

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України  
Вінницький національний технічний університет

# **ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ ВІДНОВЛЕННЯ І УЩІЛЬНЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ**

**Монографія**

Вінниця  
ВНТУ  
2011

УДК 004.932.4  
ББК 32.973.202  
I-74

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 3 від 28.10.2010 р.).

Рецензенти:

**В. Ю. Кучерук**, доктор технічних наук, професор

**В. М. Лисогор**, доктор технічних наук, професор

I-74 **Інформаційно-вимірювальні системи відновлення і ущільнення зображень** : монографія / А. М. Петух, О. М. Рейда, В. П. Майданюк, В. П. Кожем'яко. – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 144 с.  
ISBN 978-966-641-431-4

В монографії розглянуто системи формування зображень. Подано загальний аналіз основних методів побудови інформаційно-вимірювальних систем. Описані методи і алгоритми ущільнення даних. Подано класифікацію і проведено аналіз дефектів багатошарових фотографічних матеріалів. Розроблено модель для виділення та метод ідентифікації структурних дефектів, метод відновлення зображень багатошарових фотографічних матеріалів, що базується на принципах «Нестискуваності фазових середовищ». Проведено метрологічний аналіз інформаційно-вимірювальних систем відновлення структури зображень багатошарових фотографічних матеріалів. Наведено методики та приклади реалізації описаних моделей і методів.

**УДК 004.932.4**  
**ББК 32.973.202**

**ISBN 978-966-641-431-4**

© А. Петух, О. Рейда, В. Майданюк, В. Кожем'яко, 2011

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	6
1. СИСТЕМИ ФОРМУВАННЯ ЗОБРАЖЕННЯ.....	8
1.1. Моделі формування зображення в системах цифрових перетворювачів інформації.....	8
1.2. Методи відновлення зображень у системах цифрових перетворювачів інформації.....	13
1.3. Багатошарові фотографічні матеріали формування зображень .....	24
2. МЕТОДИ ПОБУДОВИ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ ДЛЯ АНАЛІЗУ СТРУКТУРНИХ ДЕФЕКТІВ .....	34
2.1. Методи аналізу і моделі систем цифрового перетворення інформації.....	34
2.2. Методи оцінювання систем цифрового перетворення інформації для багатошарових фотографічних матеріалів .....	40
2.3. Модель об'єктів у системах цифрового перетворення інформації.....	45
2.4. Методи виділення малорозмірних об'єктів .....	51
3. УЩІЛЬНЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ .....	65
3.1. Джерела надлишковості зображень.....	65
3.2. Критерії вірності кодування .....	66
3.3. Етапи кодування зображень .....	67
3.4. Аналіз основних методів кодування зображень.....	68
3.5. Кодування зображень відповідно стандартам JPEG та MPEG .....	71
3.6. Фрактальне стиснення зображень.....	75
3.6.1. Алгоритм кодування-декодування зображень фрактальним методом.....	76

3.6.2.	Підвищення швидкодії фрактального стиснення .....	79
3.6.3.	Табличний метод підвищення швидкодії .....	82
3.7.	Рекурсивний (хвильовий) алгоритм стиснення зображень ...	85
3.9.	Перспективи розвитку кодування зображень .....	94
4.	МЕТРОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ВИДІЛЕННЯ ДЕФЕКТІВ БАГАТОШАРОВИХ ФОТОГРАФІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ.....	96
4.1.	Аналіз і класифікація дефектів фотографічних матеріалів ...	96
4.2.	Аналіз системи формування зображення багатошарових фотографічних матеріалів.....	100
4.3.	Аналіз точності виділення дефектів зображення цифрованих багатошарових фотографічних матеріалів в системах цифрових перетворювачів .....	107
4.4.	Метрологічний аналіз структури цифрованих багатошарових фотографічних матеріалів у системах цифрових перетворювачів .....	113
5.	РЕАЛІЗАЦІЯ СХЕМОТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ПОБУДОВИ ПРИСТРОЮ ВИДІЛЕННЯ ДЕФЕКТІВ БАГАТОШАРОВИХ ФОТОГРАФІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ.....	123
5.1.	Реалізація схемотехнічних рішень побудови пристрою виділення дефектів багатошарових фотографічних матеріалів .	123
5.2.	Реалізація методу виділення дефектів на зображенні цифрованих багатошарових фотографічних матеріалів.....	128
5.3.	Реалізація методу відновлення зображення цифрованих багатошарових фотографічних матеріалів.....	131
	ЛІТЕРАТУРА .....	135

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

БФМ – багат шарові фотографічні матеріали  
ГІС – геоінформаційні системи  
ДПФ – дискретне перетворення Фур'є  
ІЧВ – інфрачервоне випромінювання  
КІХ – кінцева імпульсна характеристика  
КПІ – канал передачі інформації  
ОФМ – одношаровий фотографічний матеріал  
ПЗЗ – прилад із зарядовим зв'язком  
СКВ – середньоквадратичне відхилення  
СОІ – системи обробки інформації  
СЦОІ – системи цифрової обробки інформації  
СЦПІ – системи цифрового перетворення інформації  
ФПК – функція передачі контрасту  
ФПМ – функція передачі модуляції  
ФРТ – функція розсіювання точки  
ЦО – цифрова обробка  
ШСЗ – штучні супутники Землі

## ВСТУП

У теперішній час набули широкого розвитку галузі науки і техніки, що застосовують системи обробки інформації (СОІ) з використанням даних у цифровому вигляді. Базовими складовими елементами таких систем є системи цифрового перетворення інформації (СЦПІ). СЦПІ призначені для цифрування природних або штучних об'єктів, що є носіями інформації у аналоговому вигляді. Дані у цифровому вигляді використовуються для збереження, передачі, аналізу і обробки у системах цифрової обробки інформації (СЦОІ).

Одними із основних типів інформаційних систем, що використовують цифрові дані, є геоінформаційні системи (ГІС). ГІС широко застосовують методи дистанційного зондування Землі, природних або штучних об'єктів. Методи дистанційного зондування основані на реєстрації електромагнітного випромінювання в широкому спектральному діапазоні електромагнітного випромінювання і наступному їх аналізі. На даному етапі розвитку технологій дистанційного зондування широко розвинуті методи експонування об'єктів на багатошарових фотографічних матеріалах (БФМ). БФМ по своїй природі є аналоговими носіями інформації [27]. Для обробки інформації експонованої у БФМ проводиться її цифрування. Основною задачею обробки є усунення дефектів, зменшення впливу спотворень і шумів, перетворення зображення до виду, зручного для спостереження людиною-оператором.

Особливе практичне значення мають методи обробки аерокосмічних зображень. Ефективність аерокосмічних методів вивчення земної поверхні, поверхні інших планет значною мірою визначається якістю цифрованих експонованих БФМ. Підвищення якості таких зображень має велике народногосподарське значення, тому що знижує вартість виконання робіт за рахунок зменшення масштабу зйомки [9].

Найбільш важливою проблемою при цифровому перетворенні БФМ є видалення структурних дефектів зображення. До структурних дефектів БФМ відносяться сліди порошин, відбитки пальців, волосинки, подряпини та інші сторонні об'єкти, що існують на поверхні БФМ або у СЦПІ.

Видалення дефектів з цифрового зображення в основному проводиться шляхом досить кропіткої і трудомісткої процедури за допомогою відповідного програмного забезпечення. Найкращим засобом для цього служать інструменти «Clone & Blend», а також «Dust & Scratches» графічного пакета Adobe Photoshop. Видалення структурних дефектів зображення такими методами є трудомістким і потребує багато часу.

Значною проблемою є великі розміри даних, що передаються по каналу передачі інформації. Передати цифровий потік по лініях зв'язку, враховуючи надлишкову розрядність вкрай важко. Для зберігання тільки одного буфера в цифровій формі необхідно близько 1 ГБ пам'яті, а для одного зображення 6 ГБ.

Вирішенням проблеми є зменшення об'єму даних, що передаються, шляхом стиснення даних, або іншими словами – кодування зображень.

Актуальність стиснення зображень особливо зросла за останні роки в зв'язку з появою розвинутих комп'ютерних засобів відображення зображень, представлених в цифровій формі. Це призвело до широкого застосування зображень в комп'ютерних системах та мережах.

# 1. СИСТЕМИ ФОРМУВАННЯ ЗОБРАЖЕННЯ

## 1.1. Моделі формування зображення в системах цифрових перетворювачів інформації

Через недосконалість формуючих і реєструючих систем цифрове зображення є спотвореною (нечіткою) копією оригіналу. Основними причинами спотворень, що приводять до погіршення чіткості, є обмеження роздільної здатності формуючої системи, розфокусування, наявність проміжного середовища, рух камери стосовно реєструємого об'єкту і т.п.

Загальна схема формування зображення представлена на рис. 1.1.

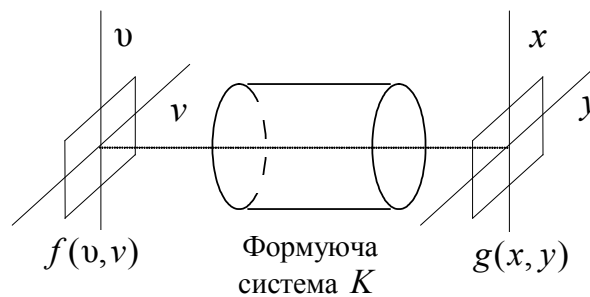


Рис. 1.1. Схема формування зображення:

$f(u, v)$  - функція розподілу яскравості об'єкта, що описується функцією двох змінних  $(u, v)$ ;  $g(x, y)$  - зображення сформоване  $f(u, v)$  за допомогою відомого оператора спотворень  $K$ .

Вид оператора  $K$  визначається властивостями формуючої системи. Двовимірна функція  $f(u, v)$  називається вихідним зображенням. Задача реставрації полягає в знаходженні зображення  $\tilde{f}(u, v)$ , що є оцінюванням вихідного зображення  $f(u, v)$  по вхідному зображенню  $g(x, y)$ , що спостерігається, тобто у видаленні спотворень, внесених оператором  $K$  [9].

Розглянемо джерела спотворень зображення, цифрованих БФМ. Основними джерелами спотворень є оптичні елементи, система цифрового перетворення і елементи, що не належать до СЦП.

Оптичну систему будемо характеризувати функцією пропускання  $K(x, y, u, v)$ , яка визначається як комплексна амплітуда збудження в



площині  $F(u, v)$ , обумовлена збудженням з одиничною амплітудою і фазою в точці  $(x, y)$ . Допускаємо, що система лінійна, тоді, елемент поверхні об'єкта викликає збудження поля в площині зображення

$$dg(u, v) = K(x, y, u, v) \cdot f(x, y) dx dy. \quad (1.1)$$

Повне поле джерела обчислюється за формулою

$$g(u, v) = \iint_{\infty} K(x, y, u, v) \cdot f(x, y) dx dy. \quad (1.2)$$

*Моделі формування зображення.* Для аналізу моделей передачі і формування зображень у СЦПІ використовується класифікація представлена на рис. 1.2, яка дозволяє поділити відомі моделі на класифікаційні групи за методами впливу на дані, що передаються або формуються у СЦПІ. Такі методи є загальновідомими і дозволяють описати структуру зображень формованих у СЦПІ з метою моделювання їх властивостей.

Більшість формуючих систем у першому наближенні можна розглядати як лінійні і інваріантні до зсуву. Зображення, сформовані такими системами, підлягають впливу лінійних просторово-інваріантних спотворень, що характеризуються однаковим механізмом виникнення для всіх точок  $(x, y)$  [52]. Лінійні спотворення виявляються в ослабленні верхніх частот вихідного зображення. Візуально це приводить до погіршення його різкості. У процесі запису зображення спотворюються шумами, що присутні у будь-якому реальному фізичному пристрої [2]. У ряді практично важливих випадків шум вважається адитивним і незалежним від вихідного зображення.

З урахуванням вищевикладеного нерізде зображення  $g(x, y)$ , що спостерігається, можна представити як лінійну систему, показану на рис. 1.3.

Математична модель процесу формування зображення має вигляд:

$$\tilde{g}(x, y) = g(x, y) + n(x, y), \quad (1.3)$$

де  $n(x, y)$  – адитивний двовимірний шум.

Зображення  $\tilde{g}(x, y)$ , отримане шляхом лінійного спотворення вихідного зображення при відсутності шуму, визначається інтегралом згортки:

$$g(x, y) = h(x, y) \otimes \otimes f(x, y) = \iint_{(u,v) \in \Theta^{(u)}} h(x-u, y-v) f(u, v) du dv =$$

$$= \iint_{(u,v) \in \Theta^{(h)}} h(u, v) f(x-u, y-v) du dv, \quad (x, y) \in \Theta^{(s)},$$
(1.4)

де  $\otimes \otimes$  – символ двовимірної згортки;  $h(x, y)$  – двовимірна імпульсна характеристика функції розсіювання точки (ФРТ) спотвореної лінійної системи.

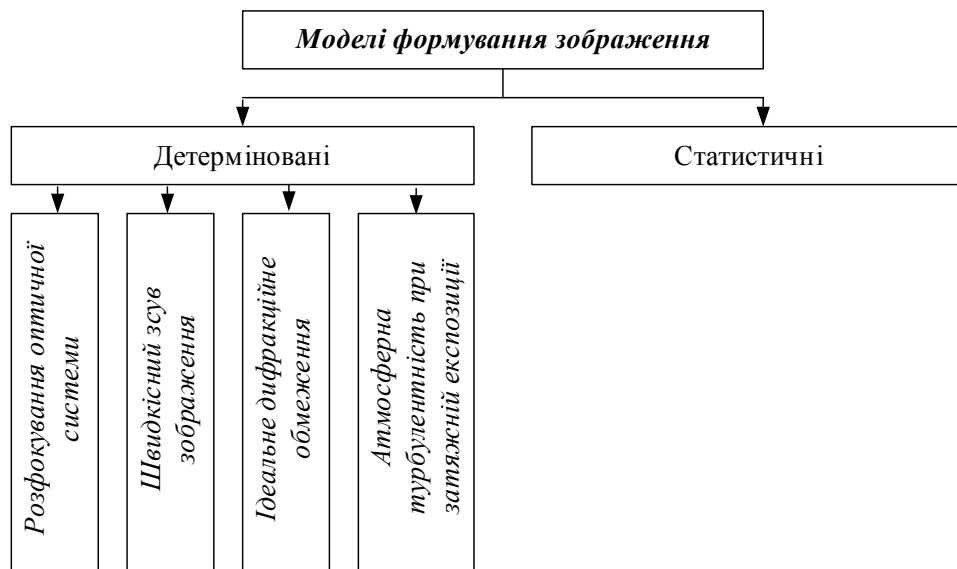


Рис. 1.2. Класифікація моделей формування і передачі зображень

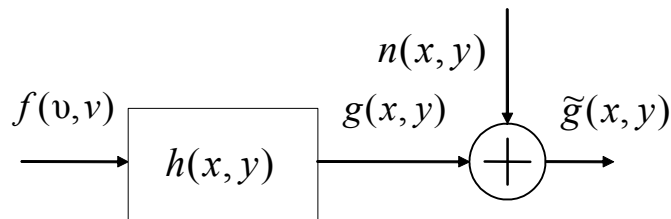


Рис. 1.3. Лінійна модель КПП

Таким чином, значення функції яскравості  $f(u, v)$  вихідного зображення в точці з координатами  $(u, v)$  «змазується» відповідно до виду ФРТ  $h(x, y)$  і спотворюється адитивним шумом.

У виразі (1.4) враховано, що зображення, які зустрічаються в практичних задачах, мають кінцеві розміри. Це означає, що яскравість зображення приймається рівною нулеві скрізь, крім деякої кінцевої області кадру.

Каузальні лінійні системи не володіють симетрією ФРТ. Дія ФРТ зводиться до того, що кожна точка вихідного зображення «розмазується» у деяку область, обмежену кадром. Кадр вихідного зображення може бути побудований шляхом переміщення і являє собою область усіх точок, що знаходяться у кадрі при його переміщенні [71]. Тому, навіть якщо реєструємий об'єкт має нескінченні розміри, зображення, що спостерігається, формується лише тільки за рахунок деякої його частини. Причому розміри кадру зображення, що спостерігається, завжди менші або дорівнюють розмірам вихідного. Розміри кадрів вихідного зображення і зображення, що спостерігається, рівні лише при відсутності лінійних спотворень, тобто коли імпульсна характеристика системи, що спотворює, дорівнює дельта – функції [1].

*Розмиття внаслідок руху.* Змаз зображення виникає при взаємному русі камери і об'єкта відносно один одного під час експонування. Зображення, що спостерігається, є результатом накладення зі зсувом множини вихідних зображень. Розглянемо випадок, коли камера рухається з постійною горизонтальною швидкістю відносно об'єкта який експонується. ФРТ і передатна функція такої системи визначаються виразами:

$$h(x, y) = \begin{cases} \frac{1}{\alpha} \delta(x), & \text{при } 0 \leq y \leq a, \\ 0, & \text{у інших випадках} \end{cases} \quad (1.5).$$

$$H(\omega_x, \omega_y) = \frac{\sin(\alpha \omega_y)}{\omega_y} \quad (1.6)$$

де  $\alpha$  – добуток швидкості руху камери на час експозиції.

Відповідно в дискретному випадку ФРТ змазування дорівнює

$$h(i_1, i_2) = \begin{cases} \frac{1}{L_{i_2}^h}, & \text{при } 0 \leq i_2 \leq L_{i_2}^h - 1 \text{ і } i_1 = 0, \\ 0, & \text{у інших випадках} \end{cases} \quad (1.7)$$

де  $L_{i_2}^{(h)} = \text{round}(\alpha / \Delta)$  і  $L_{i_1}^{(h)} = 1$  розміри кадру.

Доповнюючи ФРТ (1.7) нулями до розмірів кадру вихідного зображення і застосовуючи двовимірне ДПФ, одержимо частотну характеристику системи яка спотворює:

$$\tilde{H}(k_1, k_2) = \frac{1}{L_{i_2}^{(h)} \sqrt{L_{i_2}^{(u)}}} e^{j(\pi(L_{i_2}^{(h)} - 1)k_2 / L_{i_2}^{(u)})} \frac{\sin(\pi L_{i_2}^{(h)} k_2 / L_{i_2}^{(u)})}{\sin(\pi k_2 / L_{i_2}^{(u)})} \quad (1.8)$$

*Розфокусування.* Чіткість зображення характеризується відтворенням дрібних деталей і визначається роздільною здатністю формуючої системи. Роздільна здатність оптичної системи чисельно виражається кількістю пар чорно-білих ліній на 1 мм зображення, яке формується об'єктивом системи. Величина кружка розмиття залежить від фокусної відстані об'єктива, а також від відстаней від об'єктива до об'єкта і до площини формованого зображення. Дискретне зображення буде чітким (контрастним), якщо діаметр кружка розмиття не перевищує кроку дискретизації зображення яке спостерігається. У іншому випадку лінійні спотворення стають помітними [36].

При розфокусуванні розподіл інтенсивності на зображенні точкового джерела, сформованого тонкою лінзою з круговою апертурою, постійний у межах кружка розмиття і дорівнює нулеві за його межами, що описується наступним чином:

$$h(x, y) = \begin{cases} \frac{1}{\pi r^2}, & x^2 + y^2 \leq r^2; \\ 0 & . \end{cases} \quad (1.9)$$

З (1.9) випливає, що розміри кадру  $L_x^{(h)} = L_y^{(h)} = 2r$ . Виконавши двовимірне перетворення Фур'є від (1.9), отримано передатну функцію оптичної системи:

$$H(\omega_x, \omega_y) = J_1(r\rho) / r\rho, \quad \rho^2 = \omega_x^2 + \omega_y^2, \quad (1.10)$$

де  $J_1$  – функція Бесселя першого порядку.

У дискретному випадку ФРТ (1.9) має вигляд:

$$h(i_1, i_2) = \begin{cases} \frac{1}{\pi r^2}, & i_1^2 + i_2^2 \leq r^2; \\ 0 & . \end{cases} \quad (1.11)$$

## 1.2. Методи відновлення зображень у системах цифрових перетворювачів інформації

Для проведення відновлення структури цифрованих зображень широко використовуються методи цифрового відновлення даних. Принципи покладені в процеси відновлення поділяють методи на класифікаційні групи. Дані групи містять методи з подібними принципами обробки даних. Загальна класифікація методів відновлення зображена на рис. 1.4.

Представлена класифікація поділяє методи відновлення на три основних групи методів, що використовуються при відновленні цифрованих даних. Методи, що відновлюють структуру зображення, поділяють за лінійними (алгебраїчними), нелінійними та ітераційними принципами обробки цифрових даних. Кожна із груп методів має пріоритетне використання при розв'язанні окремих типів задач.

Для обробки цифрованих даних БФМ використовуються оптимальна фільтрація, методи з врахуванням апріорної інформації, ітераційні методи з обмеженням.

Алгебраїчні методи відновлення зображень. Система формування для цифрових зображень фактично являє собою систему лінійних алгебраїчних рівнянь відносно  $u(i_1, i_2)$ . Задача відновлення вихідного зображення  $u(i_1, i_2)$  при відомій ФРТ  $h(i_1, i_2)$  може бути зведена до розв'язання системи лінійних рівнянь.

Зручно представити співвідношення у матричній формі, використовуючи лексикографічне упорядкування. Для цього двовимірний масив зображення перетворюється у вектор-стовпець. Перетворення здійснюється розгорненням масиву  $s(i_1, i_2)$  по рядках. Аналогічним

способом перетворюються у вектори-стовпці  $z$ ,  $u$  і  $n$  спотворене при відсутності шуму зображення  $z(i_1, i_2)$ , вихідне зображення  $u(i_1, i_2)$  і шум  $n(i_1, i_2)$ . Розміри векторів  $z$ ,  $u$  і  $n$  рівні. Зв'язок між лексикографічно упорядкованими зображеннями визначається співвідношенням

$$s = z + n, \quad (1.12)$$

де  $z = hu$ .

Символ  $h$  позначає прямокутну матрицю, за допомогою якої вектор вихідного зображення  $u$  перетвориться в спотворене зображення  $z$ . Матриця  $h$  має блокову структуру, елементи якої являють собою відліки ФРТ. Задачі реставрації зображень алгебраїчними методами при наявності і відсутності шумів спостереження мають якісні розходження.

При  $h$  – квадратна матриця, існує зворотна матриця  $(h)^{-1}$ , що є розв'язуванням системи

$$\bar{u} = (h)^{-1} z. \quad (1.13)$$

Однак матричне рівняння являє собою недовизначену систему лінійних алгебраїчних рівнянь, тому що кількість невідомих більше числа рівнянь (розміри вихідного зображення завжди більше розмірів спотвореного зображення). Тому матриця  $h$  є прямокутною матрицею розміром. У цьому випадку для розв'язку використовуються різні методи псевдообернення матриць. Якщо недовизначена система розв'язувана, то вона має кілька рішень [22]. Виникає проблема вибору єдиного рішення з множини можливих, яке і буде прийнято як оцінювання  $\bar{u}$ .

Серед усіх можливих рішень недовизначеної системи як оцінювання  $\bar{u}$  вибирається рішення, що мінімізує норму помилки відновлення

$$\varepsilon_1^2 = e_1(\bar{u})^T e_1(\bar{u}) = \sum_{i=1}^{l(u)} (u_i - \bar{u}_i)^2 = \min_{\bar{u}} \quad (1.14)$$

де  $T$  – символ транспонування;  $e_1(\bar{u}) = u - \bar{u}$  – вектор помилки відновлення.

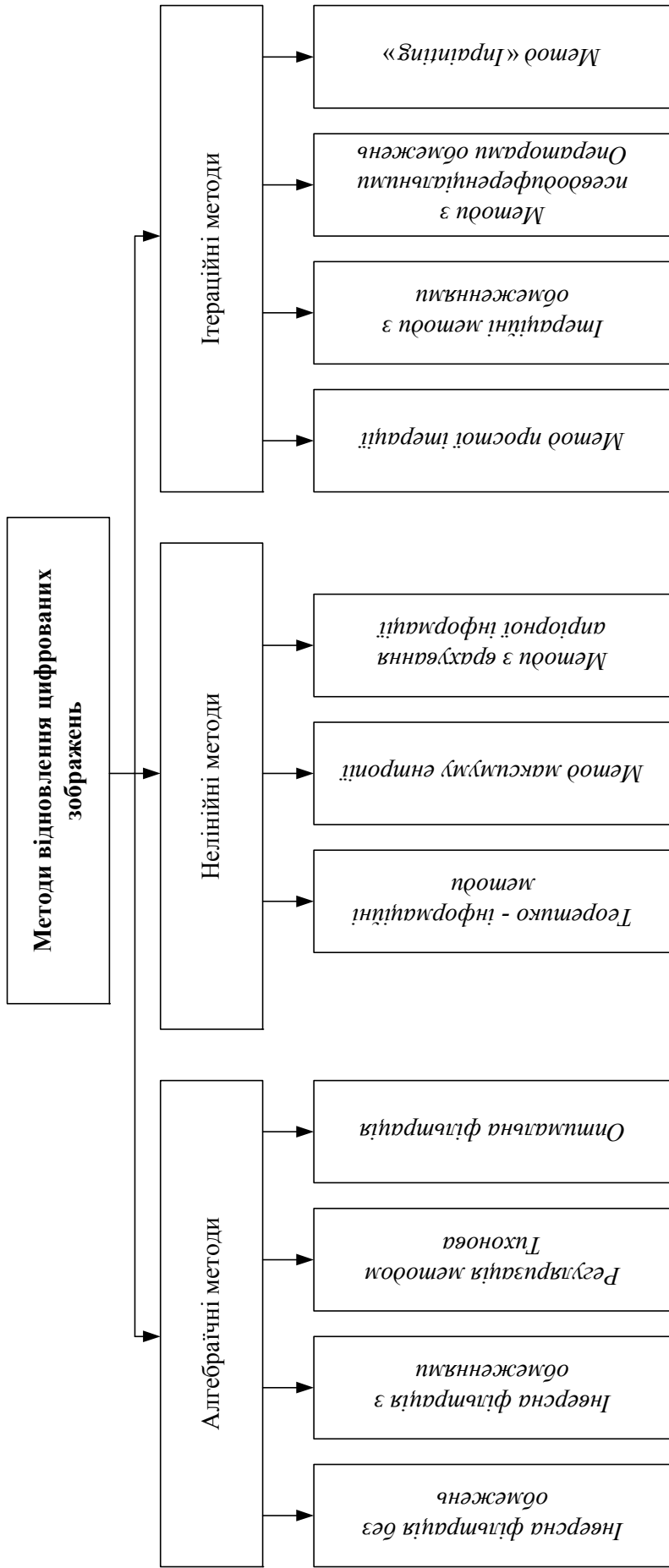


Рис. 1.4. Класифікація методів відновлення цифрованих зображень

Критерій згідно (1.14) є критерієм найменших квадратів. Норма помилки буде мінімальною, якщо оцінювання

$$\bar{u} = h^+ \cdot z, \quad (1.15)$$

де  $h^+ = h^T (hh^T)^{-1}$  – узагальнена зворотна матриця.

У загальному випадку норма помилки не дорівнює нулеві.

Точне відновлення вихідного зображення при відсутності шумів можливе:

1) коли спотворене зображення отримане в результаті згортки вихідного зображення і маски спотворення;

2) коли об'єкти вихідного зображення розташовані в центрі кадру і спостерігаються на фоні постійної яскравості, і відстань від об'єктів до границь кадру більше апертури максимального розміру об'єкту спотворення.

У цих випадках число невідомих буде дорівнює числу рівнянь, так як об'єкти, розташовані поза кадром, не будуть впливають на яскравість зображення, що спостерігається. Іншими словами, точне відновлення при відсутності шуму можливе тоді, коли обмеження розмірів кадру зображення, що спостерігається, не приводить до втрати інформації про вихідне зображення [6].

Основним недоліком алгебраїчних алгоритмів відновлення зображень є необхідність виконання трудомістких операцій згортки, множення і транспонування матриць великих розмірів.

**Нелінійні методи.** Для відновлення ушкоджених областей або зображення частин об'єкта спочатку використано методи ретушування. Вони використовувались для заповнення ушкоджених частин об'єктів зображення пилом, подряпинами, тріщинами і т. і. Усі вище описані процедури проводилися при участі оператора. Оператор виконував вручну повний діапазон операцій відновлення структури зображення.

Цифрові методи дозволяють робити відновлення ушкоджених об'єктів зображення напівавтоматично або автоматично. Розглянемо алгоритм для автоматичного цифрового відновлення, оснований на методиках, що використовуються професійними реставраторами. Алгоритм може використовуватися не тільки для відновлення ушкодже-



них зображень але також і для видалення небажаних об'єктів на зображенні. Области реставрації вказуються оператором, тому що вони залежать від його суб'єктивного вибору.

Для розглянутої методики відновлення не застосовуються класичні методи видалення шуму зі структури зображення. Так як точки (структурні елементи зображення) містять інформацію про реальні дані і шум, для роботи алгоритму використовується інформація головним чином із граничного оточення об'єктів, структура яких відтворюється.

У літературі розглядаються в основному три напрямки:

1. відновлення структури зображення на фотографічних плівках;
2. синтез текстур;
3. дисклюзія.

*Відновлення структури зображення на фотографічних плівках.* Кокагам використав авторегресивні рухомі моделі, щоб інтерполювати втрати в плівках суміжними структурами. Основна ідея полягає в тому, щоб копіювати в кожний поточний проміжок часу точки від границь сусідніх структур. Методика не може застосовуватися в алгоритмі, тому що не дозволяє обробляти декілька областей зображення одночасно [67].

*Синтез текстур.* Hirani і Totsuka комбінували частоту і просторову інформацію ушкодженої області щоб заповнити зазначеною (відібраною) при роботі текстурою. Це – дуже проста методика, що дозволяє одержати позитивні результати. З іншого боку, алгоритм головним чином має справу із синтезом текстури (а не із структурованим фоновим режимом), і вимагає, щоб користувач вибрав текстуру, що буде скопійована в область для відновлення. Для зображень, у яких область заповнення перекриває кілька різних структур, користувачі повинні проводити аналіз множини текстурних образів для знаходження подібних. Хоча частина цього пошуку може бути зроблена автоматично, це вимагає надзвичайно багато часу і нетривіального вибору багатьох критичних параметрів [61].

*Дисклюзія.* Алгоритми роботи з методикою дисклюзії поєднують методи видалення дефектів з метою сегментації зображення. Основна ідея полягає в тому, щоб підключити  $T$  – переходи на однако-

вому рівні еластичними мінімізуючими кривими. Методика була головним чином розроблена для простих зображень, з декількома об'єктами і постійними рівнями градацій сірого. Вона не може бути застосовна для прикладів із природними зображеннями. Masnou і Morel розширили ці ідеї, представляючи загальне варіаційне формулювання для дисконісії і спеціального практичного алгоритму [83]. Алгоритм виконує відновлення, з'єднуючись з геодезичними кривими пунктів ізофото. Області для відновлення обмежені наявністю простої топології. Крім того, кути, з яким лінії рівня досягають границі відновлюваної області, спотворюються для відновлення градаційної структури.

Алгоритми, розроблені для відновлення структури об'єктів, що рухаються, не відповідають розв'язуваній задачі, тому що вони звичайно працюють на відносно невеликих ділянках і покладаються на існування інформації від декількох структур. З іншого боку, алгоритми, засновані на синтезі текстури, можуть заповнювати великі області, але вимагають, щоб користувач визначив яку текстуру помістити.

**Ітераційні методи.** Ітераційними методами (методами послідовних наближень) розв'язання задач називають такі методи, в яких по відомому наближенню знаходиться наступне, точне наближення. Простим прикладом ітераційного алгоритму може служити перетворення розв'язку  $f^k$  в розв'язок  $f^{k+1}$  за допомогою поправок, розрахованих для  $f$ .

Ітераційні методи в останній час знаходять широке застосування в практиці реставрації зображень, так як в деяких випадках вони допускають просте врахування важливих для задач реставрації обмежень безпосередньо по схемі ітераційного алгоритму і тим самим представляють собою альтернативу методам нелінійного програмування. Основним питанням використання ітераційних методів являється збіжність ітерацій. Для деяких типів ядер основного інтегрального рівняння доказано загальні положення про збіжність послідовних наближень.

Суть ітераційних алгоритмів полягає у заміні оберненого оператора на послідовність кроків, причому на кожному наступному кроці розв'язок наближується до ідеального значення. Розповсюдженість

даного методу на етапах відтворення зображень пояснюється простою боротьбою із нестійкістю розв'язку досліджуваних задач [6].

В загальну структуру ітераційного алгоритму можна ввести нелінійні обмеження, що перетворюють алгоритм у нелінійний. Існуючі ітераційні алгоритми можна поділити на три класи:

- 1) алгоритми на основі операторів, що не розширюються;
- 2) алгоритми на основі метода проекцій на випуклі множини;
- 3) алгоритми на основі алгебраїчних методів.

Нелінійність ітераційних алгоритмів являється менш вираженою, ніж нелінійність теоретико-інформаційних методів. Простота реалізації ітераційних алгоритмів і існування доведених математичних результатів відносно їх збіжності зробили використання даних методів для розв'язання задач широко розповсюдженими.

*Метод «Inpainting».* Inpainting – методика заповнення структури зображення у пошкоджених областях. Цілі і прикладні задачі inpainting:

- 1) відновлення ушкоджених картин і фотографій,
- 2) видалення (заміна) відібраних об'єктів.

Після вибору користувачем області, що буде відновлена, алгоритм автоматично заповнює її навколишньою інформацією. Заміна проводиться так, що лінії ізофото, які досягають границь області стягаються усередині неї. У такий спосіб методика дозволяє одночасно обробляти кілька поточних ушкоджених областей зображення, що містять різні структури і фонові режими. Крім цього, не накладаються обмеження на топологію областей для роботи алгоритму. Прикладні задачі цієї методики полягають у відновленні старих фотографій і ушкодженої плівки; видаленні доданого тексту: дат, підзаголовків, реклами; видаленні повних об'єктів із зображення [58], [72].

Алгоритм inpainting дозволяє автоматично виявляти ушкодження і відновлювати зображення об'єктів на плівці.

Методика не вимагає втручання оператора у процес відновлення структури зображення. Алгоритм може одночасно обробляти кілька ушкоджених ділянок зображення, оточених різними фоновими режимами. Для роботи не накладаються додаткові умови. Недолік даної методики складається в неможливості обробляти великі ушкоджені ділянки текстур. [12]

Приймається, що  $\Omega$  – ушкоджена ділянка зображення об’єкта,  $\partial\Omega$  – його границя. Робота методу полягає у русі лінії ізофото в напрямку кута руху точок контуру. Криві ізофото рухаються усередину робочої області до тих пір, поки не вироджуються в крапку або лінію.

Приймається, що  $I_0(i, j)$  де  $i \in [0 \dots M]$ ,  $j \in [0 \dots N]$  дискретне 2D зображення в градаціях сірого (8 біт) розміром  $(M+1) \times (N+1)$  Процедура відновлення складається в одержанні сімейства зображень  $I^{(n)}(i, j)$  де  $i \in [0 \dots M]$ ,  $j \in [0 \dots N]$ ;  $I^{(0)}(i, j) = I_0(i, j)$  і  $\lim_{n \rightarrow \infty} I^{(n)}(i, j) = I^{(R)}(i, j)$  де  $I^{(R)}(i, j)$  шукане (відновлене) зображення. Кожен крок роботи алгоритму описується таким виразом:

$$I^{(n+1)}(i, j) = I^{(n)}(i, j) + \Delta t \cdot I_t^n(i, j), \quad (1.16)$$

де  $i, j \in \Omega$ ;  $n$  – індекс кроку роботи алгоритму;  $i, j$  – координати крапки зображення;  $\Delta t$  – нормалізуючий коефіцієнт;  $I_t^n(i, j)$  – основа для відновлення зображення  $I^{(n)}(i, j)$ .

Зображення  $I^{(n+1)}(i, j)$  є відновленим за структурою варіантом зображення  $I^{(n)}(i, j)$  з відновленою інформацією  $I_t^n(i, j)$ . При збільшенні індексу  $n$  покращується якість зображення.

Відповідно до технології алгоритму, необхідно дані з області на границі ділянки  $\partial\Omega$ , що відновлюється, внести усередину  $\Omega$ . Іншими словами переносяться розраховані дані усередину області  $\Omega$ . Приймемо  $L^n(i, j)$  за розраховані дані і  $N^{(n)}(i, j)$  – напрямком поширення отриманих даних.

$$I_t^n(i, j) = \overline{\delta L^{(n)}}(i, j) \cdot \overline{N^{(n)}}(i, j), \quad (1.17)$$

де  $\overline{\delta L^{(n)}}(i, j)$  – значення зміни даних  $L^{(n)}(i, j)$ .

З цього рівняння випливає, що оцінювання даних  $L^{(n)}(i, j)$  проводиться з урахуванням напрямку вектора  $\overline{N^{(n)}}(i, j)$ . У стійкому стані, коли алгоритм сходиться:  $I^{(n+1)}(i, j) = I^{(n)}(i, j)$  то  $\overline{\delta L^{(n)}}(i, j) \cdot \overline{N^{(n)}}(i, j) = 0$ , це означає, що інформація  $L$  була розмножена в напрямку  $\overline{N^{(n)}}(i, j)$ .

## ЛІТЕРАТУРА

1. Бард Й. Нелинейное оценивание параметров / Й. Бард. – М. : Статистика, 1979.
2. Барнсли М. Фрактальное сжатие изображений / М. Барнсли, Л. Ансон // Мир ПК. – 1992. – № 10. – С. 52–58.
3. Бейтс Р., Восстановление и реконструкция изображений / Р. Бейтс, М. Мак-Донелл. – М. : Мир, 1989.
4. Битюцкий О. И. Поиск и локализация реперных фрагментов при совмещении повторных снимков / О. И. Битюцкий, Г. И. Перетягин // Автометрия. – 1988. – № 3.
5. Борн М. Основы оптики / М. Борн, Э. Вольф. – М. : Наука, 1970.
6. Брауде-Золотарев Ю. М. Особенности кодирования цифровых телевизионных сигналов вещательного телевидения/ Ю. М. Брауде-Золотарев, В.П. Кожемяко, В.П. Майданюк // 1-я Всесоюзная конференция «Распознавание образов и анализ изображений: новые информационные технологии» : тез. докл. – Минск, 1991. – Ч.1, С. 31–36.
7. Бъемон Ж., Итерационные методы улучшения изображений / Ж. Б'ємон, Л. Лагендейк, Р. М. Мерсеро // ТИИЭР. – 1990. – № 5.
8. Быстрые алгоритмы в цифровой обработке изображений / под ред. Т. С. Хуанга. – М. : Радио и связь, 1984.
9. Василенко Г. И. Восстановление изображений / Г.И. Василенко, А. М. Тараторин. – М. : Радио и связь, 1986.
10. Ватолин Д. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео / Д. Ватолин, А. Ратушняк, М. Смирнов, В. Юкин. – М. : ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. – 384 с.
11. Вычислительные методы в физике плазмы. – М. : Мир, 1974.
12. Гайда В. Б. Методика «Inpainting» / В. Б. Гайда, А. Н Рейда. // Збірник тез доповідей Другої міжнародної науково-технічної конфе-

13. Горбунов Б. А. Распознавание изображений в дистанционном зондировании / Б. А. Горбунов, В. Н. Дементьев, В. П. П'яткин. // Автоматизированная обработка изображений природных комплексов Сибири. – Новосибирск : Наука, 1988.

14. Гороховский Ю. Н. Спектральные исследования фотографического процесса / Ю. Н. Гороховский. – М. : Гос. издательство физико-математической литературы, 1960.

15. Грузман И. С. Компенсация краевых эффектов при коррекции линейных искажений изображений / И. С. Грузман. // Автометрия. – 1995. – № 2.

16. Грузман И. С. Двухэтапная фильтрация изображений на основе использования ограниченных данных / И. С. Грузман, В. И. Микерин, А. А. Спектор. // Радиотехника и электроника. – 1995. – № 5.

17. Гудмен Дж. Вычислительные методы в физике / Дж. Гудмен, Д. Поттер. ; под ред. Ю. Н. Днестровского. – М. : Мир, 1975.

18. Даджион Д. Цифровая обработка многомерных сигналов / Д. Даджион, Р. Мерсеро. – М. : Мир, 1988.

19. Збарянский С. Фрактальное сжатие изображений / С. Збарянский. // Компьютеры + программы. – 1997. – № 6. – С. 16–22.

20. Кожем'яко В. П. Аналіз та перспективи розвитку кодування зображень / В. П. Кожем'яко, В. П. Майданюк, К. М. Жуков. // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 1999. – № 3. – С. 42–48.

21. Кожем'яко В. П. Відновлення структури зображень цифрових БФМ / В. П. Кожем'яко, О. М. Рейда, В. Б. Гайда. // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2004. – №1(7). – С. 5–12.

22. Кожем'яко В. П. Методи лінійної обробки зображень / В. П. Кожем'яко, О. М. Рейда, Р. М. Гринчишин., Т. Г. Пасічник. // Збірник тез доповідей Міжнародної науково-методичної конференції. – Дніпродзержинськ. – 2000.
23. Кожем'яко В. П. Аналіз методики реставрації зображень «Inpainting» / В. П. Кожем'яко, О. М. Рейда, Мутасім Абу-Шабан. // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2002. – №1(3). – С. 63–68.
24. Кожем'яко В. П. Функциональные элементы и устройства оптоэлектроники / В. П. Кожем'яко, Л. И. Тимченко, Г. Л. Лысенко, Ю. Ф. Кутаев. – К. : УМК ВО, 1990. – 250 С.
25. Кожем'яко В. П. Параллельная обработка изображений / В. П. Кожем'яко, А. К. Гара, Т. Б. Мартынюк, А. Г. Буда. // Препринт. – Ужгород – 1993. – 87 С.
26. Кононов В. И. Оптические системы построения изображений / В. И. Кононов, А. Д. Федоровский. – К. : Техніка, 1981.
27. Кунт М. Блочное кодирование графических материалов / М. Кунт, О. Джонсон. // ТИИЭР. – 1980. – Т.68, № 7. – С. 21–40.
28. Кучко А. С. Аэрофотография и специальные фотографические исследования / А. С. Кучко. – М. : Недра, 1988.
29. Марр Д. Зрение: информационный подход к изучению представления и обработки зрительных образов / Д. Марр. – М. : Радио и связь, 1987.
30. Майданюк В. П. Методи і засоби комп'ютерних інформаційних технологій. Кодування зображень / В. П. Майданюк. – Вінниця, ВДТУ, 2001. – 63 с.
31. Майданюк В. Векторное квантование изображений с помощью карты Кохонена / В. Майданюк, Хиллес Шади Мазин // «Інтернет-Освіта-Наука-2004», четверта міжнародна конференція ІОН – 2004. ; збірник матеріалів конференції. Т. 2.– Вінниця : Універсум-Вінниця. – 2004. – С. 631–634.

32. Майданюк В. П. Разработка алгоритмов и аппаратных средств систем сжатия телевизионных изображений / В. П. Майданюк. : дис. канд. техн. наук. – Винница, 1993. – 223 с.

33. Майданюк В. П. Кодування зображень покомпонентним методом / В.П. Майданюк, Ю. Бондар // Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні, випуск 7. – 2003. – С. 184–189.

34. Майданюк В. Аналіз і синтез зображення при ущільненні по компонентним методом / В. Майданюк, С. Романюк. // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2006. – № 1. С. 94–97.

35. Международный стандарт JPEG ISO/IEC 10918.

36. МККР. Цифровое кодирование телевизионных изображений в студиях : рекомендация 601. // 14-я Пленарная Ассамблея. – Дубровник, 1986.

37. Мюррей Дж. Д. Энциклопедия форматов графических файлов / Дж. Д. Мюррей, У. Райпер ; пер. с англ. – К. : ВНУ, 1997. – 672 с.

38. Оптоэлектронный модуль для обработки изображений: А.с. 1283963 СССР, МКИ Н 03 К 23/78 / В. П. Кожемяко, Л. И. Тимченко и др. (СССР) – № 3939123/24-21 ; заявлено 06.08.85 ; опубл. 15.01.87, Бюл. № 2.

39. Прэтт У. Цифровая обработка изображений / У. Прэтт. Кн.1. – М. : Мир, 1982.

40. Прэтт У. Цифровая обработка изображений / У. Прэтт. Кн.2. – М. : Мир, 1982.

41. Птачек М. Цифровое телевидение. Теория и техника / М. Птачек ; пер. с чешск. – М. : Радио и связь, 1990. – 528 с.

42. Рабинер Л. Теория и применение цифровой обработки сигналов / Л. Рабинер, Б. Гоулд. – М. : Мир, 1978.

43. Рейда О. М. Використання методів розпізнавання, фільтрації і згортки для визначення характеристичних кривих якості оптичних



елементів / О. М. Рейда. // Тези студентських доповідей. ХХІХ науково-технічної конференції. – Вінниця, – 2000. – С. 56.

44. Реконструкция изображений / Пер. с англ. под ред. Г. Старка. – М. : Мир, 1992.

45. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 17784. Комп'ютерна програма ущільнення зображень на основі адаптивного до контурів двовимірного аналізу і синтезу / Майданюк В. П., Романюк С. О. Дата реєстрації – 04.09.2006.

46. Спектор А. А. Рекуррентная фильтрация гауссовских дискретных полей, наблюдаемых в гауссовских шумах / А. А. Спектор. // Радиотехника и электроника. – 1994. – № 7.

47. Способ контроля дефектов поверхности.: А. с. 1275273 А1 (СССР) Борзых Б. А.

48. Способ оптико-электронного контроля поверхностных дефектов и устройство для его осуществления.: А. с. 1780583 А3 (СССР) / Потапов А. И., Малыгин Л. Л., Валин П. Н., Ершов Е. В. ; опуб.1992. Бюл. № 45.

49. Устройство для выявления дефектов поверхности полупроводниковых приборов. : А. с. 630983 А ( СССР ) / Амазасян В. Н., Саркисян В. С., Горюнов Н. Н. ; опуб. 1981. Бюл. № 11.

50. Устройство для контроля дефектов фотошаблонов. : А. с. 1630477 А ( СССР ) / Золотаренко В. Ю., Хило Н. А.

51. Устройство регистрации дефектов в прозрачных пленках. : А. с. 1510521 А1 ( СССР ) / Михайлов Л. В., Михайлова Т. Г., Госьков П. И.

52. Хорн Б.К. Зрение роботов / Б. К. Хорн. – М. : Мир, 1989.

53. Цифровая оптика. Обработка изображений и полей в экспериментальных исследованиях. – М. : Наука, 1990.

54. Цифровое телевидение / под ред. М. И. Кривошеева. – М. : Связь, 1980. – 264 с.

55. Цифровое кодирование телевизионных изображений / под ред. И. И. Цуккермана. – М. : Радио и связь, 1981. – 240 с.

56. Харатишвили Н. Г. Цифровое кодирование с предсказанием непрерывных сигналов / Н. Г. Харатишвили. – М. : Радио и связь, 1986. – С. 3–25.

57. Ярославский Л. П. Введение в цифровую обработку изображений / Л. П. Ярославский. – М. : Сов. радио, 1979.

58. Ballester .Filling-in by joint interpolation of vector fields and grey levels / Ballester, M. Bertalmio, V. Caselles, G. Sapiro, and J. Verdera. University of Minnesota IMA TR, April 2000.

59. Bertozzi The mathematics of moving contact lines in thin liquid films / Bertozzi. // Notices Amer. Math. Soc., – 1998. –Vol. 45, No. 6. – P. 689–697.

60. Efros. Texture synthesis by non-parametric sampling / Efros and T. Leung. // Proc. IEEE International Conference Computer Vision ; September 1999. – Corfu, Greece. – P. 1033–1038.

61. Edward R. A Generalized Class of Fractal-Wavelet Transforms for Image Representation and Compression / R. Edward, Vrscay. Internet, e-mail: evrscay@links.uwaterloo.ca, 1998.

62. Fisher Y. Fractal Image Compression / Y. Fisher. SIGGRAPH 92 Course Notes. e-mail: yfisher@ucsd.edu

63. R. Hamzaoui Codebook clustering by self-organizing maps for fractal image compression / R. Hamzaoui, NATO ASI // Conf. Fractal Image Encoding and Analysis, Trondheim, July 1995, Fractals, Volume 5, April 1997.

64. Hirani. Combining Frequency and spatial domain information for fast interactive image noise removal / Hirani, T. Totsuka. // Computer Graphics ; SIGGRAPH 96, 1996. – P. 269–276.

65. Kenney. A new image processing primitive: reconstructing images from modified flow fields / Kenney, J. Langan. – 1999. (Preprint / University of California Santa Barbara).

66. Marquina Explicit algorithms for a new time dependent model based on level set motion for nonlinear deblurring and noise removal / Marquina, S. Osher. UCLA CAM Report 99-5, January 1999.

67. A. C. Kokaram Detection of missing data in image sequences / A. C. Kokaram, R. D. Morris, W. J. Fitzgerald, P. J.W. Rayner. // IEEE Transactions on Image Processing. – 1995. – No. 11(4). – P. 1496–1508.
68. Birchfield S. An Introduction to Projective Geometry (for computer vision) [Электронный ресурс] / S. Birchfield.1998. – Режим доступа : <http://www.dai.ed.ac.uk/Cvonline/geom.htm>.
69. Braverman. Photoshop retouching handbook / Braverman. IDG Books Worldwide, 1998.
70. Heeger. Pyramid based texture analysis/synthesis / Heeger, J. Bergen. // Computer Graphics. SIGGRAPH 95, 1995. – P. 229–238.
71. G. Emile-Male. The Restorer's Handbook of Easel Painting / G. Emile-Male. Van Nostrand Reinhold, – New York, 1976.
72. H.K. Zhao. A variational level-set approach to multiphase motion. / H.K. Zhao, T. Chan, B. Merriman, and S. Osher J. // Computational Physics. – 1996. – No. 127. – P. 179–195.
73. J. Tumblin «LCIS: A boundary hierarchy for detail-preserving contrast reduction,» / J. Tumblin and G. Turk // Computer Graphics ; SIGGRAPH 99, 1999. – P. 83–90.
74. Jahne B. Digital Image Processing: Concepts, Algorithms, and Scientific Applications / B. Jahne. – Berlin : Springer-Verlag, 1993.
75. Keys R. G. Cubic convolution interpolation for Digital Image Processing / R.G. Keys. // IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing. – 1981. Vol. ASSP-29. – P. 1153–1160.
76. Kozhemiako V. P. Speeding up of fractal image compression / V. P. Kozhemiako, K. M. Zhukov, S. Pika // Proceeding of SPIE. – 2001. – Vol. 4425. – P. 9–16.
77. L. Alvarez, Image selective smoothing and edge detection by nonlinear diffusion / L. Alvarez, P. L. Lions, J. M. Morel. // SIAMJ. – 1992. – No. 29. – P. 845–866.

78. L. Rudin Nonlinear total variation based noise removal algorithms / L. Rudin, S. Osher and E. Fatemi. // *Physica D.* – 1992. – No. 60. – P. 259–268.
79. Namhol A. Image compression with a hierarchical neural network / A. Namhol, H. S. Steven, M. Arozullah. // *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems.* – 1996. – № 32. – P. 326–337.
80. M. Nitzberg *Filtering, Segmentation, and Depth*, / M. Nitzberg, D. Mumford, T. Shiota. – Berlin : Springer-Verlag, 1993.
81. P. Perona Scale-space and edge detection using anisotropic diffusion / P. Perona and J. Malik. // *IEEE-PAMI.* – 1990. – No. 12. – P. 629–639.
82. Parker A. J. Comparison of interpolating methods for Image Resampling / A. J. Parker, R. Kenyon, D.E. Troxel. // *IEEE Trans. Medical Imaging.* – 1983. – Vol. MI-2, No.1. – P. 31–39.
83. Petukh A.M. Statistical block compression of images / A. M. Petukh, V. P. Kozhemiako, V. P. Maidanuik, O. V. Rudyi // *Proceeding of SPIE.* – 2001. – Vol. 4425. – P. 92–96.
84. Pulcini G. *Fractal Image Compression through Iterated Function Systems [Электронный ресурс]*/ G. Pulcini, V. Verrando, R. Rossi. – Режим доступа : <http://www.webcom.com>.
85. Rahman C. A New Approach for Compressing Color Images using Neural Network / C. Rahman, A. Rahman // *CIMCA 2003 Proceedings/ISBN 1740880684* – M. : Mohammadian (ed). – 2003. – P. 315–326.
86. S. Masnou Level-lines based disocclusion / S. Masnou and J.M. Morel. // *5th IEEE Int'l Conf. on Image Processing, Chicago, IL. Oct 4–7, 1998.*
87. S. Osher Fronts propagating with curvature dependent speed: algorithms based on Hamilton-Jacobi formulations / S. Osher and J. Sethian. // *Journal of Computational Physics.* –1988. – No. 79. – P. 12–49.
88. S. Osher. Ppersonal communication / S. Osher, October 1999.

89. S. Walden. *The Ravished Image* / S.Walden. St.Martin's Press, New York,1985.

90. System and method for image recovery.: US 5266805 Albert D. Edgar, Austin, Tex. Nov. 30, 1993.

91. T. Chan Mathematical models for local deterministic inpaintings. / T. Chan and J. Shen UCLA CAM TR 00-11, March 2000.

92. V. Kozhemyako Digital Image Filtration / V. Kozhemyako, A. Reyda, R. Grinchishin, O. Asmolova // Збірник тез доповідей міжнародної науково-технічної конференції ; Оптиелектронні інформаційні технології «Фотоніка–ОДС 2000». – Вінниця : УНІВЕРСУМ–Вінниця, 2000. – С. 46.

93. V. Kozhemyako Reducing a level to slides granulations using digital image processing / V. Kozhemyako, V. Gayda, A. Reyda // Збірник тез доповідей міжнародної науково-технічної конференції ; Оптиелектронні інформаційні технології «Фотоніка–ОДС 2000». – Вінниця : УНІВЕРСУМ–Вінниця, 2000. – С. 40.

94. Woods J.W. *Two-Dimensional Digital Signal Processing 1* / J. W. Woods. Berlin e. a., 1981.

*Наукове видання*

**Петух Анатолій Михайлович  
Рейда Олександр Миколайович  
Майданюк Володимир Павлович  
Кожем'яко Володимир Прокопович**

## **ІНФОРМАЦІЙНО - ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ ВІД- НОВЛЕННЯ І УЩІЛЬНЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ**

Монографія

Редактор С. Могила

Оригінал-макет підготовлено Рейдою О.

Підписано до друку 26.10.2011 р.  
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.  
Гарнітура Times New Roman.  
Друк різнографічний. Ум. др. арк. 8,32  
Наклад 100 прим. Зам № 2011-158

Вінницький національний технічний університет,  
КІВЦ ВНТУ,  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,  
ВНТУ, ГНК, к. 114.  
Тел. (0432) 59-85-32.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано у Вінницькому національному технічному університеті,  
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі,  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,  
ВНТУ, ГНК, к. 114.  
Тел. (0432) 59-81-59

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.