

збільшенням терміну експлуатації інгібованих поліетиленових плівок у складських умовах до трьох років показник киснепроникності різко зростає, що було наслідком активізації деструктивних процесів, утворення наскрізних пор та руйнування цілості покриття.

Одночасне введення в полімерну матрицю під час виготовлення пластифікатора та інгібітора стабілізувало дифузійні процеси у матеріалі протягом всього терміну експлуатації.

1. Доманцевич Н.И., Золотовицкий Я.М., Копыл О.Н., Речиц Г.В. Влияние ингибиторов коррозии на паро- и кислородопроницаемость полиэтиленовой пленки // *Пласт. Массы*. – 1987. – № 10. – С. 32 – 33. 2. Атоян К.М., Прицкер В.Л., Ковалиско Ю.М. и др. Консервация изделий автомобилостроения ингибированными полимерными покрытиями. – М., 1981. 3. Гуль В.Е., Федонин В.Ф., Бершова Т.М., Горюнова О.М. Устройство для определения газопроницаемости материалов. Авт. св. СССР 516947. МКИ G01N 15/08, A22C 13/00. Заявл. 23.12.74, опубл. 05.06.76. Бюл. № 21. 4. Шушунова Н.Ю., Хватова Н.Л., Славицкая Н.Н. Метод измерения газопроницаемости полимерных пленок // *Межвуз. сб. "Физико-химические основы синтеза и переработки полимеров"*. – Горький: изд-во Горьк. ун-та, 1982. – С. 113 – 114. 5. Ткаченко Т.И., Ильина Э.Г., Корецкая Л.С. Газопроницаемость полимерных покрытий из расплавов тер-

мопластов // *Лакокрасочные материалы и их применение*. – 1984. – № 4. – С. 33 – 34. 6. Корнеев Н.В., Матвеев В.В., Матвеева О.А. Методика исследования микропористости сепараторов на газопроницаемость // *Тез. докл. Укр. респ. конф. по электрохимии*. Харьков, декабрь 1984 г. – Киев, 1984. – С. 69 – 70. 7. Полимерные пленки для выращивания и хранения плодов и овощей / Под ред. С.В. Генеля, В.Е. Гуля. – М., 1985. 8. Говарикер В.Р., Висванатхан Н.В., Шридхар Дж. Полимеры. – М. – 1990. 9. Ухарцева И.Ю., Гольдаде В.А., Паркалова Е.И. Некоторые принципы регулирования проницаемости полимерных упаковочных материалов // *Пласт. массы*. – 2003. – № 3. – С. 40 – 42. 10. Доманцевич Н.И. Влияние ультра-фиолетового опроминення на структуру та властивості модифікованих пліткових покриттів // *Фізика і хімія твердого тіла*. – 2000. – Т. 1. – № 2. – С. 273 – 277. 11. Генель С.В., Патракий А.П., Комар С.Ш., Чеботарёва Н.И. Об изменении свойств полимерных плёнок при ускоренном старении // *Пласт. массы*. – 1965. – № 12. – С. 63. 12. Влияние наполнителей на проницаемость плёнок из ПЭНД / Фатовев И.И., Назаров В.Г., Минина Е.М., Громов А.Н., Манин В.Н. // *Пласт. массы*. – 1988. – № 1. – С. 37 – 39. 13. Голосова Л.В. Некоторые свойства термопластичных пленочных материалов // *Пласт. Массы*. – 1968. – № 12. – С. 27 – 29. 14. Золотовицкий Я.М., Пинчук Л.С., Речиц Г.В., Гольдаде В.А., Алешкевич Е.Н. Пластифицированные полимерные материалы, содержащие комплекс ингибиторов коррозии // *Защита металлов*. – 1987. – Т. 23. – № 1. – С. 93 – 97.

УДК 621.372

ВИМІРЮВАННЯ КУТІВ НА ЗОБРАЖЕННІ

© Опир Наталія, 2006

Фізико-механічний інститут НАН України,
вул. Наукова, 5, 79601, Львів, Україна

Запропоновано метод вимірювання величини кутів на багатоградаційному зображенні з використанням перетворення Хафа для знаходження аналітичного виразу прямих – сторін кутів. Наведено порівняння ефективності вимірювання кутів запропонованим методом і відомим методом моментів.

Предложен метод измерения величины угла на многоградационном изображении с использованием преобразования Хафа для установления аналитических выражений прямых – сторон углов. Приведено сравнение эффективности измерения углов предложенным методом и известным методом моментов.

The corner measurement method on gray scale image by using Hough transform for analytical representation for corner side is propose. The comparison of corner measurement efficiency of proposed method and known method of moment is make.

Вступ. Відтворення геометрії сцен є однією з важливих задач комп'ютерного зображення. Відповідна точність вимірювання залежить від калібрування системи і точності розпізнавання певних об'єктів і

таких їхніх рис, як краї, кути. Вони відіграють важливу роль у ідентифікації об'єктів на сцені, для встановлення відповідності в стереоскопії, вимірюванні місцезнаходження об'єктів. Як правило, важко отримати

точне вимірювання на зображенні, оскільки різноманітна природа шуму на зображенні [1]: електронний шум, оптичний шум, недосконалість програмного забезпечення. Нові технології дають змогу коригувати перші два типи шумів. Найістотнішу похибку у вимірювання вносить виявлення певних рис. Тому питання збільшення точності розпізнавання геометричних примітивів стосується багато статей. Алгоритми пошуку поділяються на дві групи [2]. До першої групи належать ті алгоритми, які використовують бінарне представлення границь і вздовж цих границь шукають максимальне значення кривини. Інша група алгоритмів призначена для багатоградаційних зображень. Ці технології для виявлення кутів, їхньої орієнтації часто використовують детектори кутів [3, 4, 5], вимірюючи градієнти чи кривину поверхні. Однак для вимірювання кутів використовують інші підходи. Основні параметри кутів на зображенні [6]: кут, що стягується відповідною дугою, орієнтація кута, контраст, заокругленість, кривина країв, що утворюють кут.

Дослідження, описані у цій роботі, будуть стосуватися визначення величини кута, що стягується дугою. Для розв'язання цієї задачі в роботі [6] запропоновано метод моментів, який можна використовувати, коли відоме місце розташування вершини кута і зображення не зашумлене. Велика похибка обчислення кута буде при використанні невеликого радіуса кругового вікна, що робить непридатним застосування цього методу для обчислення кутів з короткими сторонами. Метод потребує також високої роздільної здатності зображення, оскільки тоді збільшується кількість точок при обчисленні кутів і зменшується похибка.

Мета роботи. Необхідно розробити спосіб вимірювання кутів об'єктів на зображенні [7], який позбавлений зазначених недоліків, а саме дає змогу вимірювати кути на зашумлених зображеннях.

Аналіз основних досліджень. Отримані з відеокамери зображення об'єктів зашумлені, з розмитими границями. Для вибору методів обробки і розпізнавання прямих, які утворюють сторони кутів, зупинимось на такій моделі.

Модель кута. Розглянемо область, що містить три зони: P_1 і P_2 – мають однорідні яскравості A і B ,

та третя P_3 – гауссівський змаз перших двох областей з ядром g [1]:

$$I_m = \begin{cases} A, \text{ якщо } (x, y) \in P_1, \\ B, \text{ якщо } (x, y) \in P_2, \\ \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} g(\alpha)g(\beta)I'(x-\alpha, y-\beta)d\alpha d\beta, \text{ якщо } (x, y) \in P_3. \end{cases} \quad (1)$$

де для прямого кута (для спрощення моделі) з вершиною в т. (x'_0, y'_0) .

$$I'(x, y) = \begin{cases} A, \text{ якщо } x \geq x'_0 \text{ і } y \leq y'_0 \\ B, \text{ в іншому випадку} \end{cases} \quad (2)$$

Крім того, на все зображення накладений гауссівський шум $\eta(x, y)$, який імітує шум камери [8].

$$\tilde{I}_m = I_m + \eta(x, y) \quad (3)$$

Пропонований спосіб вимірювання кутів на зображенні складається з трьох кроків: виявлення границь об'єктів, виділення ліній – сторін кутів, обчислення параметрів кутів з вершиною в точці перетину ліній. Кожна з вищенаведених задач є окремою проблемою в обробці зображень і їхнього дослідження стосується багато робіт. Серед відомих методів виберемо найпридатніші для розв'язання конкретної задачі – визначення величини кута на зображенні, що відповідає вищенаведеній моделі.

Виділення границь. Границі – дуже важлива риса кожного зображення. Розрізняють такі види границь [9]: сходинка, вигнутий і увігнутий нахил, гострий дах, гостра впадина, драбинка (дві сходинки), пік. Ці моделі перекривають більшість типів границь, які генеруються фізичними об'єктами і відображаються на зображенні. Детектори країв, як правило, призначені для певного типу границь. Згідно з нашою моделлю представлення кута ми зупинимось на детекторах границь типу сходинка. Здебільшого такий тип границі подають неперервною функцією яскравості і детектування границь передбачає дві операції: фільтрування і диференціювання [9]. Якщо зображення з камери зашумлене, то перед виділенням границь необхідно зменшити вплив шуму. Низькочастотна фільтрація найчастіше використовується для уникнення шумів. Як правило, оператори змазу розмивають границі і непередбачено змінюють градації сірого на зображенні.

Зважаючи на об'єкт досліджень, алгоритми фільтрації не повинні розмивати границі кутів на зображенні. Ядра фільтрів теж повинні адаптуватися

до зашумленості в певному околі, опосередковано враховуючи середньоквадратичне відхилення σ рівня "сірого". Враховуючи модель кута, використаємо гауссівські ядра для змазу зображення чи ядра типу лапласіан – гауссіан. Кращий результат отримують у разі використання ядер, які залежать, крім параметра σ , ще і від порогів фільтрації. Це детектори країв Канні [10] і ядра, запропоновані Сміс [3]. Ефективним є також використання методів виділення границь на зашумленому зображенні, що враховують особливості виділених об'єктів [11].

Виділення ліній – сторін кутів. Розпізнавання ліній на зображенні – одна з ключових задач у комп'ютерному зображенні. Часто вживаним інструментом для виявлення ліній є перетворення Хафа [12] і його модифікації [13, 14]. Перетворення Хафа також застосовують для виявлення кутів [15]. Однак для вимірювання кутів потрібно дещо в іншому аспекті використовувати ці перетворення. Концепція перетворень Хафа полягає у визначенні матриці відповідності між просторами зображення і параметрів. Стандартне перетворення Хафа (SHT-Standard Hough Transform) застосовують до бінарних зображень. Ідея перетворення полягає в знаходженні прямих, які проходять через велику кількість точок, які нас цікавлять [12].

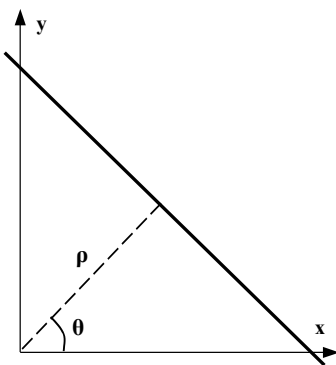


Рис. 1. Параметричне представлення прямої

Нехай сім'я прямих на площині задана параметричними рівняннями

$$h(\rho, \theta, x, y) = x \cdot \cos \theta + y \cdot \sin \theta - \rho = 0, \quad (4)$$

де h – деяка функція; (x, y) – множина параметрів простору; (ρ, θ) множина параметрів сім'ї прямих (ρ – довжина перпендикуляра, опущеного на пряму з

початку координат; θ – кут між перпендикуляром до прямої і віссю X) (рис.1).

У перетворенні Хафа обчислюють матриці акумуляторів у просторі параметрів (ρ, θ) . Введемо спосіб обчислення проходження прямої через комірку $S(\rho, \theta)$ як

$$r(x, y, \rho, \theta) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } S(\rho, \theta) \cap \{A : h(X_i, A) = 0\} \text{ непорожнє,} \\ 0 & \text{- в іншому випадку,} \end{cases} \quad (5)$$

де A – вектор параметрів (ρ, θ) .

Перетворення Хафа можна записати:

$$H(S(\rho, \theta)) = \sum r(x, y, \rho, \theta). \quad (6)$$

Кожній комірці фазового простору відповідає акумулятор з певною кількістю точок, які нас цікавлять на зображенні. Кількісний аналіз акумуляторів дає змогу знайти на зображенні прями, на яких розташовано найбільше точок інтересу. Значення параметрів (ρ_i, θ_i) , в яких функція $H(S(\rho, \theta))$ досягає локальних максимумів, є параметрами шуканих прямих ($i=1, n$, де n – кількість прямих).

Визначення величини кута. Знаходять необхідні пари параметрів двох прямих (ρ_1, θ_1) і (ρ_2, θ_2) та визначають точку їхнього перетину – координати вершини кута (x_0, y_0) і кут між ними – φ (рис.2).

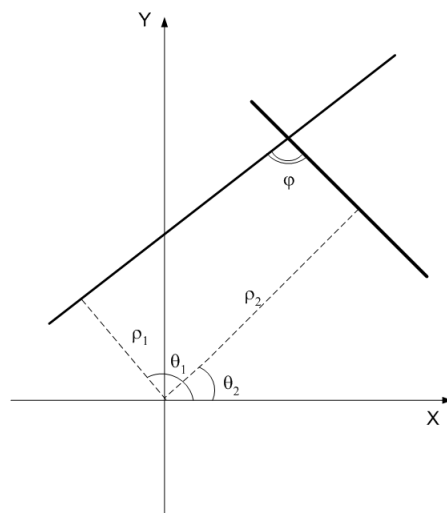


Рис. 2. Визначення кута через параметричне представлення прямих

$$x_0 = \frac{(\rho_1 \times \sin(\theta_2) - \rho_2 \times \sin(\theta_1))}{\cos \theta_1 \times \sin \theta_2 - \cos \theta_2 \times \sin \theta_1}, \quad (7)$$

$$y_0 = \frac{\rho_1 \times \cos(\theta_2) - \rho \times \cos(\theta_1)}{\cos(\theta_2) \times \sin(\theta_1) - \cos(\theta_1) \times \sin(\theta_2)}, \quad (8)$$

$$\varphi = 180^\circ - |\theta_2 - \theta_1| \quad (9)$$

Враховуючи наперед задану додаткову інформацію щодо можливого розташування кутів або застосовуючи додатковий пошук напрямів сторін кута на зображенні, визначають шуканий кут згідно з виразом (9), або як суміжний до величини кута φ .

Розглянемо застосування запропонованої технології визначення кутів величиною 90° на таких синтезованих зображеннях:

– зображення з чіткими границями сторін кутів (рис. 3, а);

– зображення з розмитими границями кутів згідно з моделлю (3) (рис. 4, а);

– зашумлене зображення з розмитими границями кутів згідно з моделлю (4), де на зображення (рис. 4, а) накладений гауссівський шум з одиничним середньоквадратичним відхиленням і рівнем сигнал/шум=1,5 (рис. 5, а).

Кожне з зображень (рис. 3, а, рис. 4, а, рис. 5, а) оброблене оператором виділення країв Канні з середньоквадратичним відхиленням $\sigma=2$ та порогами бінаризації $R_1=0,01 \cdot I_{\max}$, $R_2=0,04 \cdot I_{\max}$. Результат дії цього оператора – бінарне зображення країв. Для кращої видимості виділених країв, це зображення показано чорним кольором і нанесено на вхідне (рис. 3, б, рис. 4, б, рис. 5, б).

Відповідний вигляд розподілу значення акумуляторів, що залежить від (ρ, θ) із застосуванням перетворень Хафа (6) зображений на рис. 3, в, рис. 4, в., рис. 5, в. Визначаючи параметри локальних максимумів, знаходять параметри прямих. Для всіх вхідних зображень параметри прямих такі:

$$\rho_1 = -15, \theta_1 = 60^\circ,$$

$$\rho_2 = -1, \theta_2 = 148^\circ,$$

$$\rho_3 = 19, \theta_3 = 60^\circ \text{ (рис. 3, з, рис. 4, з, рис. 5, з).}$$

Визначимо шукані кути φ_1 та φ_2 : $\varphi_1 = 92^\circ$, $\varphi_2 = 92^\circ$;

Як видно з наведених прикладів, кути виміряно неточно. Кожен з перших двох кроків обробки зображення, перелічених вище, вносить похибку у вимірювання кутів. Проблему точного виділення контурів нині не розглядають. Припустимо, що бінарний контур кута отриманий оптимальним способом. Тоді необхідно якнайточніше виявити прями, які є сторонами кута на зображенні. Збільшити точність вимірювання кутів можливо, зменшуючи крок дискретизації параметрів ρ і θ або використовувати припасування ліній (апроксимація точок, які належать до лінії) [16,17,18].

Для порівняння ефективності запропонованого методу визначимо кути φ_1 і φ_2 , застосовуючи метод моментів [6]. Припустимо, що місцезнаходження вершин кутів відоме. В таблиці наведено величини кутів φ_1 і φ_2 для зображень, поданих на рис. 3, а, рис. 4, а, рис. 5, а. Оскільки тестове зображення невеликих розмірів, то величини кутів обчислені за максимально можливих радіусів кругового вікна. Щоб знайти кута φ_1 радіус вікна приймають 13 пікселів, а для кута φ_2 – 9 пікселів.

Аналіз результатів, наведених в таблиці, показує, що метод моментів [6] непридатний для визначення кутів на наведених тестових зображеннях, оскільки неможливо задати більший радіус кругового вікна в якому визначають кути для збільшення точності вимірювань.

Величини кутів φ_1 і φ_2

	Зображення на рис. 3, а	Зображення на рис. 4, а	Зображення на рис. 5, а
Кут φ_1	101°	99°	100°
Кут φ_2	102°	105°	106°

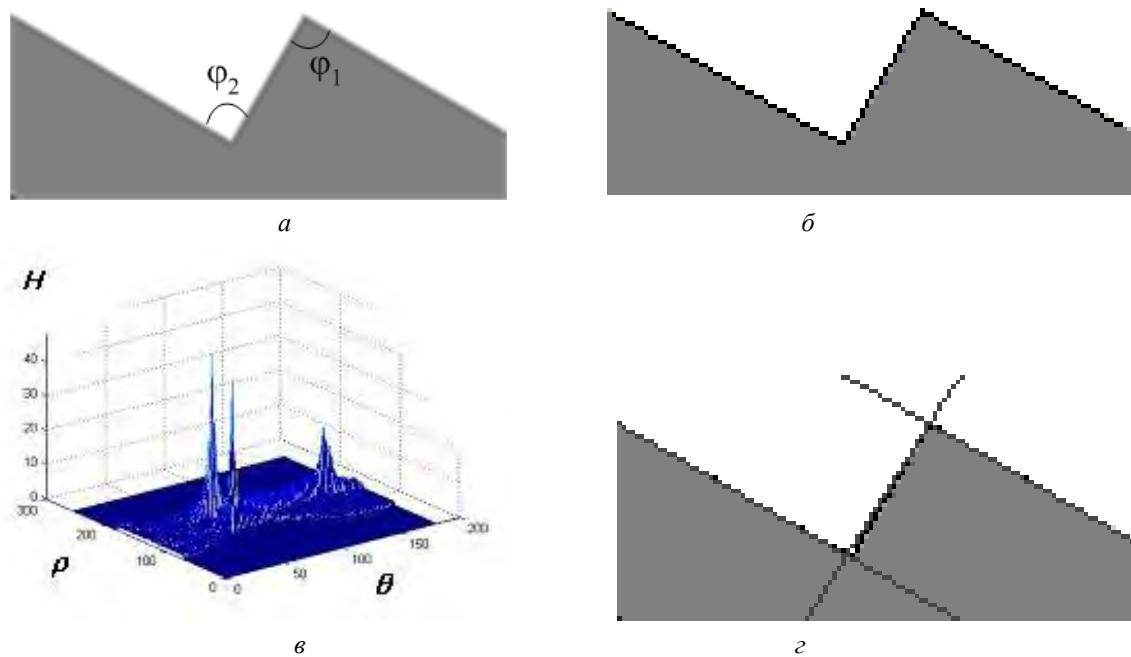


Рис. 3. Синтезоване зображення з чіткими границями (а), виділеними краями кутів (б) та вигляд розподілу акумуляторів (в), значення параметрів локальних максимумів яких є параметрами ліній (г)

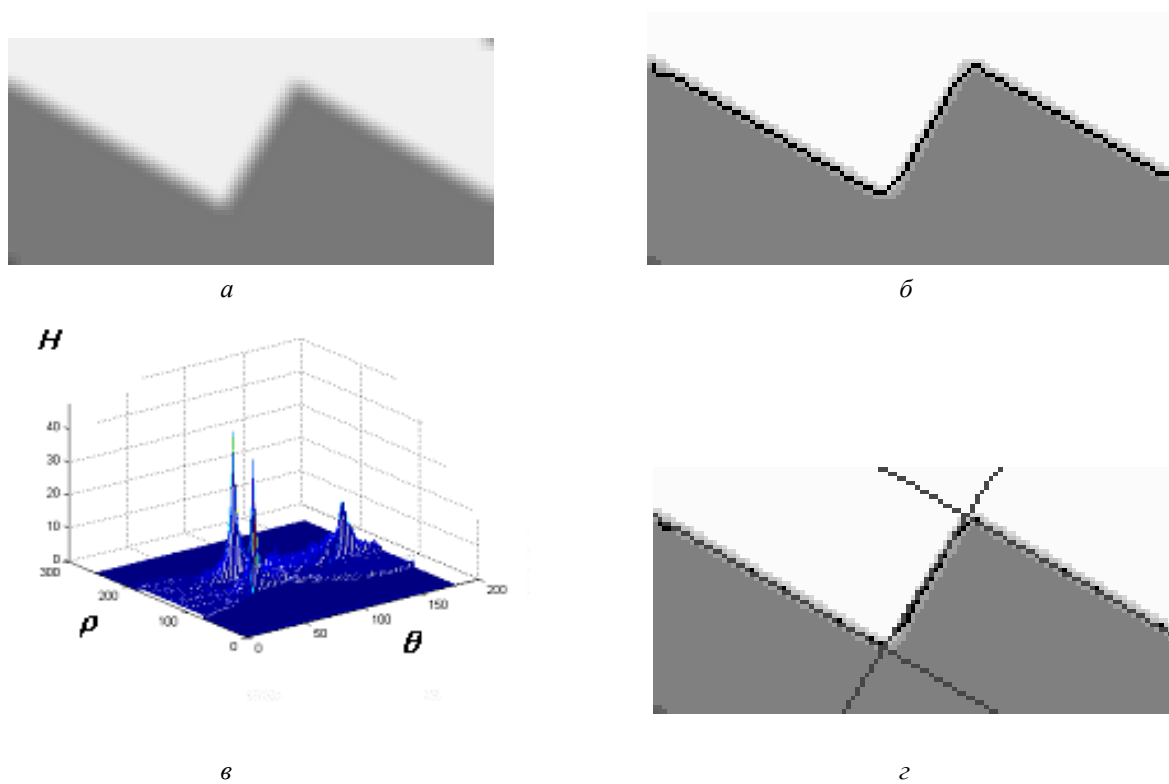


Рис. 4. Синтезоване зображення з розмитими границями (а), виділеними краями кутів (б) та вигляд розподілу акумуляторів (в) значення параметрів локальних максимумів яких є параметрами ліній (г)

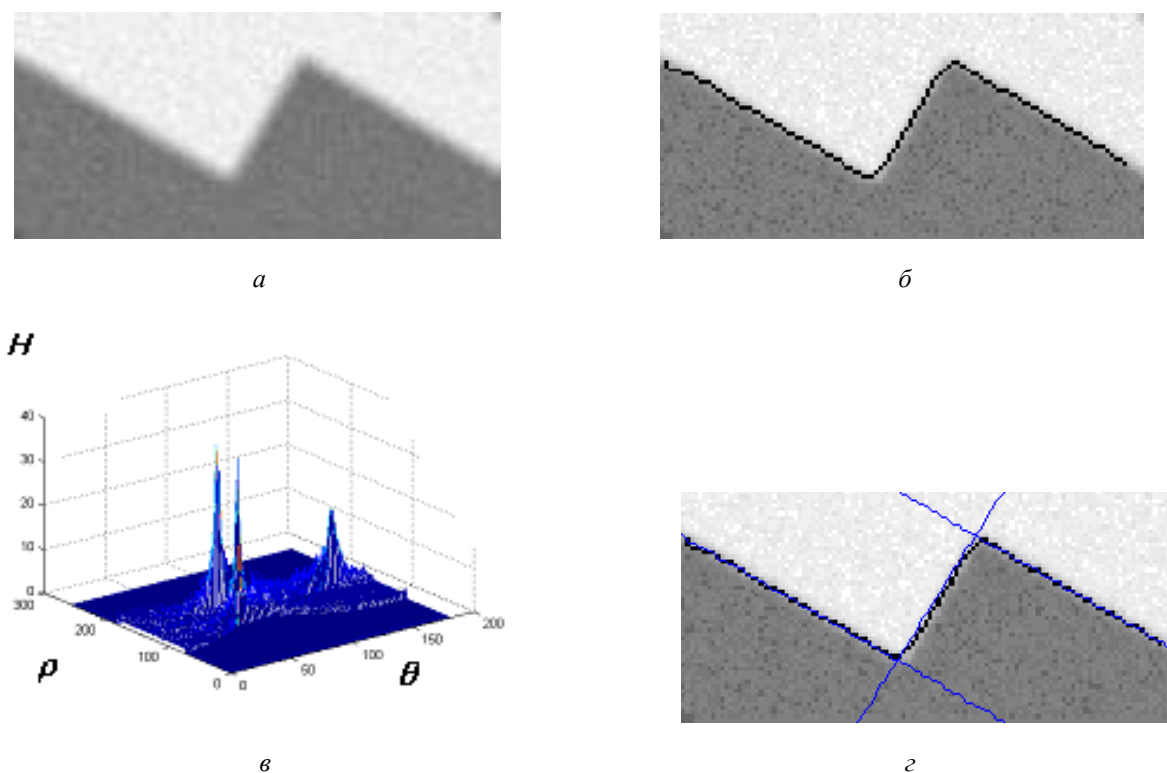


Рис. 5. Зашумлене синтезоване зображення з розмитими границями (а), виділеними краями кутів (б) та вигляд розподілу акумуляторів (в), значення параметрів локальних максимумів яких є параметрами ліній (г)

Висновки. Запропонований метод визначення кутів на зображенні дає змогу виявляти (розпізнавати) і вимірювати кути, що стягуються дугою на багатоградацийному зображенні. Точність кутів, вимірюваних запропонованим методом, значно вища, ніж точність вимірювання кутів методом моментів[6] може бути достатньою для задач класифікації. Збільшити точність вимірювання кутів можна, застосовуючи апарат припасування ліній-сторін кутів на бінарному зображенні та збільшуючи роздільну здатність зображення чи дискретність параметрів ρ і θ в перетворенні Хафа. Збільшується час обчислень шуканих параметрів, що визначають рівняння прямих – сторін кутів.

1. Brand P. Mohr R. Accuracy in Image measure// Spie Videometrics III, Boston, USA,1994. –P.92–98. 2. Deriche R. Giraudon G. A computational approach for coner and vertex detection// In'l J.of computer Vision. – 1993. – V.10. – No.2. – P.101–124. 3.Smith S.M, Brady J.M Susan. A New Approach To Low Level //Image Processing, IJCV(23), 1997. – P. 45–78. 4. Kitchen L., Rosenfeld A. Grey-level coner detection//Parten Recog. – 1982. – No. 1.– P.95–102. 5. Ji Q., Haralick R. M. Breakpoint Detection using covariance propagation// IEEE

transaction and pattern analysis and machine intelligence. – 1998. – V.20– P.845–851. 6. Paul L. Rosin. Measuring corner properties// Computer Vision and Image Understanding. –V.73. – No.2. – 1999. – p.291–307. 7. Опир Н. В. Вимірювання кутів на зображенні з використанням перетворень Хафа. // Збірник “Матеріали міжнародної конференції з управління “Автоматика 2004”. –К., 2004. 8. Roie R. A., Cox I.J. An analysis of camera noise // Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 1992. – V.14. – No.6. – P.671–674. 9. Chidiac H., Ziou D. Classification og image edges.// Vision interface '99.,Trios-Rivieres, Canada, 1999, p. 17-24. 10. Canny J. A computation approach to edge detection // IEEE Transaction on Pattern Analysis an Machine Intelligence. – 1986. – V8. – №6. – P. 679–698. 11. Garnica C., Boochs F., Twardochlib M. A new approach to edge- preserving smooth for edge extraction and image segmentation. IAPRS, Amsterdam, 2000. –vol. XXXIII. – P. 295–303. 12. Duda R.O., Hart P.E. Use of the Hough transform to detect lines and cures in pictures// Comm.ACM. – 1972.– V.15. – No. 11. – P.11–15. 13/Прэмм У. Цифровая обработка изображений. – М., 1982. 14. Kalviainen H., Hirvonen L. Xu, and Oja E. Probabilistic and non-probalistic Hough Transforms: Overview and Comparisons// Image and Vision Computing. 1995, – 5. –N.5. – P.239–252. 15. Shen F., Wang H. Coner detection based on modified Hough

transform.// *Pattern Recognition letters*. – 2002. – , V.23. – N.8. – P.1039–1049. 16. Fischler M.A., Bolles R.C. *Random Sample Consensus: A paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography*//*CACM*, 24. – 1981. – P.382–395. 17. Turan J., Farkash P. *Line fitting using Hough-like Procedure*// *Radioengineering*. – 2001. – Vol.10. – No.1. – P.25–30. 18. Шульга В.И. *Комплекс помехоустойчивых*

процедур аппроксимации контурных границ и распознавания объектов на контурных изображениях (исследовательская разработка)// *Институт кибернетики имени В.М. Глушкова АН Украины, Киев, 1992, 75 стр./Депонировано во Всесоюзном институте научной и технической информации (ВИНИТИ), Москва, 04.01.92, №12-В92. <http://shulga.tripod.com/GEOLIN/ghnfl1.htm>.*

УДК 62-492.2

МОДЕЛЬ ВИМІРЮВАННЯ РОЗМІРІВ ПОРОШКОПОДІБНИХ МАТЕРІАЛІВ

©Голдак Андрій, Шаповалов Георгій, 2006

Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра інформаційно-вимірювальних технологій,
вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

Розглянуто моделювання вимірювання розмірів частинок оптичним методом, що ґрунтується на розсіянні світла частинками порошку. Показано результати застосування методу статистичного усереднення до розв’язання інтегрального рівняння, що виникає у разі застосування вибраного методу.

Рассмотрено моделирование измерения размеров частиц оптическим методом, который основан на эффекте рассеяния света частицами порошка. Показаны результаты применения метода статистического усреднения к решению интегрального уравнения, которое возникает при применении этого метода.

The simulation of measuring of particle size distribution based on light scattering method is considered. The results of solving integral equation obtained from the method using statistical averaging are shown.

Вступ. Вимірювання характеристик порошкоподібних матеріалів є важливим у багатьох галузях науки та техніки. Вимірювання розмірів частинок необхідне для виготовлення різноманітних клеїв, лаків, фарб, медичних препаратів тощо. Інформація щодо розмірів частинок потрібна також для дослідження властивостей аерозолів, для визначення та контролю запиленості приміщень. У цій статті розглянуто моделювання визначення розмірів частинок, в розумінні знаходження функції густини ймовірності $\omega(a)$ випадкової величини a , де a – радіус частинки, для вимірювання розмірів сферичних частинок. У першому наближенні можна припустити, що форма частинок, які досліджуються, є сферичною. Моделювання вимірювання $\omega(a)$ ґрунтується на використанні оптичних методів, а саме на кутовій залежності інтенсивності розсіяного світла від властивостей самих частинок.

Постановка задачі. Необхідно визначити $\omega(a)$ для значень a , що коливаються в межах від 1 до 20

мкм. Прикладом частинок, розміри яких лежать в цих межах, є аерозолі та високоякісні цементи [1]. Модель визначення $\omega(a)$ фактично не залежить від розмірів частинок, які досліджуються. Межі зміни радіуса a були вибрані, з урахуванням задач вимірювання розмірів частинок цементів та аерозолів, а також зумовлені довжиною хвилі наявного He-Ne лазера $\lambda = 0.76$ мкм.

Всі параметри електромагнітної хвилі, що можуть бути виміряні без застосування специфічного обладнання, зводяться до визначення складових вектора Стокса [2]. До його складу входять I – інтенсивність світла, та Q , U , V – складові, що визначають стан поляризації світлового пучка. Для визначення $\omega(a)$ достатньо володіти інформацією стосовно розподілу інтенсивності розсіяного світла залежно від кута спостереження.

Наступним кроком у визначенні функції $\omega(a)$ є розв’язання інтегрального рівняння, що пов’язує інтенсивність світла, розсіяного всіма сферичними частинками, з $\omega(a)$. Це рівняння має вигляд: