

НАЦІОНАЛЬНИЙ АвіАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Чолишкіна Ольга Геннадіївна

УДК 519.652:519.254

**ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ОБРОБКИ ЦИФРОВАНИХ ЗОБРАЖЕНЬ
ЗА ВИКОРИСТАННЯМ В-СПЛАЙНІВ П'ЯТОГО ПОРЯДКУ**

Спеціальність 05.13.06 – Інформаційні технології

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2010

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі комп'ютерних систем та мереж в
Національному авіаційному університеті Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Гузій Микола Миколайович,
Національний авіаційний університет, м. Київ,
професор кафедри комп'ютерних систем та мереж

Офіційні опоненти: Заслужений діяч науки і техніки України,
доктор технічних наук, професор
Баранов Володимир Леонідович,
Інститут проблем моделювання в енергетиці
ім Г.Є. Пухова НАН України, м. Київ,
провідний науковий співробітник відділення
моделюючих та керуючих систем в енергетиці

доктор технічних наук, доцент
Юдін Олександр Костянтинович,
Національний авіаційний університет, м. Київ,
завідуючий кафедрою комп'ютеризованих
систем захисту інформації

Захист відбудеться «17» червня 2010р. о 15.00 годині на засіданні спеціалізованої
вченої ради Д 26.062.01 при Національному авіаційному університеті за адресою:
03680, Київ 680, проспект Космонавта Комарова, 1.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного авіаційного уні-
верситету за адресою: 03680, Київ 680, проспект Космонавта Комарова, 1.

Автореферат розісланий «14» червня 2010р.

Вчений секретар
Спеціалізованої вченої ради

В.С. Єременко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Розвиток інформаційних технологій (ІТ) в Україні та світі демонструє сталу тенденцію до потреби обробки даних у обсягах, що збільшуються. І якщо апаратні можливості комп'ютерної техніки стабільно нарощуються, то поява математичного забезпечення, актуального до зростання обсягів даних, має певну інертність. Існує декілька факторів, що стримують розвиток математичних методів обробки даних. По-перше, у зв'язку з комерціалізацією науки, значна кількість досліджень носить закритий характер і інформація стає набуттям дослідників лише в загальному вигляді. По-друге, відсутній системний аналіз можливостей опрацювання даних за існуючими підходами та прогноз результатів обробки при зростанні обсягів інформації на порядки – без такої перспективи важко визначати пріоритети. Для Української держави об'єктивним фактором є загальна стагнація наукових досліджень у цій сфері.

Сказане стосується і задач обробки цифрованих зображень (ЦЗ), відмічається швидкий зріст розмірів ЦЗ, які потребують обробки в умовах реального часу. Відомо, що найбільшу швидкодію обробки досягають із залученням лінійних функціоналів (ЛФ) у математичному забезпеченні, що реалізується в автоматизованих системах (АС) обробки. Зафіксовані ЦЗ часто подано з випадковою вадою, природа якої може суттєво різнитись, залежно від якості роботи джерела фіксації. При побудові моделей за даними з зазначеною природою вад бажаним є застосування методів, що мають одночасно як апроксимативні властивості, так і властивості «придушення» випадкових вад. Отже, при обробці ЦЗ актуальною є задача вдосконалення ІТ з умов задоволення вимогам швидкодії опрацювання великих обсягів даних таким чином, щоб враховувалась природа фіксації даних, була достатня «гнучкість» за наслідками обробки та легка реалізація при розробці АС.

Сьогодні існує математичний апарат, що можна покласти в основу такої технології, який відповідає переліченим вимогам. Це локальні поліноміальні сплайни (ПС), близькі до інтерполяційних у середньому. В розвиток таких сплайнів великий внесок поклали фундаментальні роботи І.Шоуєнберга, К.Де Бора, М.П.Корнійчука, К.Чуї та ін., увагу ПС, визначеним на локальних носіях, що є близькими до інтерполяційних у середньому, приділено А.О. Лигуном, О.О. Шумейко, П.О. Приставкою. Останнім часом розвиток цього математичного напрямку спрямовано на отримання методів апроксимації за багатовимірними даними та застосування при розробці методів фільтрації, вейвлет-перетворень та subdivision-методів.

У дисертаційному дослідженні зосереджено увагу на отриманні нових локальних сплайнів для використання при побудові ЛФ для вирішення задач обробки ЦЗ таких, як субполосна фільтрація, контрастування, цифрова стабілізація, масштабування, які потребують вирішення в багатьох інших, більш глибоких задачах обробки: стиснення, розпізнавання образів, стеганографія тощо. Саме тому можемо говорити про актуальність обраного напрямку досліджень.

Зв'язок роботи з науковими програмами, темами та планами. Результати дисертаційних досліджень реалізовані в рамках виконання: д/б теми «Концепція,

методи та інформаційне забезпечення локального моніторингу техногенно-навантажених регіонів», д/р № 0107U000530 (розділ заключного звіту); д/б теми «Розробка методів та геоінформаційної технології аналізу техногенного впливу на довкілля Придніпров'я», д/р № 0109U000147 (розділ проміжного звіту); тематичних наукових планів досліджень кафедри інформаційних технологій Національного авіаційного університету у 2007- 2009 рр.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є вдосконалення інформаційної технології обробки цифрованих зображень на базі розроблених методів з використанням поліноміальних сплайнів, близьких до інтерполяційних у середньому на основі B -сплайнів p 'ятого порядку.

Відповідно до мети визначені такі завдання дослідження:

1. Провести аналіз існуючих методів обробки цифрованих зображень, на основі якого мають бути сформульовано задачі дослідження, визначені основні підходи щодо їх вирішення, сформульовано критерії підвищення ефективності обробки цифрованих зображень.

2. Розробити метод субполосної фільтрації та контрастування цифрованих зображень, на основі лінійної комбінації B -сплайнів p 'ятого порядку.

3. Розробити метод цифрової стабілізації зображень з завадами, які спричинено мікрорухом камери фіксації.

4. Вдосконалити інформаційну технологію обробки цифрованих зображень на базі розроблених методів, що враховує обробку зображень великого розміру та низької деталізації.

5. Розробити автоматизовану систему реалізації інформаційної технології та розроблених методів обробки цифрованих зображень.

6. На базі вдосконаленої інформаційної технології та впровадженої автоматизованої системи проаналізувати ефективність та адекватність нових методів.

Об'єктом дослідження є процес обробки двовимірних ЦЗ, які зафіксовано з задоволюючою, в тому числі й привнесеною мікрорухом камери фіксації.

Предметом дослідження є методи та засоби ІТ обробки цифрованих сигналів що функціонують у режимі реального часу.

Методи дослідження. При вирішенні поставлених задач використано такі методи аналізу: теорія апроксимації, теорія ймовірностей та обчислювальні методи прикладного статистичного аналізу, теорія обробки сигналів, методи організації обчислювальних процесів з використанням обчислювальної техніки, технологія програмування.

Наукова новизна одержаних результатів. У роботі одержано такі наукові результати:

1. Вперше отримано та досліджено аналітичний вигляд B -сплайну p 'ятого порядку для побудови базису в просторі поліномів.

2. Вперше отримано локальні поліноміальні сплайни, близькі до інтерполяційних у середньому однієї та двох змінних, що є лінійною комбінацією B -сплайнів p 'ятого порядку, для обробки даних у явному вигляді та при розробці лінійних фільтрів.

3. Отримано величину норми запропонованих сплайн-операторів та значення

оцінки якості апроксимації для випадку однієї та двох змінних, які дозволяють зробити узагальнення до відомих теоретичних положень про подібні оцінки для сплайнів іншого ступеня поліному.

4. Вперше розроблено метод субполосної фільтрації та контрастування ЦЗ на основі введених сплайнів, які при використанні в АС забезпечують обробку зображень низької деталізації та більш високого (не менше ніж в 2 рази) розрішення, на відміну від використання аналогічних фільтрів з меншою кількістю членів дискретної згортки.

5. Вперше розроблено метод цифрової стабілізації зображень з завадами, які спричинено мікрорухома камери фіксації, та показано, що при відтворенні таких зображень, запропоновані фільтри мають перевагу перед фільтрами контрастування на основі функції Лапласу (на 30 – 50 % за статистичною оцінкою відхилення, залежно від рівня завади), та мають перевагу перед фільтрами покращення різкості, представленими в програмному забезпеченні із закритим кодом (на 5–20 % залежно від рівня завади).

6. Набула подальшого розвитку інформаційна технологія обробки ЦЗ, за використанням методів на основі лінійних комбінацій поліноміальних сплайнів, близьких до інтерполяційних у середньому, що дозволило забезпечувати обробку зображень збільшеного розміру та низької деталізації.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджено аналітичними дослідженнями асимптотичних властивостей введених сплайн-операторів, на основі яких розроблялась інформаційна технологія. Експериментальні дослідження, зокрема, роботи ведених операторів цифрової стабілізації зображень, полягали в постановці та проведенні експериментів з імітаційного моделювання та порівняльного аналізу з результатами обробки реалізованої в сучасному програмному забезпеченні із закритим кодом. Проведенні експерименти засвідчили адекватність роботи отриманих операторів та продемонстрували перевагу над існуючими.

Практичне значення отриманих результатів.

1. Вперше отримано частковий випадок введених сплайнів, що дозволило розробку обчислювальних схеми та засобів обробки ЦЗ, які відповідають вимогам обробки даних у режимі реального часу.

2. Створено АС обробки ЦЗ «Green Gerbera» (Держдепартамент інтелектуальної власності, свідоцтво про реєстрацію авторського права №30102).

3. Практичні результати дисертаційної роботи використано в діяльності Інституту проблем реєстрації інформації НАН України та Науковому центрі аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України (акти впровадження); в навчальному процесі при підготовці студентів спеціальності прикладна математика в Національному авіаційному університеті та Дніпропетровському національному університеті ім. О.Гончара МОН України.

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота є результатом самостійного дослідження. В роботах, виконаних разом з співавторами, автору належить: [1] – отримано явний вигляд B -сплайну p 'ятого порядку однієї змінної, досліджено його властивості; [6] – отримано лінійну комбінацію B -сплайнів p 'ятого по-

рядку, доведені відповідні теореми та наслідки про норму сплайн-оператора й оцінку якості відтворення заданої функції; [2] – отримано локальний ПС двох змінних на основі B -сплайну p 'ятого порядку, доведені теореми про норму та оцінку якості апроксимації; [7] – отримано частковий випадок для ПС однієї змінної; [8] – отримано ЛФ високочастотної фільтрації; [4] – отримано ЛФ для обробки зображень, проведено експериментальні дослідження; [5] – подано опис АС обробки ЦЗ «Green Gerbera»; [11] – отримано ЛФ цифрової стабілізації на основі лінійних комбінацій B -сплайнів p 'ятого порядку.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на XI та XIII міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми математичного моделювання» (м. Дніпродзержинськ, 2007, 2009), VI, VII міжнародній науково-практичній конференції «Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем» (м. Дніпропетровськ, 2008, 2009), XI міжнародній науково-технічній конференції «Системний аналіз та інформаційні технології» (м. Київ, 2009), II міжнародній науково-технічній конференції «Комп'ютерні системи та мережні технології» (м. Київ, 2009), IX міжнародній науково-технічній конференції «АВІА-2009» (м. Київ, 2009).

Публікації. Основні положення дисертаційної роботи опубліковано у 11 друкованих роботах (в тому числі 3 без співавторів), серед яких: 4 статті у виданнях, що входять до переліку фахових ВАК (1 – без співавторів), та 7 – тези доповідей на конференціях (2 без співавторів).

Структура дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 115-ти найменувань, містить 46 рисунків, 3 таблиці, 5 додатків. Загальний обсяг дисертації, без урахування додатків, становить 136 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність роботи, поставлено мету і задачі досліджень, визначено наукову новизну і практичну цінність отриманих результатів, наведено дані про їх апробацію та впровадження.

У першому розділі наведено аналіз методів обробки сигналів та ЦЗ, проведено огляд стану існуючої ІТ обробки ЦЗ. Виходячи з результатів та висновків першого розділу роботи сформульовано завдання досліджень в роботі.

Проведений огляд сучасного стану обробки ЦЗ дозволив зробити такі висновки. В основу побудови методів та алгоритмів обробки ЦЗ варто покласти статистичну (іконічну) модель зображення, як найбільш зручну для користування в програмно-обчислювальному середовищі.

Аналіз засобів обробки ЦЗ показав, що важливе місце при обробці мають цифрові фільтри. Фільтри за швидкими перетвореннями типу Фур'є, Уолша, Адамара, Хаара та ін. порівняно з нерекурсивними та рекурсивними фільтрами, мають обчислювальну складність (що ускладнює обробку ЦЗ в режимі реального часу) та використовуються, зазвичай, для обробки «стаціонарних» сигналів. З погляду розробки швидкодіючих алгоритмів обробки ЦЗ, перевагу варто віддати методам на основі лінійних локальних операторів як таких, що мають мінімальну кількість

простіших арифметичних операцій при обчисленнях.

Показано, що при виборі методів обробки ЦЗ, як функцію-вікно перспектив-но дослідити часткові випадки локальних ПС, близьких до інтерполяційних у середньому як таких, що відповідають вимогам швидкодії обробки та враховують, що при фіксації зображення відбувається інтегральне усереднення значення світлової енергії, що прийнято сенсором.

Розробка нових ІТ обробки ЦЗ на основі математичних методів має перспективу меншої собівартості, порівняно з технологіями, спрямованими на розвиток апаратних можливостей. Тому задача досліджень стояла в доведенні ефективності математичної обробки до рівня потреб споживачів.

Було відмічено, що фактором стримування розвитку ІТ обробки ЦЗ на вітчизняному ринку та при підготовці відповідних фахівців в Україні, є закритість коду більшості програмних продуктів обробки ЦЗ та відсутність у відкритому друці математичних аспектів інформаційної обробки та перспективи її розвитку.

У **другому розділі** досліджено лінійні комбінації ПС, близьких до інтерполяційних у середньому на, основі B -сплайнів п'ятого порядку.

Нехай при деякому $h > 0$ задано рівномірне розбиття Δ_h дійсної вісі $R = (-\infty; \infty)$ точками $ih, i \in \mathbb{Z}$. Тоді, якщо

$$B_{0,h} = \begin{cases} 0, & t \notin [-h/2; h/2], \\ 1, & t \in [-h/2; h/2], \end{cases} \quad (1)$$

то B -сплайн $B_{r,h}(t) \in S_r(\Delta_h)$ порядку $r, (r \geq 1)$ визначається рекурентно так:

$$B_{r,h}(t) = \frac{1}{h} \int_{t-h/2}^{t+h/2} B_{r-1,h}(\tau) d\tau. \quad (2)$$

На розбитті Δ_h B -сплайн п'ятого порядку має як носій проміжок $d_5 = [-3h; 3h]$, явний вигляд зазначеного сплайну отримано з виразів (1) і (2):

$$B_{5,h}(t) = \begin{cases} 0, & t \notin [-3h; 3h], \\ \frac{1}{120} \left(3 + \frac{t}{h}\right)^5, & t \in [-3h; -2h], \\ -\frac{1}{24} \left(\frac{t}{h}\right)^5 - \frac{3}{8} \left(\frac{t}{h}\right)^4 - \frac{5}{4} \left(\frac{t}{h}\right)^3 - \frac{7}{4} \left(\frac{t}{h}\right)^2 - \frac{5}{8} \left(\frac{t}{h}\right) + \frac{51}{120}, & t \in [-2h; -h], \\ \frac{1}{12} \left(\frac{t}{h}\right)^5 + \frac{1}{4} \left(\frac{t}{h}\right)^4 - \frac{1}{2} \left(\frac{t}{h}\right)^2 + \frac{11}{20}, & t \in [-h; 0], \\ -\frac{1}{12} \left(\frac{t}{h}\right)^5 + \frac{1}{4} \left(\frac{t}{h}\right)^4 - \frac{1}{2} \left(\frac{t}{h}\right)^2 + \frac{11}{20}, & t \in [0; h], \\ \frac{1}{24} \left(\frac{t}{h}\right)^5 - \frac{3}{8} \left(\frac{t}{h}\right)^4 + \frac{5}{4} \left(\frac{t}{h}\right)^3 - \frac{7}{4} \left(\frac{t}{h}\right)^2 + \frac{5}{8} \left(\frac{t}{h}\right) + \frac{51}{120}, & t \in [h; 2h], \\ \frac{1}{120} \left(3 - \frac{t}{h}\right)^5, & t \in [2h; 3h]. \end{cases} \quad (3)$$

Нехай у кожній точці розбиття Δ_h отримано значення деякої неперервної функції $p(t) \in C^r, r \geq 2$, визначеної на $\mathbb{R}_1(-\infty; \infty)$, при цьому вважаємо, що

$$\bar{p}_i = \frac{1}{h} \int_{ih}^{(i+1)h} p(t) dt, \quad (4)$$

а істинне значення функції $p(t)$ у вузлах визначається так:

$$p_i = \bar{p}_i + \varepsilon_i, \quad i \in \mathbb{Z}, \quad (5)$$

де ε_i – похибка. Для апроксимації функції $p(t)$ за значеннями типу (5) у вузлах розбиття Δ_h , введено лінійну комбінацію B -сплайнів визначених виразом (3):

$$S_{5,0}(p, t) = \sum_{i \in \mathbb{Z}} p_i B_{5,h}(t - ih). \quad (6)$$

Якщо ввести заміну $x = 2(t - ih)/h, |x| \leq 1$,

то ПС $S_{5,0}(p, t)$ можна подати в розгорнутому вигляді:

$$\begin{aligned} S_{5,0}(p, t) = & \frac{1}{3840} (-p_{i-2} + 5p_{i-1} - 10p_i + 10p_{i+1} - 5p_{i+2} + p_{i+3}) x^5 + \frac{1}{768} (p_{i-2} - 3p_{i-1} + 2p_i + \\ & + 2p_{i+1} - 3p_{i+2} + p_{i+3}) x^4 + \frac{1}{384} (-p_{i-2} - 3p_{i-1} + 14p_i - 14p_{i+1} + 3p_{i+2} + p_{i+3}) x^3 + \\ & + \frac{1}{384} (p_{i-2} + 21p_{i-1} - 22p_i - 22p_{i+1} + 21p_{i+2} + p_{i+3}) x^2 + \frac{1}{768} (-p_{i-2} - 75p_{i-1} - 144p_i + \\ & + 144p_{i+1} + 75p_{i+2} + p_{i+3}) x + \frac{1}{3840} (p_{i-2} + 237p_{i-1} + 1682p_i + 1682p_{i+1} + 237p_{i+2} + p_{i+3}). \end{aligned} \quad (8)$$

Про похибку відтворення функції $p(t)$ за використанням сплайну $S_{5,0}(p, t)$, свідчать доведені в дисертаційній роботі теореми та сформульовані на їх основі наслідки. Наведемо такий наслідок.

Наслідок 1. Для $\forall p(t) \in C^5$ має місце

$$\|p(t, q) - S_{5,0}(p, t)\| \leq \frac{7h^2}{24} \|p''(t)\| + \varepsilon \|p\| + o(h^2), \quad \varepsilon = \max_i \{\varepsilon_i\}, \quad i \in \mathbb{Z}.$$

З аналізу оцінок якості апроксимації, відмічено, що порівняно з відомими сплайнами $S_{r,0}(p, t), r = 2, 3, 4$, ПС $S_{5,0}(p, t)$ має більш виражені властивості згладжування. Встановлено, що при $r = 2, 3, 4, 5$ похибка апроксимації функції $p(t) \in C^2$, визначеної на рівномірному розбитті значеннями типу Δ_h , збільшується на величину $\frac{h^2}{24} \|p''(t)\|$ при кожному збільшенні ступеня поліному.

Аналогічно, на розбитті $\Delta_{h_i, h_j} : \{(ih_i, jh_j), ((i+1)h_i, (j+1)h_j); i, j \in \mathbb{Z}\}$, для заданих значення деякої функції $p(t, q) \in C^{5,5}$:

$$p_{i,j}, \quad i, j \in \mathbb{Z}, \quad p_{i,j} = \bar{p}_{i,j} + \varepsilon_{i,j}, \quad (9)$$

де $\bar{p}_{i,j} = \frac{1}{h_i h_j} \int_{ih_i}^{(i+1)h_i} \int_{jh_j}^{(j+1)h_j} p(t, q) dt dq$; $\varepsilon_{i,j}$ – деяка похибка,

в роботі одержано двовимірний ПС, що є наближенням функції $p(t, q)$. Іншими

словами, значенням $p_{i,j}$ поставлено у відповідність сплайн вигляду

$$S_{5,0}(p,t,q) = \sum_{i \in \mathbb{Z}} \sum_{j \in \mathbb{Z}} B_{5,h_i}(t - ih_t) B_{5,h_q}(q - jh_q) p_{i,j}, \quad (10)$$

де (з точністю до аргументу) $B_{5,h}(t)$ визначається з виразу (3). Відмітимо, що в роботі отримано явний вигляд сплайну (10) двох змінних, на зразок виразу (8).

Для $S_{5,0}(p,t,q)$ має місце такий наслідок з доведених в роботі теорем:

Наслідок 2. Для $\forall p(t,q) \in C^{3,3}$ має місце

$$\|p(t,q) - S_{5,0}(p,t)\| \leq \frac{7h_q^2}{24} \|p''(t,q)\| + \frac{7h_q^2}{24} \|p''_q(t,q)\| + \frac{49h_t^2 h_q^2}{576} \|p''_{tq}(t,q)\| + \varepsilon \|p\| + o(h^4),$$

де $\varepsilon = \max_{i,j} \{\varepsilon_{i,j}\}$; $h = \max\{h_t, h_q\}$.

Введені та досліджені ПС (6), (10) використовуються при розробці обчислювальних схем як в явному вигляді, так і у вигляді часткових випадків при конкретних значеннях аргументів в межах локального носія – в задачах низькочастотної фільтрації, масштабування (бінарного та небінарного) послідовностей відліків двовимірних функцій, при побудові високочастотних, контрастних та комбінованих фільтрів. В роботі введено позначення: $S_{5,0}^{(x)}$ – ЛФ, що є значенням сплайну $S_{5,0}(p,t)$ при набутті змінної x (вираз (7)) значення з проміжку $[-1;1]$. Наприклад, $S_{5,0}^{(\frac{1}{2})}$ – результат перетворення над $S_{5,0}(p,t)$, отримане при покладанні в явному виразі змінної $x = 0,5$. Введено позначення: $\gamma_{(x)}^{(5,0)}$ – вектор-стовпець, координати якого після операції дискретної згортки з послідовністю p_i , $i \in \mathbb{Z}$, надають ЛФ. Тобто, для функціоналу $S_{5,0}^{(x)}$ отримано такі вирази:

$$S_{5,0}^{(x)} = \sum_{j=i-2}^{i+3} \gamma_{(x)}^{(5,0)}{}_{j-i} \cdot p_j, \quad (11)$$

де x (для визначеності) набуває значення із множини

$$\left\{-1, -\frac{4}{5}, -\frac{3}{4}, -\frac{2}{3}, -\frac{3}{5}, -\frac{1}{2}, -\frac{2}{5}, -\frac{1}{3}, -\frac{1}{4}, -\frac{1}{5}, 0, \frac{1}{5}, \frac{1}{4}, \frac{2}{5}, \frac{2}{3}, \frac{3}{5}, \frac{3}{4}, \frac{4}{5}, 1\right\};$$

$$\gamma_{(-1)}^{(5,0)} = \frac{1}{120} \begin{pmatrix} 1 \\ 26 \\ 66 \\ 26 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad \gamma_{(-\frac{4}{5})}^{(5,0)} = \frac{1}{12 \cdot 10^6} \begin{pmatrix} 59049 \\ 2121805 \\ 6540290 \\ 3117810 \\ 161045 \\ 1 \end{pmatrix}, \quad \gamma_{(-\frac{3}{4})}^{(5,0)} = \frac{1}{3932160} \begin{pmatrix} 16807 \\ 658533 \\ 2132198 \\ 1065578 \\ 59043 \\ 1 \end{pmatrix} \text{ і т.д.}$$

Подано часткові випадки для ПС $S_{5,0}(p,t,q)$. Введено такі позначення:

$S_{5,0}^{(x,y)}$ – ЛФ, що є значенням сплайну при набутті змінними x , y (подання (7)), та

аналогічний для y) конкретних значень з відповідних проміжків $[-1;1]$; $\gamma_{(x,y)}^{(5,0)}$ – матриця, елементи якої після операції дискретної згортки з послідовністю $p_{i,j}$, $i, j \in \mathbb{Z}$, надають ЛФ. Для $S_{5,0}^{(x,y)}$ отримано подання:

$$S_{5,0}^{(x,y)} = \sum_{ii=i-2}^{i+3} \sum_{jj=i-2}^{j+3} \gamma_{(x,y)}^{(5,0)}{}_{ii-i, jj-j} \cdot P_{ii, jj}, \quad (12)$$

де (для визначеності), $(x,y) \in \{(-1;-1), (0;-1), (-1;0), (0;0)\}$, і, для прикладу,

$$\gamma_{(0;-1)}^{(5,0)} = \frac{1}{460800} \begin{pmatrix} 1 & 26 & 66 & 26 & 1 & 0 \\ 237 & 6162 & 15642 & 6162 & 237 & 0 \\ 1682 & 43732 & 111012 & 43732 & 1682 & 0 \\ 1682 & 43732 & 111012 & 43732 & 1682 & 0 \\ 237 & 6162 & 15642 & 6162 & 237 & 0 \\ 1 & 26 & 66 & 26 & 1 & 0 \end{pmatrix}.$$

Оператори (11) та (12), при поданні у розгорнутому вигляді, задовольняють вимоги обробки у режимі реального часу при реалізації їх в АС обробки даних. Останнє пояснюється лінійністю введених операторів та відносно малою кількістю простіших арифметичних операторів (типу «+», «-» та «*»), що використовуються в процесі обчислень.

У **третьому розділі** подано ЛФ для розробки субполосної фільтрації та контрастування, масштабування зі згладжуванням, цифрової стабілізації зображення, наведено аналіз експериментальних досліджень.

У роботі введено позначення: $\{p_{i,j}\}_{i,j \in \mathbb{Z}}$ – послідовність кольорової складової (наприклад з простору RGB) вихідного растру, кожному пікселю якого поставлено у відповідність двійка індексів $\{(i,j)\}_{i,j \in \mathbb{Z}}$, що визначають його місцеположення. Було запропоновано, не зменшуючи загальності, вважати, що $\{p_{i,j}\}_{i,j \in \mathbb{Z}}$ – послідовність реалізацій деякої $p(t,q)$ функції, для яких виконується (9). Під визначенням лінійного фільтру було означено лінійний оператор, що призводить до зміни (фільтрації) як форми, так і образу кольорових складових растру.

Натепер в задачі субполосної фільтрації найвищу швидкістю мають методи на основі ЛФ – як явне розкриття згортки дискретного (цифрового) сигналу та послідовності завад або (що тожодно) як часткові випадки апроксимацій за використанням фінітних функцій. Характерною рисою таких операторів є їх локальність, що й дозволяє описання локальних особливостей сигналу. Двійка фільтрів (низькочастотний (НЧ) та відповідний йому високочастотний (ВЧ)) дозволяють проведення субполосної фільтрації зображення, якщо має місце подання:

$$p_{i,j} = p_{H_{i,j}} + p_{B_{i,j}},$$

то послідовності $\{p_{H_{i,j}}\}_{i,j \in \mathbb{Z}}$, $\{p_{B_{i,j}}\}_{i,j \in \mathbb{Z}}$ визначають на підставі ЛФ:

$$p_{H_{i,j}} = L(p^{i,j}), \quad i, j \in \mathbb{Z}, \quad p_{\theta_{i,j}} = H(p^{i,j}), \quad i, j \in \mathbb{Z}. \quad (13)$$

Шуканий одновимірний оператор НЧ фільтрації, отриманий з виразу (11), як частковий випадок при $x = -1$, такий:

$$L(p^i) = S_{5,0}(p, ih) = \sum_{ii=i-2}^{i+2} \gamma_{H1,ii} P_{ii}, \quad i \in \mathbb{Z}, \quad (14)$$

або у розгорнутому вигляді (кількість простіших арифметичних операцій – сім):

$$L(p^i) = \frac{1}{120}(p_{i-2} + 26(p_{i-1} + p_{i+1}) + 66p_i + p_{i+2}). \quad (15)$$

Відповідно, двовимірний оператор НЧ фільтрації такий:

$$L(p^{i,j}) = \sum_{ii=i-2}^{i+2} \sum_{jj=j-2}^{j+2} \gamma_{H2,ii,jj} P_{ii,jj}, \quad i, j \in \mathbb{Z} \quad (16)$$

де
$$\gamma_{H2} = \frac{1}{14400} \begin{pmatrix} 1 & 26 & 66 & 26 & 1 \\ 26 & 676 & 1716 & 676 & 26 \\ 66 & 1716 & 4356 & 1716 & 66 \\ 26 & 676 & 1716 & 676 & 26 \\ 1 & 26 & 66 & 26 & 1 \end{pmatrix}. \quad (17)$$

Як було зазначено, для отримання швидкодіючої обчислювальної схеми достатньо розлого подати (16) з найменшою кількістю арифметичних операцій.

Високочастотні фільтри, відповідно до виразів (14) та (16), такі:

$$H(p^i) = \sum_{ii=i-2}^{i+2} \gamma_{\theta 1,ii} P_{ii}, \quad (18)$$

$$H(p^{i,j}) = \sum_{ii=i-2}^{i+2} \sum_{jj=j-2}^{j+2} \gamma_{\theta 2,ii,jj} P_{ii,jj}, \quad (19)$$

де
$$\gamma_{\theta 1} = \frac{1}{120} \begin{pmatrix} -1 \\ -26 \\ 54 \\ -26 \\ -1 \end{pmatrix}, \quad \gamma_{\theta 2} = \frac{1}{14400} \begin{pmatrix} -1 & -26 & -66 & -26 & -1 \\ -26 & -676 & -1716 & -676 & -26 \\ -66 & -1716 & 10044 & -1716 & -66 \\ -26 & -676 & -1716 & -676 & -26 \\ -1 & -26 & -66 & -26 & -1 \end{pmatrix}.$$

Оператори (16), (19), окрім задач субполосної фільтрації ЦЗ, було застосовано при вирішенні задач побудови контрастних фільтрів, комбінованих фільтрів різноманітного призначення, виділення контурів на зображеннях, кратномасштабного аналізу тощо.

Зворотна задача застосування контрастних фільтрів (фільтрів, зворотних до низькочастотних) в роботі подана так. Якщо має місце вираз (13), то

$$p_{i,j} = K(p_{H^{i,j}}), \quad i, j \in \mathbb{Z},$$

де $K(p_{H^{i,j}})$ – оператор контрастування. Для контрастування вихідного ЦЗ треба

застосувати оператор $K(p^{i,j})$ до кольорових складових початкового растру.

Для одновимірного випадку маємо

$$p_{H_i} = L(p^i), \quad i \in \mathbb{Z}, \quad \text{то} \quad p_i = K(p_{H^i}), \quad i \in \mathbb{Z},$$

де $K(p^i)$ – функціонал типу: $K(p^i) = \sum_{i \in \mathbb{Z}} \gamma_{K_i} p_i$,

при цьому визначення потребує маска γ_K . Рішення цієї задачі звелось до розв'язання системи лінійних алгебраїчних рівнянь. Остаточного розгорнутого подання одновимірного контрастного фільтра, зворотного до виразу (14) таке:

$$K(p^i) = \frac{1}{160574} (449520 p_i - 202800(p_{i-1} + p_{i+1}) + 73080(p_{i-2} + p_{i+2}) - 14144(p_{i-3} + p_{i+3}) - 609(p_{i-4} + p_{i+4})).$$

Оператор контрастування зворотний до виразу (16), для двовимірного випадку:

$$K(p^{i,j}) = \sum_{ii=i-4}^{i+4} \sum_{jj=j-4}^{j+4} \gamma_{K2,ii,jj} P_{ii,jj}, \quad i, j \in \mathbb{Z}, \quad (20)$$

де
$$\gamma_{K2} = \begin{pmatrix} 0,00001438 & 0,00033407 & -0,00172610 & 0,00478999 & -0,01061734 & \dots \\ 0,00033407 & 0,00775879 & -0,04008855 & 0,11124737 & -0,24658736 & \dots \\ -0,00172610 & -0,04008855 & 0,20713173 & -0,57479904 & 1,27408119 & \dots \\ 0,00478999 & 0,11124737 & -0,57479904 & 1,59509094 & -3,53562762 & \dots \\ -0,01061734 & -0,24658736 & 1,27408119 & -3,53562762 & 7,83695920 & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \end{pmatrix},$$

та коефіцієнти маски фільтра, визначається з урахуванням симетрії матриці γ_{K2} .

При обробці растрових зображень з випадковою вадою серед інших, може виникати завдання збільшення розміру вихідного зображення з вимогою згладжування, або придушення білого шуму. Відзначено, що для чотирикратного рекурентного поповнення кількості членів послідовності $\{p_{i,j,\kappa}\}_{i,j \in \mathbb{Z}}$, достатньо на кожному κ -му ($\kappa = 1, 2, \dots$) кроці рекурсії отримувати послідовність індексів, що визначають місцеположення новоутвореної послідовності в растрі, збільшеного вдвічі по вертикалі та горизонталі:

$$\{(2i, 2j), (2i+1, 2j), (2i, 2j+1), (2i+1, 2j+1)\}_{i,j \in \mathbb{Z}},$$

причому

$$p_{2i,2j,\kappa} = A(p^{\kappa-1,i,j}), \quad p_{2i+1,2j,\kappa} = B(p^{\kappa-1,i,j}),$$

$$p_{2i,2j+1,\kappa} = C(p^{\kappa-1,i,j}), \quad p_{2i+1,2j+1,\kappa} = D(p^{\kappa-1,i,j}), \quad i, j \in \mathbb{Z},$$

де $A(p^{\kappa-1,i,j})$; $B(p^{\kappa-1,i,j})$; $C(p^{\kappa-1,i,j})$; $D(p^{\kappa-1,i,j})$ – ЛФ, що побудовано на даних попереднього кроку рекурсії.

Зазначені ЛФ отримано за використанням подання (16) часткових випадків

двовимірного сплайну у вузлових точках. Наприклад:

$$A(p^{k-1,i,j}) = \frac{1}{14400} \left(p_{i-2,j-2,k-1} + p_{i+2,j-2,k-1} + p_{i-2,j+2,k-1} + p_{i+2,j+2,k-1} + 26(p_{i-1,j-2,k-1} + p_{i+1,j-2,k-1} + p_{i-2,j-1,k-1} + p_{i+2,j-1,k-1} + p_{i-2,j+1,k-1} + p_{i+2,j+1,k-1} + p_{i-1,j+2,k-1} + p_{i+1,j+2,k-1} + p_{i-2,j-1,k-1} + p_{i+2,j-1,k-1}) + 66(p_{i,j-2,k-1} + p_{i-2,j,k-1} + p_{i+2,j,k-1} + p_{i,j+2,k-1}) + 676(p_{i-1,j-1,k-1} + p_{i+1,j-1,k-1} + p_{i,j+1,k-1} + p_{i-1,j+1,k-1}) + 1716(p_{i-1,j,k-1} + p_{i,j-1,k-1} + p_{i+1,j,k-1} + p_{i,j+1,k-1}) + 4356 p_{i,j,k-1} \right). \quad (21)$$

Фактично ЛФ (21) та явне розкриття виразу (16) з точністю до індексації однакові, що зайвий раз підкреслює можна вирішувати як різні задачі за допомогою введених операторів, змінюючи лише обчислювальний аспект та конкретну постановку задачі обробки ЦЗ.

У роботі приділено окрему увагу обробці ЦЗ, отриманих в умовах мікроруку камери фіксації. Ця вада є поширеною під час нештативної фотозйомки або зйомки з платформи, що підлягає механічному впливу, наприклад, мікрівібрації (аерофотозйомка тощо). На відміну від інших наслідків мікроруку може бути усунено або значно нівельовано не тільки за рахунок апаратних засобів, але й методів на базі процедур математичної обробки у режимі реального часу.

На загал, у припущенні ізопланатичності системи спостереження для розподілу інтенсивності $I(x)$ зображення об'єкта, що формується в площині x його реєстрації, використовують відомий в літературі вираз вигляду:

$$I(X) = \int_{\Delta} O(Y) H(X-Y) dY,$$

де $O(Y)$ – розподіл інтенсивності відбиття від об'єкта світлового опромінювання в картинній площині y ; $H(X)$ – розподіл інтенсивності в зображенні осьового точкового джерела (імпульсний відклик або інакше – функція розсіювання точки системи); Δ – область фіксації. Якщо припускати, що спотворення вихідного зображення спричинене мікроруком камери фіксації, то, згідно зі зробленими зазначеннями, прийняттям для ЦЗ є подання

$$p_{i,j} = L(p_{i,j}) = \sum_{ii=i-r_i}^{i+r_i} \sum_{jj=j-r_j}^{j+r_j} \gamma_{ii-i,jj-j} p_{ii,jj}^{\circ}, \quad (22)$$

де всі позначення аналогічні введеним вище, окрім: $p_{ii,jj}^{\circ}$ – кольорова складова растру ідеального неспотвореного зображення; $\gamma_{ii-i,jj-j}$ – елемент маски низько-частотного фільтра. Позначаючи $\{p_{i,j}^*\}_{i,j \in \mathbb{Z}}$ – послідовність відповідної кольорової складової растру після цифрової стабілізації, в роботі введено до розгляду лінійні оператори $C(p^{i,j})$, такі, що $p_{i,j}^* = C(p^{i,j})$, $i, j \in \mathbb{Z}$, а якість стабілізації пропонується вважати прийнятною, якщо з урахуванням (22), виконується

$$p_{i,j}^* \approx p_{i,j}^{\circ}, \quad i, j \in \mathbb{Z}, \quad (23)$$

для відповідної маски γ :

$$C_l(p^{i,j}) = \sum_{ii=i-r_l}^{i+r_l} \sum_{jj=j-r_l}^{j+r_l} \gamma_{ii-i,jj-j}^{(l)} p_{ii,jj} \quad i, j \in \mathbb{Z}, \quad (24)$$

де $l = 1, 2, 3, 4$; $r_1 = r_2 = 3$; $r_3 = r_4 = 4$;

$$\gamma^{(l)} = \begin{pmatrix} 3,75457E-09 & 8,93587E-07 & 5,40282E-06 & -7,38748E-05 & \dots \\ 8,93587E-07 & 0,000212674 & 0,001285871 & -0,01758221 & \dots \\ 5,40282E-06 & 0,001285871 & 0,007774658 & -0,106305883 & \dots \\ -7,38748E-05 & -0,01758221 & -0,106305883 & 1,45356119 & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \end{pmatrix} \text{ та ін.} \quad (25)$$

Коефіцієнти масок $\gamma^{(l)}$, $l = \overline{1,4}$ визначаються з урахуванням симетрії матриць.

Для перевірки виконання умови (23) після застосування операторів (24) в роботі проведено експерименти на основі імітаційного моделювання привнесення випадкової мікровади, за властивостями аналогічній спричиненій мікроруком камери. Вважаємо, що у виразі (22) маска НЧ фільтру розміром 5×5 , така:

$$\gamma = \begin{pmatrix} \beta^2 & \alpha\beta - 4\beta^2 & \beta - 2\alpha\beta + 6\beta^2 & \dots \\ \alpha\beta - 4\beta^2 & (\alpha - 4\beta)^2 & (\alpha - 4\beta)(1 - 2\alpha + 6\beta) & \dots \\ \beta - 2\alpha\beta + 6\beta^2 & (\alpha - 4\beta)(1 - 2\alpha + 6\beta) & (1 - 2\alpha + 6\beta)^2 & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \end{pmatrix},$$

де α та β визначаються як рівномірно розподілені випадкові реалізації, що задовольняють умови $\alpha \in [0,05; 0,5]$, $\beta \in [0; 0,25\alpha]$.

Нехай n, m – лінійні розміри растра, $N = n \cdot m$ – кількість пікселів растра. Похибка відтворення зображення в кожному пікселі визначається так:

$$\varepsilon_{i,j} = p_{i,j}^* - p_{i,j}^{\circ}, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, m},$$

тоді середня похибка відтворення по кожній складовій – $\bar{\varepsilon} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \varepsilon_{i,j}$;

незсунена дисперсія похибки – $\sigma_{\varepsilon}^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (\varepsilon_{i,j} - \bar{\varepsilon})^2$.

Для перевірки виконання умови (23) застосовувалась міра відношення сигналу до шуму ($PSNR$), яка визначається так:

$$PSNR = 10 \cdot \lg(255^2 / \sigma_{\varepsilon}^2).$$

Загальний $PSNR$ визначається шляхом усереднення $PSNR$ кожної з кольорових складових ЦЗ. З аналізу результатів експерименту (таблиця) зроблено такі висновки. Запропоновані в роботі фільтри цифрової стабілізації мають перевагу перед фільтрами контрастування на основі функції Лапласа на 30–50 %, залежно від рівня завади, та мають перевагу перед фільтрами покращення різкості, поданими в Adobe PhotoShop CS2 (фільтри «резкість» та «резкість+» на 5–20 % відповідно).

Таблиця.

Усереднені значення *PSNR* після проведення експерименту

α	β_{\max}	Δ	$\gamma^{(0)}$	$\gamma^{(1)}$	$\gamma^{(2)}$	$\gamma^{(3)}$	$\gamma^{(4)}$	$\gamma_K^{(1)}$	$\gamma_K^{(2)}$	$\gamma_K^{(3)}$	N
[0.05;0.1)	0,02	27,525	42,867	48,559	41,813	36,208	31,967	41,31	34,896	29,498	55
[0.1;0.15)	0,032	28,838	46,717	51,593	45,391	38,542	33,713	44,662	37,191	31,169	48
[0.15;0.2)	0,046	31,11	48,756	47,905	48,305	42,031	36,405	47,358	41,828	34,756	39
[0.2;0.25)	0,055	32,449	47,77	45,81	48,02	43,684	38,104	45,559	42,3	35,918	38
[0.25;0.3)	0,067	34,157	44,58	42,794	45,122	44,147	39,531	43,195	41,76	36,813	56
[0.3;0.35)	0,073	36,572	40,991	39,7	41,436	42,847	40,64	40,4	40,511	37,866	43
[0.35;0.4)	0,09	36,363	38,709	37,878	39,01	40,616	39,888	38,266	38,43	36,283	40
[0.4;0.45)	0,095	36,349	38,056	37,319	38,327	40,122	40,168	37,678	37,879	35,715	42
[0.45;0.5)	0,097	34,015	36,046	35,683	36,208	37,139	37,175	35,61	35,222	33,245	39

Примітка: Δ – фільтр на основі функції Лапласа; $\gamma^{(l)}$, $\gamma_K^{(l)}$ – запропоновані в роботі комбіновані та контрастні фільтри; N – кількість проведених експериментів.

Четвертий розділ присвячено практичній реалізації дисертаційної роботи. У розділі вдосконалено ІТ обробки ЦЗ, наведено опис АС «Green Gerberga» для обробки ЦЗ, створеної на її основі та приклади практичного застосування.

У роботі *інформаційна технологія* обробки ЦЗ з використанням ПС, близьких до інтерполяційних у середньому, подана сукупністю методів та засобів для обробки ЦЗ, які забезпечують розв'язання поставлених задач – отримання інформації (зображення) нової поліпшеної якості (оригінального чи зміненого розміру) у режимі реального часу, є адекватними з точки зору оцінки якості апроксимації, невибагливі у реалізації в прикладному програмному забезпеченні. Виділено три основні етапи обробки ЦЗ. Перший етап – вибір способу обробки зображення залежно від суб'єктивних оцінок його стану та постановки задачі обробки. Другий (основний) полягає в проведенні обробки за використанням методів на базі ПС близьких до інтерполяційних у середньому (фільтрації, цифрової стабілізації, масштабування тощо). Третій – перегляд результатів обробки та прийняття рішення щодо її припинення або продовження. Загальна схема, яку подано у вигляді UML-діаграми (рис.1) відображає процес обробки даних (зображень) на основі вдосконаленої ІТ.

Перший етап. Для проведення обробки ЦЗ необхідно оцінити стан зображення – визначити розмір, переглянути гістограму, визначити рівень яскравості, різкості, перевірити наявність шумів, змазів тощо. Здійснити постановку задачі обробки ЦЗ (наприклад, приглушення шумів; поліпшення загальної яскравості – еквалізація гістограми зображення, ВЧ фільтрація за порогом; підвищення різкості – контрастування, метод цифрової стабілізації; зміна розміру зображення – метод масштабування зі згладжування, з контрастуванням тощо).

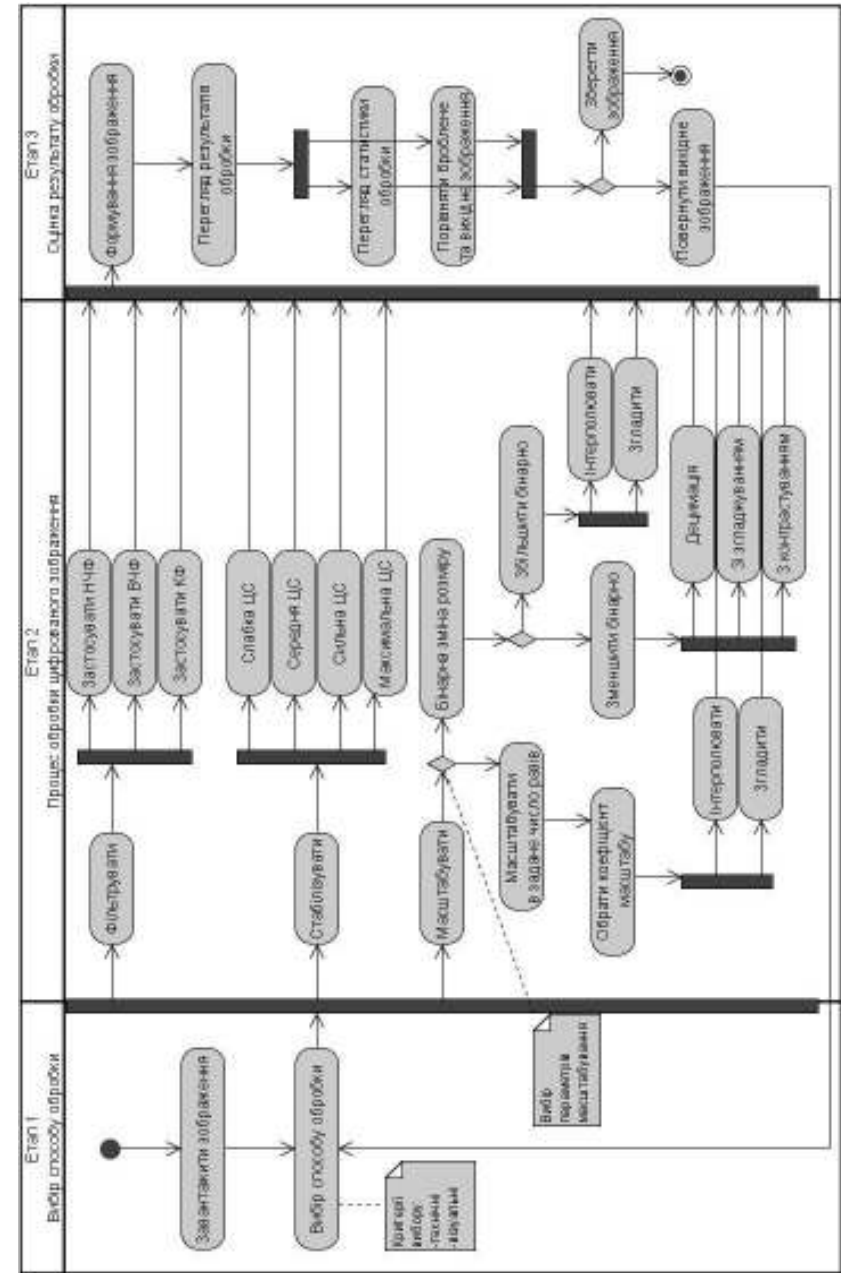


Рис.1. Загальна схема використання інформаційної технології обробки цифрованих зображень

Другий етап (основний) полягає в проведенні послідовних або паралельних дій із застосуванням певних процедур обробки стосовно поставлених задач.

1. Метод субполосної фільтрації зображень. Низькочастотна фільтрація застосовується при потребі «придушення» ВЧ-шумів (на зразок білого шуму), «видалення» подряпин, згладжування загального фону, розмиття зображення. Високочастотна фільтрація застосовується при потребі дослідження ВЧ-складової сигналу на ЦЗ, виділенні контурів, особливостей зображення. Контрастування використовують для підвищення різкості зображення. Рекомендовано при опрацюванні ЦЗ різного розміру та рівня деталізації застосовувати оператори на основі B -сплайнів $r = 2 - 5$ порядків. Для ЦЗ невеликого розміру або високого рівня деталізації слід обирати відомі оператори на основі B -сплайнів порядку $r = 2, 3$, як такі, що мають найбільшу швидкодію. Аналогічні рекомендації було надано для субполосної фільтрації та контрастування.

2. Метод цифрової стабілізації зображення дозволяє «видалити» наслідки мікроруху камери при фіксації ЦЗ, наявність змазів тощо. Рекомендовано обирати стабілізатори різної «потужності» залежно від ступеня НЧ-завади, розміру та деталізації ЦЗ. Із збільшенням розміру зображення рекомендовано застосовувати оператори з більш широкими масками відповідних фільтрів. Також при низькій деталізації слід застосовувати оператори більшого ступеня згладжування, а отже на основі B -сплайну більш високого порядку.

3. Масштабування ЦЗ. При необхідності зміни розмірів ЦЗ можливе використання як масштабування зі згладжуванням, з контрастуванням різних ступенів так і просте (інтерполяція, децимація). Масштабування може бути бінарне й небінарне відносно лінійних розмірів ЦЗ та неперервне. Застосування методу бінарного масштабування відбувається завдяки використанню часткових випадків ПС на зразок (21). Небінарне – лінійними операторами з масками отриманими на підставі прямого добутку одновимірних масок у виразі (11). Метод неперервного масштабування здійснюється за використанням явного вигляду ПС $S_{r,0}(p,t,q)$, $r = 2, 5$ для масштабування зі згладжуванням різної потужності та відомих уточнюючих сплайнів $S_{r,u}(p,t,q)$, $u = 1, 2$ – для інтерполяційного масштабування.

Третій етап полягає в оцінці ефективності обробки ЦЗ та прийняття рішення щодо її припинення або продовження. Якщо після перегляду прийнято рішення про задовільні результати та припинення обробки, ЦЗ треба зберегти. Якщо результати обробки виявились незадовільними, необхідно повернути вихідне зображення та повернутись на перший етап до вибору способу обробки, який тепер буде полягати у виборі іншого методу або фільтра іншої потужності.

Розроблена АС «Green Gerbera» призначена для обробки ЦЗ з метою покращення візуальної якості та зміни розміру. Серед можливостей системи такі, що повною мірою реалізують описану технологію обробки ЦЗ. АС «Green Gerbera» реалізована мовою програмування високого рівня Object Pascal в середовищі Borland Delphi 7.0. Вихідними даними для програми є цифрові зображення у форматах BMP та JPG. Організацію роботи користувача АС «Green Gerbera» подано у вигляді UML-діаграми (рис.2), яка відображає можливості АС та засоби їх вико-

нання. Наявність необхідних інструментів для обробки зображення дозволяє рекомендувати використання АС «Green Gerbera» в дослідженнях, що потребують обробки ЦЗ. Програма має реєстраційне свідоцтво.

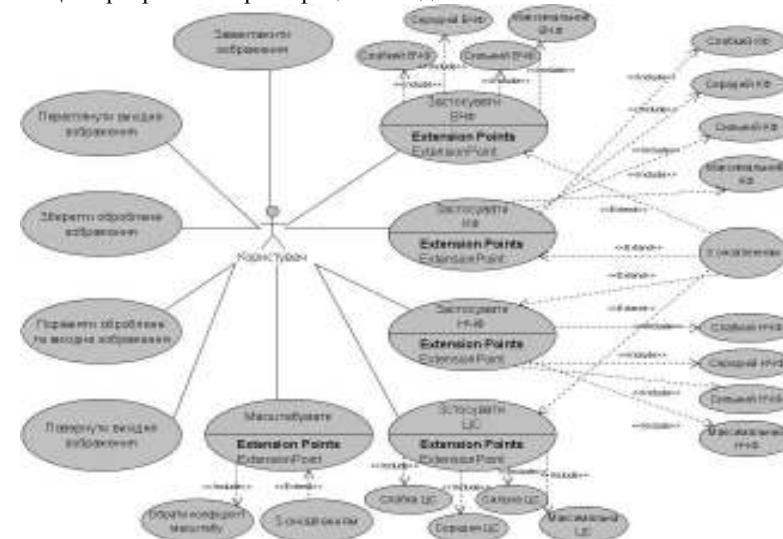


Рис. 2. Структурна схема відображення загальних можливостей АС «Green Gerbera»

Простота реалізації запропонованої ІТ в АС «Green Gerbera» засвідчує можливість поширення використання ІТ обробки ЦЗ на основі введених ПС і при розробці інших, більш функціонально насичених АС (або зорієнтованих на інші предметні задачі).

ВИСНОВКИ

У роботі вирішена науково-технічна задача вдосконалення інформаційної технології обробки цифрованих зображень шляхом розробки нових методів з використанням локальних поліноміальних сплайнів, близьких до інтерполяційних у середньому на основі B -сплайнів p 'ятого порядку.

1. Вперше отримано поліноміальні сплайни близькі до інтерполяційних у середньому, що є лінійною комбінацією B -сплайнів p 'ятого порядку для випадку однієї та двох змінних, та обґрунтовано використання двовимірного сплайна як моделі аналогового зображення, відтвореного на основі цифрового.

2. Вперше розроблено метод субполосної фільтрації та контрастування на базі лінійної комбінації поліноміальних сплайнів, близьких до інтерполяційних у середньому на основі B -сплайнів p 'ятого порядку, отримано фільтри з більшою шириною вікна ніж відомі, що дозволило в режимі реального часу обробляти цифровані зображення низької деталізації та більш високого розрешення.

3. Вперше розроблено метод цифрової стабілізації зображень з використанням комбінованих фільтрів на основі B -сплайнів p 'ятого порядку, що дозволило

покращити якість зображень, поданих з завадою, спричиненою мікрорухома камери фіксації, на 30–50 % за статистичною оцінкою відхилення, залежно від рівня завади.

4. Набула подальшого розвитку інформаційна технологія обробки цифрованих зображень на базі розроблених методів з використанням лінійних операторів, які отримано на основі локальних поліноміальних сплайнів, близьких до інтерполяційних у середньому, що дозволило забезпечувати збільшення лінійних розмірів вихідних растрів (не менше ніж у 2 рази) та обробляти зображення більш низької деталізації.

5. Розроблено та впроваджено АС «Green Gerbera» для обробки цифрованих зображень, що реалізує ІТ на основі нових методів; практичні результати обробки цифрованих зображень використано в Інституті проблем ресстрації інформації НАН України; Науковому центрі аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України; в початковому процесі Національного авіаційного університету та Дніпропетровського національного університету ім. О. Гончара МОН України.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ПРАЦЬ

1. Приставка П.О. Дослідження *B*-сплайна п'ятого порядку та їх лінійної комбінації / П.О. Приставка, О.Г. Чолишкіна // Математичне моделювання. –2007. –№1 (16). –С. 14–17.

2. Приставка П.О. Дослідження двовимірного сплайна на основі *B*-сплайнів п'ятого порядку / П.О. Приставка, О.Г. Чолишкіна // Актуальні проблеми автоматизації та інформаційних технологій: зб. наук. праць. – Д.: Вид-во Дніпропетр. ун-ту. – 2008. – Т. 12. – С. 14-27.

3. Чолишкіна О.Г. Застосування поліноміальних сплайнів на основі *B*-сплайнів п'ятого порядку під час побудови фільтрів / О.Г. Чолишкіна // Вісн. НАУ. – К.: НАУ. – 2009.-№1. –С. 214–218.

4. Приставка П.О. Дослідження комбінованих фільтрів для підвищення різкості зображень / П. Приставка, О. Чолишкіна // Актуальні проблеми автоматизації та інформаційних технологій : зб. наук. праць. – Д.: Вид-во Дніпропетр. ун-ту. – 2009. -Т.13. –С.39–53.

5. Приставка П.О. Автоматизована система обробки цифрованих зображень «Green Gerbera» / П.О. Приставка, О.Г. Чолишкіна // Матеріали ІХ міжнар. наук.-техн. конф. «Авіа-2009». – Т.1. – К.: НАУ 2009. С.5.101 – 5.104.

6. Приставка П.О. Поліноміальний сплайн на основі *B*-сплайнів п'ятого порядку / П.О. Приставка, О.Г. Чолишкіна // Проблеми математичного моделювання : тези 11-ї міжнар. наук.-методич. конф. –Дніпродзержинськ, РВВ ДДТУ. –2007.-С.41-42.

7. Приставка П.О. Лінійні функціонали, як часткові випадки поліноміального сплайну на основі *B*-сплайнів п'ятого порядку / П.О. Приставка, О.Г. Чолишкіна // Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем (MPZIS-2008) : тези доп. VI міжн. наук.-практ. конф. – Д.: Вид-во Дніпропетр. ун-ту. – 2008. – С.257–258.

8. Приставка П.О. Високочастотні фільтри для обробки цифрованих зображень / П.О. Приставка, О.Г. Чолишкіна // Проблеми математичного моделювання: тези 13-ї міжнар. наук.-методич. конф. –Дніпродзержинськ, РВВ ДДТУ. –2009. – С.157–159.

9. Чолишкіна О.Г. Лінійні фільтри для обробки цифрованих зображень / О.Г. Чолишкіна // Системний аналіз та інформаційні технології: Матеріали ХІ міжнар. наук.-техн. конф. – К.: ННКА «ІПСА» НТУУ «КПІ», 2009. – С.591.

10. Чолишкіна О.Г. Інформаційне забезпечення обробки цифрованих зображень в програмному середовищі «GREEN GERBERA» / О.Г. Чолишкіна // Комп'ютерні системи та мережні технології (CSNT-2009): тези II міжнар. наук.-техн. конф. – К.: Вид-во Нац. авіац. ун-ту «НАУ-друк», 2009. – 96 с.

11. Приставка П.О. Лінійні оператори цифрової стабілізації зображень / П.О. Приставка, О.Г. Чолишкіна // Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем (MPZIS-2009): доп. VII міжнар. наук.-практ. конф. – Д.: Вид-во Дніпропетр. ун-ту. – 2009. –С.231.

АНОТАЦІЯ

Чолишкіна О.Г. «Інформаційна технологія обробки цифрованих зображень за використанням *B*-сплайнів п'ятого порядку». – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – Інформаційні технології. – Національний авіаційний університет, м. Київ, 2010р.

Дисертаційну роботу присвячено вдосконаленню інформаційної технології обробки цифрованих зображень з використанням локальних поліноміальних сплайнів близьких до інтерполяційних у середньому. Вперше отримано явний вигляд *B*-сплайна п'ятого порядку, його лінійну комбінацію, що за фактом є локальним поліноміальним сплайном близьким до інтерполяційного у середньому, значення норми та оцінку якості апроксимації. Запропоновано метод субполосної фільтрації та контрастування зображень. Розроблено метод цифрової стабілізації, що дозволяє покращити якість зображень, спотворених мікрорухома камери фіксації, на 30–50 % за статистичною оцінкою залежно від рівня завади. Набула розвитку інформаційна технологія обробки зображень, яку реалізовано в автоматизованій системі «Green Gerbera» та протестовано при обробці даних, отриманих при дистанційному зондуванні Землі та зображень поверхневих структур мікропризмових елементів, отриманих за допомогою мікроскопу.

Ключові слова: *B*-сплайн, сплайн, близький до інтерполяційного у середньому, цифровані зображення, фільтрація, цифрова стабілізація.

АННОТАЦІЯ

Чельшкіна О.Г. «Информационная технология обработки цифровых изображений с использованием *B*-сплайнов пятого порядка». – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – Информационные технологии. – Национальный авиационный университет, г. Киев, 2010.

Диссертационная работа посвящена вопросам усовершенствования информационной технологии обработки цифровых изображений за счет разработки новых методов с использованием линейных комбинаций локальных полиномиальных сплайнов на основе B -сплайнов пятого порядка.

В работе получен и исследован явный вид B -сплайна пятого порядка для построения базиса в пространстве полиномов. Для случая одной и двух переменных получены локальные полиномиальные сплайны, близкие к интерполяционному в среднем, на базе B -сплайнов пятого порядка, которые используются для обработки данных, как в явном виде, так и для получения линейных фильтров. Исследованы свойства данных сплайнов: получено значение нормы сплайн-оператора, оценка качества аппроксимации, что позволяет сделать обобщения про подобные оценки для сплайнов другой, более высокой степени полинома чем известные, получены частные случаи введенных сплайнов для дальнейших исследований.

Разработан метод субполосной фильтрации и контрастирования цифровых изображений. Субполосная фильтрация реализуется низкочастотным и высокочастотным фильтрами в одномерном и двухмерном случаях. Контрастные фильтры получены как обратные к соответствующим низкочастотным. В работе представлены маски с большей шириной окна, по сравнению с аналогичными фильтрами, которые известны. За счет этого метод субполосной фильтрации и контрастирования позволяет в режиме реального времени обрабатывать цифровые изображения низкой детализации и более широкого разрешения.

Доработан метод бинарного пополнения последовательностей отсчетов непрерывных функций, результатом чего стала разработка вычислительных схем масштабирования со сглаживанием цифровых изображений.

Впервые разработан метод цифровой стабилизации изображений, полученных в условиях микродвижения камеры фиксации, который заключается в использовании комбинированных фильтров на основе B -сплайнов пятого порядка. Для подтверждения эффективности предложенных цифровых стабилизаторов были проведены экспериментальные исследования на основе имитационного моделирования. На изображение высокого качества накладывалась смоделированная низкочастотная помеха, имитирующая смаз изображения при микродвижении (дрожание рук при нештативной съемке, вибрации при съемке с летательных аппаратов и т.д.). Далее изображение обрабатывалось отдельно предложенными в работе стабилизаторами и контрастным фильтром, на основе функции Лапласа как наиболее часто используемого в современных программных средствах обработки изображений. Результаты обработки сравнивались с эталоном (начальным изображением высокого качества) статистическими методами (относительная погрешность, совпадение средних, совпадение дисперсий, PSNR и т.д.). Проведенные экспериментальные исследования показали преимущества предложенных цифровых стабилизаторов – данный метод позволяет улучшить качество обрабатываемых цифровых изображений на 30–50 % в зависимости от уровня помехи за статистической оценкой отклонения. Подобные эксперименты имели место при сравнении предложенных в работе стабилизаторов с фильтрами повышения резкости, представленными в программном обеспечении с закрытым ко-

дом – Adobe Photoshop CS2 («Резкость» и «Резкость+»). По результатам сделаны выводы о целесообразности применения конкретных стабилизаторов при разном уровне помехи. Предложенные в работе фильтры показали лучшие результаты по сравнению с фильтрами Photoshop при всех уровнях помехи.

Получила дальнейшее развитие информационная технология обработки цифровых изображений, что позволило обрабатывать изображения большего разрешения (не менее чем в 2 раза) и низкой детализации. Информационная технология реализована в разработанной автоматизированной системе «Green Gerbera» для обработки цифровых изображений. «Green Gerbera» позволяет в режиме реального времени обрабатывать изображения форматов JPEG и BMP, предложенными в работе методами. Система зарегистрирована (свидетельство про регистрацию авторского права №30102). Простота реализации свидетельствует о возможности распространения использования информационной технологии обработки цифровых изображений на базе введенных полиномиальных сплайнов при разработке других автоматизированных систем (более функционально насыщенных или сориентированных на другие узкоспециализированные потребности). Новые методы подтвердили свою эффективность при внедрении автоматизированной системы «Green Gerbera» для решения задач, целью которых являлось улучшения визуального качества и масштабирования изображений, полученных при дистанционном зондировании Земли и изображений поверхностных структур микропризмных светоотражающих элементов, полученных с помощью микроскопа для дальнейших исследований.

Ключевые слова: B -сплайн, сплайн, близкий к интерполяционному в среднем, цифровые изображения, фильтрация, цифровая стабилизация.

ABSTRACT

Cholyshkina O.G. «Information technology of digital image using B -splines of fifth order». – Manuscript.

Thesis for the Ph.D. (candidate of technical science), specialty 05.13.06 - Information Technologies. – National aviation university, Kiev, 2010.

The thesis is dedicated to improving information technology digital images by using new methods with application of the local polynomial splines, related to the interpolator on average. For the first time an explicit form of B -spline in the fifth order, got its linear combination, which in fact is a local polynomial spline, related to the interpolator on average, got norm and evaluation standards as specified spline approximation, developed subbandes filtering method and image contrast, improved method of binary sequences replenishment periods of smooth functions, the first method of stabilization of digital images corrupted by moving of camera capture. Methods proven to creation of an computerized processing system digital images obtained by remote sensing with space vehicles and surface structures of the microprismatic light-reflective elements views by microscope.

Keywords: B -spline, splines on the base of B -splines, related to the interpolator on average, digital image, filtering, digital stabilization.