiveness of the proposed technical solutions was tested by means of mathematical modeling, where an additional criterion for the effectiveness of the filtering system was its stability. As a result of the modeling, it was possible to determine the areas of rational parameters of digital filters to ensure rational combinations of competing parameters: the level of image detail, the time complexity of processing, and the stability of the digital filtering system.

Keywords: information systems and technologies of video image processing, synthesis of digital filter structures, change of video image detail, time complexity of video image processing, method of dynamic change of video image detail

Захожай О. І. Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, завідувач кафедри інформаційних технологій та програмування, д.т.н., доцент.