

СКЛАДОВІ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ОБРОБКИ ЦИФРОВАНИХ ЗОБРАЖЕНЬ НА ОСНОВІ ЛОКАЛЬНИХ ОПЕРАТОРІВ

Розглянуто представлення інформаційної технології, що дає змогу обробки цифрованих зображень великого розміру. В якості апарата реалізації пропонується використання лінійних функціоналів, як найбільш швидкодійних, на основі лінійних комбінацій *B*-сплайнів.

Постановка проблеми. Стрімкий розвиток сучасних інформаційних технологій демонструє сталу тенденцію до необхідності обробки даних у обсягах, що постійно збільшуються. З розвитком технічних засобів зйомки розрішення зображень, отриманих за допомогою сучасних камер фіксації збільшується тим далі де більше. При цьому, якщо апаратні можливості комп'ютерної техніки для обробки зображень стабільно нарощуються з року в рік, то поява математичного забезпечення, актуального до зростання обсягів даних, має певну інертність. Зрозуміло, що матеріально-технічна собівартість технологій обробки суто за використанням математичних перетворень – мінімальні у порівнянні з існуючими. Задача досліджень може стояти лише в доведенні ефективності математичної обробки до рівня задоволення потреб споживачів. Проте, у зв'язку з комерціалізацією науки, значна кількість новітніх досліджень носять закритий характер. Окрім закритості програмного коду варто відмітити й загальний недолік для практично всіх програмних продуктів обробки зображень – низьку наявність у відкритому друці опису, насамперед, обчислювальних технологій, що реалізують ту, чи іншу підзадачу обробки. Останнє є суттєвим фактором стримування розвитку подібних систем на вітчизняному ринку та при підготовці відповідних фахівців в Україні.

З погляду розробки швидкодієвих алгоритмів обробки цифрованих зображень, природнім є приділити увагу побудові методів що базуються на використанні лінійних локальних операторів, як таких, що мають мінімальну кількість простіших арифметичних операцій при реалізації у обчисленнях у порівнянні з іншими. Саме тому дану статтю присвячено розробці складових інформаційного забезпечення автоматизованої обробки цифрованих зображень, в умовах постійного зросту їх розрішення за використанням лінійних комбінацій *B*-сплайнів.

Аналіз досліджень та постановка задачі. Існуючи можливості цифрової обробки зображень можливо класифікувати наступним чином.

1. Обробка зображення безпосередньо в камері фіксації за допомогою наявності відповідного програмного забезпечення. Стабілізація зображення – це технологія, яка дозволяє механічно компенсувати власні кутові рухи камери для запобігання змазування зображення при великих витримках. Цифрова стабілізація зображення, окрім компенсації руху камери, дозволяє повністю або частково компенсувати рух одного з об'єктів в кадрі та покращити якість зображення завдяки зменшенню змазування важливих деталей сюжету. В основі цифрової стабілізації зображень закладений математичний апарат, за допомогою якого створені цифрові фільтри для обробки кольорових складових даних. Інформаційна технологія цифрової стабілізації реалізується в відповідному програмному забезпеченні для ПК.

2. Використання існуючих комп'ютерних програм для обробки цифрованих зображень, які доступні на ринку інформаційних технологій. Серед них, не зменшуючи загальності, зазначимо такі: Nero Photo Show Deluxe, ACDSee Photo Manger, Adobe Photoshop, тощо. Найвідоміший фоторедактор серед програм першого класу є Adobe Photoshop. Вагомою перевагою Photoshop є можливість користувача перед друком зображення задати необхідний рівень dpi, який був би сумісний з можливостями друкуючого пристрою. Основним недоліком програм цього класу є висока вартість ліцензійних версій та дуже великий розмір. Закритий програмний код, у свою чергу, обмежує користувачів у розширенні функціональних можливостей, залежно від конкретних нестандартних задач опрацювання, що можуть виникати в дослідницькій практиці.

3. Створення власних алгоритмів на основі відомих методів обробки зображень та сигналів в математичних пакетах (наприкладі середовища MatLab). Для цього пакету існує можливість

створення спеціальних наборів інструментів (англ. toolbox), які поширюють його функціональні можливості. *Image Processing Toolbox* – основний набір функцій для обробки цифрованих зображень, який надає MatLab. Функції цього пакету дозволяють: покращити зображення шляхом еквалізації гістограми; збільшити контраст шляхом розтягнення значень інтенсивності динамічного діапазону; бінарне перетворення зображення; морфологічну обробку; виділення контурів (фільтр Собела, Канні []); гамма корекція; видалення шуму (лінійна, медіана, адаптивна фільтрація); відновлення зображення шляхом усунення розмитості (вінерівська фільтрація [], регуляційний фільтр, метод Лакі-Річардсона [], метод сліпої деконволюції []); кольорові перетворення; арифметичні дії над зображеннями; збільшення зображення («по найближчому сусіду», бікубічна, білінійна інтерполяція); оберт, зсув; лінійна фільтрація (середнє зважене, КІХ-фільтри); реконструкцію зображення за допомогою перетворень Фур'є та Радона. *Filter Design Toolbox* – система функцій, розроблена як доповнення до системи *Signal Processing* (обробки сигналів). Пакет містить функції, які спрощують створення фільтрів та аналіз ефектів дискретизації. До переваг MatLab слід віднести можливість створювати та компонувати фільтри на базі відомих. До недоліків програми слід віднести: відсутність компілятора в машинний код; не дуже зручне стикування з іншими мовами програмування, дуже висока ціна, адже пакет є суто комерційним; тяжке сприйняття та тривале освоєння для звичайного користувача. За фактом, неможливо створювати автоматизовану систему обробки зображень, яка б характеризувалась усіма властивостями програмного продукту.

4. Спеціальні приватні інформаційні системи для обробки визначеного класа зображень (системи дистанційного зондування Землі (ДДЗ), геоінформаційні системи (ГІС), тощо). Ці комерційні програмні продукти розроблені для вузькоспеціалізованих потреб та не призначені для широко користування адже є власністю приватних компаній.

Виклад основного матеріалу. В роботі пропонується методологія створення інформаційної технології обробки цифрованих зображень за використанням саме поліноміальних сплайнів, близьких до інтерполяційних у середньому на базі B -сплайнів. Потреба у подібній методології може виникати при необхідній відповідності математичного забезпечення задач опрацювання цифрованих зображень тим реальним даним, що ці зображення подають. Наприклад, для урахування тенденцій до зростання розмірів цифрованого знімку.

Методологія створення ІТ обробки цифрованих зображень полягає у наступному.

1. *Вибір апарата інформаційної технології.* В якості математичного підґрунтя обрано локальні поліноміальні сплайни близькі до інтерполяційних у середньому на основі B -сплайнів як апроксимуючий апарат, що дозволяє створити прості алгоритмічні схеми для опрацювання цифрованих даних (зокрема зображень) в режимі реального часу. До переваг таких сплайнів варто віднести можливість подання їх у явному вигляді, зручність отримання часткових випадків, відомі оцінки якості апроксимації та величини норм, що привносить суттєву об'єктивну інформативність кінцевим отриманим операторам.

2. *Отримання B -сплайну більш широкого носія, ніж існуючи.* Для створення математичної основи обробки зображень збільшеного розміру необхідно отримати рекурентно явний вигляд B -сплайну наступного r -го порядку ніж відомі. Приклад наведено в [1, 8].

3. *Отримати сплайни близькі до інтерполяційних у середньому на основі отриманого B -сплайну для випадку однієї та двох змінних та їх лінійну комбінацію.* В залежності від парності r маємо співвідношення для шуканого одновимірного сплайну $S_{r,0}(p,t)$:

$$S_{r,0}(p,t) = \begin{cases} \sum_{i \in \mathbb{Z}} p_i B_{r,h}(t - (i + 0,5)h), & r = 2k, \\ \sum_{i \in \mathbb{Z}} p_i B_{r,h}(t - ih), & r = 2k - 1. \end{cases},$$

Для двовимірного випадку $S_{r,0}(p,t,q)$ визначається наступним чином:

$$S_{r,0}(p,t,q) = \begin{cases} \sum_{i \in \mathbb{Z}} \sum_{j \in \mathbb{Z}} B_{r,h_t}(t - (i + 0,5)h_t) B_{r,h_q}(t - (i + 0,5)h_q) p_{i,j}, & r = 2k, \\ \sum_{i \in \mathbb{Z}} \sum_{j \in \mathbb{Z}} B_{r,h_t}(t - ih_t) B_{r,h_q}(q - jh_q) p_{i,j}, & r = 2k - 1. \end{cases} \quad (1).$$

Для отримання лінійної комбінації зазначених сплайнів корисно скористатись алгоритмом наведеним в [1].

4. *Дослідити властивості отриманих сплайнів.* Для отримання значення оцінки якості апроксимації заданої функції $p(t)$, істинне значення якої в вузлах $p_i = \bar{p}_i + \varepsilon_i$, необхідно оцінити відхилення

$$|p(t) - S_{r,0}(p,t)| = |p(t) - S_{r,0}(\bar{p},t) - S_{r,0}(\varepsilon,t)|,$$

або нерівність

$$|p(t) - S_{r,0}(p,t)| \leq |p(t) - S_{r,0}(\bar{p},t)| + \varepsilon \|S_{r,0}(p,t)\|.$$

Подальша задача оцінки якості відтворення $p(t)$ складається з двох етапів: знаходження норми сплайн-оператора $S_{r,0}(p,t)$ і задача визначення похибки відтворення. Зокрема, для сплайну третього порядку подані та доведені теореми [1].

5. *Отримати часткові випадки сплайну однієї та двох змінних.* Для подальшої побудови фільтрів необхідно отримати часткові випадки сплайну $S_{r,0}(p,t)$ та $S_{r,0}(p,t,q)$ скориставшись його матричним представленням

$$S_{r,0}(p,t) = \sum_i p_i \sum_{c=0}^r \gamma_{i,c}^{(r,0)} x^c,$$

$x = 2(t - (i + 0,5)h)/h$, $|x| \leq 1$ при парних значеннях r , та $x = 2(t - ih)/h$, $|x| \leq 1$, при непарних. Для двовимірного випадку аналогічно.

6. *Отримати маски низькочастотних фільтрів (НЧФ).* Враховуючи отриману якість апроксимації для знаходження низькочастотних фільтрів розглянемо значення сплайни операторів у вузлах розбиттів Δ_h та Δ_{h_t, h_q} .

В цьому разі – $x = 1$ для одновимірного випадку:

$$S_{r,0}(p, ih) = \sum_j \gamma_{1,j}^{(S_{r,0})} p_j,$$

де $\gamma_{1,j}^{(S_{r,0})}$ - маска низькочастотного фільтру.

Для двовимірного випадку –

$$S_{r,0}(p, ih_t, jh_q) = \sum_{i_t} \sum_{j_q} \gamma_{2,i_t,j_q}^{(S_{r,0})} p_{i_t,j_q}.$$

Прикладом низькочастотних фільтрів можуть бути оператори, отримані на базі В-сплайну третього порядку:

$$\gamma_{11}^{(S_{3,0})} = \frac{1}{6} \begin{pmatrix} 1 \\ 4 \\ 1 \end{pmatrix}, \quad \gamma_{22}^{(S_{3,0})} = \frac{1}{36} \begin{pmatrix} 1 & 4 & 1 \\ 4 & 16 & 4 \\ 1 & 4 & 1 \end{pmatrix}.$$

7. *Отримати маски високочастотних фільтрів (ВЧФ).* Високочастотні фільтри на основі розглянутих сплайнів отримуємо з рівності

$$p_i = \rho_{H_i} + \rho_{V_i}, \quad i \in Z,$$

де ρ_{H_i} , ρ_{V_i} - низько- та високочастотні складові відповідно.

Приклади високочастотних фільтрів типу

$$p\vartheta_{i,j} = H(p^{i,j}),$$

та їх розгорнутого представлення для програмування подано в [5].

8. *Отримати маски контрастних фільтрів (КФ).* Контрастні фільтри знаходяться, як об'єрнені до низькочастотних. Технологія отримання фільтрів наведено в [4]. Прикладом можуть бути наступні оператори:

$$\gamma_K^{(S_{2,0})} = \frac{1}{34} \begin{pmatrix} 1 \\ -8 \\ 48 \\ -8 \\ 1 \end{pmatrix}, \quad \gamma_{K_2}^{(S_{2,0})} = \frac{1}{1156} \begin{pmatrix} 1 & -8 & 48 & -8 & 1 \\ -8 & 64 & -384 & 64 & -8 \\ 48 & -384 & 2304 & -384 & 48 \\ -8 & 64 & -384 & 64 & -8 \\ 1 & -8 & 48 & -8 & 1 \end{pmatrix}$$

9. *Отримати обчислювальні схеми неперервного масштабування.* В якості таких схем варто обирати явні вигляди отриманих сплайнів.

10. *Отримати швидкодійні схеми масштабуваннякісні (бінарні та небінарні відносно лінійних розмірів оператору Subdivision).* Приклад чотирикратного поповнення зі згладжуванням двовимірних послідовностей відліків гладких функцій (двократного масштабування) на підставі двовимірного сплайну (3) наведено в [3].

11. *Отримати комбіновані фільтри.* Під комбінованими фільтрами варто розуміти оператори над різноманітними операторами фільтрації. За подібним підходом, в силу лінійності операторів, можна отримувати функціонали з різноманітними властивостями. Приклади комбінованих фільтрів, які вирішують задачі цифрової стабілізації та контрастування наведено в [2,6]. Нижче наведено один з них:

$$\gamma_2^{**} = \frac{1}{3136} \begin{pmatrix} 1 & 8 & -74 & 8 & 1 \\ 8 & 64 & -592 & 64 & 8 \\ -74 & -592 & 5476 & -592 & -74 \\ 8 & 64 & -592 & 64 & 8 \\ 1 & 8 & -74 & 8 & 1 \end{pmatrix}.$$

12. *Проведення експериментальних досліджень.* В якості проведення можливих експериментів пропонується приклад дослідження роботи цифрових стабілізаторів в [2].

12. *Розробка автоматизованої системи обробки цифрованих зображень.* Прикладом втілення інформаційної технології може бути автоматизована система обробки цифрованих зображень «Green Gerbera» [7].

Викладена технологія побудови була застосована при отриманні інформаційної технології обробки цифрованих зображень за використанням функціоналів, отриманих на основі лінійних комбінацій B -сплайнів, близьких до інтерполяційних у середньому.

Можливе виділення трьох основних етапів обробки цифрованих зображень. Перший етап – вибір способу обробки зображення в залежності від суб'єктивних оцінок його стану та постановки задачі обробки. Другий (основний) полягає в проведенні обробки за використанням методів на базі поліноміальних сплайнів 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 представлено у вигляді UML-діаграми (рис.1) відображає процес обробки даних (зображень) на основі розробленої інформаційної технології.

Перший етап. Для проведення обробки цифрованого зображення необхідно зробити оцінку загального стану – визначити (візуально) розмір зображення, переглянути гістограму, визначити рівень яскравості, різкості, перевірити наявність шумів, подряпин, змазів тощо.

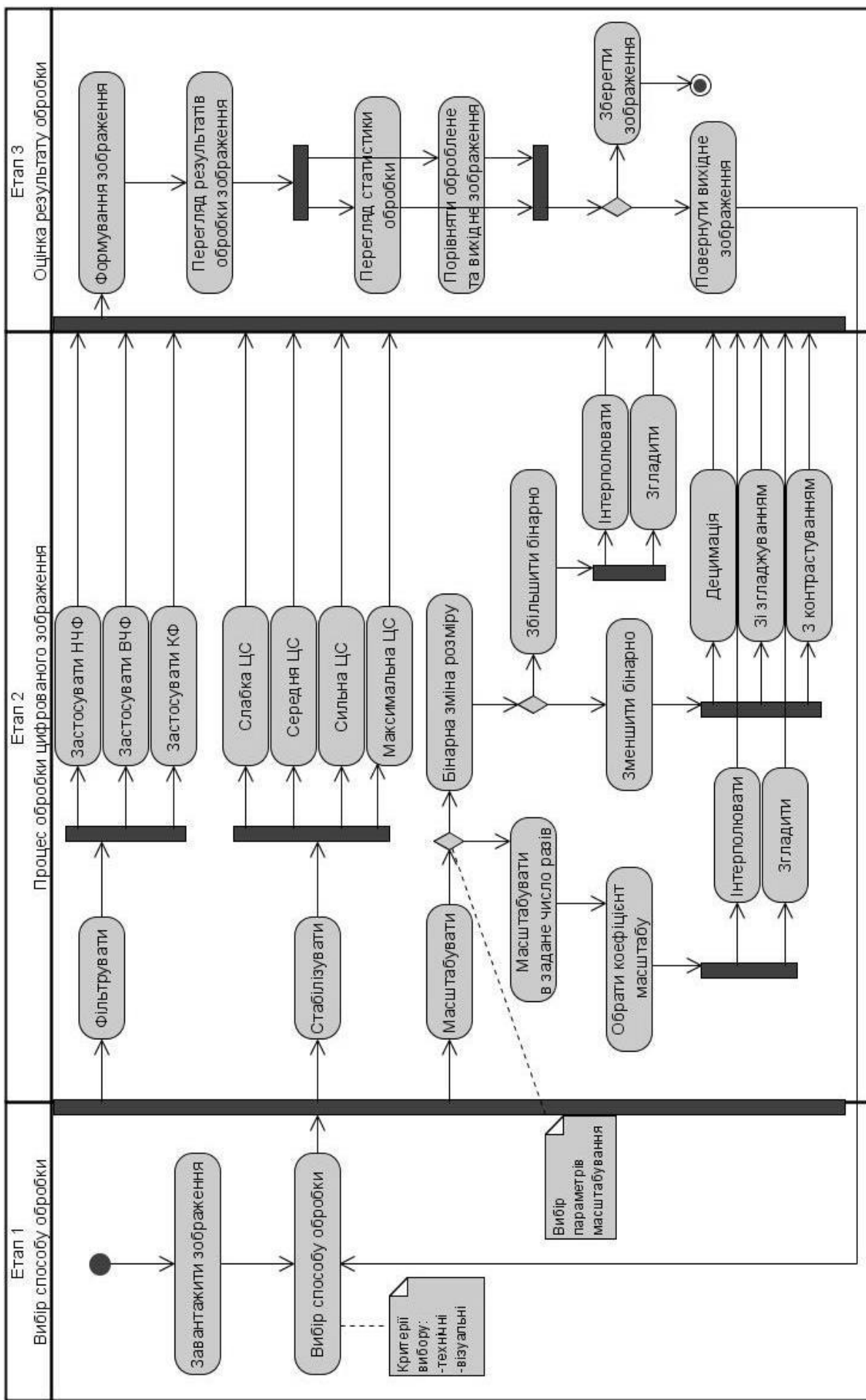


Рис.1. Інформаційна технологія обробки цифрових зображень.

Зробити постановку задачі обробки зображення (наприклад, приглушення шумів – метод субполосної фільтрації; 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). При постановці увагу також треба зосередити на потребах згладжування або навпаки уточнення деталей зображення та самого ступеня згладжування і, в залежності від цього, обирати певний спосіб обробки.

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 «заглушування» 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 цифрованих зображень різного розміру та рівня деталізації застосовувати оператори на основі B -сплайнів $r = 2 - 5$ порядків. Для зображень невеликого розміру або високого рівня деталізації слід обирати оператори на основі B -сплайнів порядку $r = 2, 3$, як такі, що мають найбільшу швидкість. Із збільшенням розміру зображення рекомендовано переходити до застосування операторів 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.

2. Метод цифрової стабілізації зображення дозволяє «видалити» наслідки мікроруху камери при фіксації цифрованих зображень, незначних змазів тощо. Проведені в [2] тестування оператору цифрової стабілізації, показали доречність використання введених стабілізаторів у порівнянні з контрастуючими фільтрами на основі функції Лапласу та з фільтрами представленими у програмному забезпеченні із закритим кодом. Також як і випадку субполосної фільтрації, рекомендовано обирати стабілізатори різної «потужності» залежно від ступеня НЧ-завади, розміру та деталізації зображення.

3. Масштабування цифрованих зображень. Масштабування може бути бінарне й небінарне відносно лінійних розмірів зображення та неперервне. Застосування методу бінарного масштабування відбувається завдяки використанню часткових випадків поліноміальних сплайнів. Небінарне – лінійними операторами з масками отриманими на підставі прямого добутку одновимірних масок. Метод неперервного масштабування здійснюється за використанням безпосередньо явного вигляду $S_{r,0}(p,t,q)$, $r = 2, 5$ для масштабування зі згладжуванням різної потужності та $S_{r,u}(p,t,q)$, $u = 1, 2$ – для інтерполяційного масштабування [1].

Третій етап полягає в оцінці ефективності обробки та прийняття рішення щодо її припинення або продовження. Як видно (рис.1), оцінка ефективності обробки можлива за використанням суб'єктивних та об'єктивних факторів, а саме візуальної оцінки змін на обробленому зображенні у порівнянні з вихідним та шляхом перегляду статистики порівняння вхідного та обробленого зображень [2]. Якщо після перегляду прийнято рішення про задовільні результати та припинення обробки, зображення треба зберегти. Якщо результати обробки виявились незадовільними, необхідно вернути вихідне зображення та повернутись на перший етап до вибору способу обробки, який тепер буде полягати у виборі іншого методу або фільтру іншої потужності.

Висновки. В роботі розроблено складові інформаційного забезпечення автоматизованої обробки цифрованих зображень за використанням B -сплайнів. Подано методiku та приклад створення інформаційної технології спрямованої для обробки зображень збільшеного розміру. Простота реалізації запропонованої інформаційної технології в автоматизованих системах засвідчує можливість поширення використання інформаційної технології обробки цифрованих зображень на основі введених поліноміальних сплайнів і при розробці функціонально насичених автоматизованих систем, які зорієнтовано на предметні задачі.

Бібліографічні посилання

1. Приставка П.О. Поліноміальні сплайни при обробці даних / П.О. Приставка. – Д.: Вид-во Дніпропетр. ун-ту, 2004. – 236 с.
2. Приставка П.О. Дослідження комбінованих фільтрів для підвищення різкості зображень / П.О. Приставка, О.Г. Чолишкіна // Актуальні проблеми автоматизації та інформаційних технологій : зб. наук. праць. – Д.: Вид-во Дніпропетр. ун-ту. – 2009. –Т.13. – С.39–53.
3. Приставка П.О. Поповнення зі згладжуванням послідовностей відліків функцій двох змінних на основі сплайнів / П.О. Приставка // Математичне моделювання. – 2008. – №1(18). – С.9 – 12.
4. Приставка П.О. Побудова контрастних фільтрів за використанням поліноміальних сплайнів / П.О. Приставка // Актуальні проблеми автоматизації та інформаційних технологій. – Д.: Вид-во Дніпропетр. ун-ту. – 2007. – Т. 11. – С. 15–22.
5. 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.
6. Приставка П.О. Застосування комбінованих фільтрів на основі поліноміальних сплайнів при обробці растрових зображень / П.О. Приставка // Вісн. НАУ. – К.: НАУ. – 2008. –№4. –С. 104–107.
7. Приставка П.О. Автоматизована система обробки цифрованих зображень «Green Gerbera» / П.О. Приставка, О.Г. Чолишкіна //Матеріали ІХ міжнар. наук.-техн. конференції «Авіа-2009». – Т.1. – К.: НАУ 2009. – С.5.101 – 5.104.
8. Чолишкіна О.Г. Застосування поліноміальних сплайнів на оснві *B*-сплайнів п'ятого порядку під час побудови фільтрів / О.Г. Чолишкіна // Вісн. НАУ. – К.: НАУ. – 2009. –№1. – С. 214–218.