

УДК 004.93

Д. І. ЗАГОРОДНЯ

*Тернопільський національний економічний університет, Україна*

## ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ ВИДІЛЕННЯ ХАРАКТЕРНИХ ТОЧОК КОНТУРУ ДЛЯ СИСТЕМ ВІДЕОСПОСТЕРЕЖЕННЯ

*В статті здійснено порівняння методів виділення характерних точок контуру: інтерполяційного, диференціального та на основі вейвлет-аналізу функції кривизни, за критеріями, що базуються на результатах модельної задачі: ймовірність правильного виявлення, ймовірність хибного виявлення та похибка в оцінці координат для систем відеоспостереження. Проаналізовано та графічно представлено результати роботи даних методів. Показано, що для простих геометричних фігур інтерполяційний метод має низьку точність (зміщує характерні точки), диференціальний метод має найкращі показники точності, проте виділяє надлишкові характерні точки (має низьку завадостійкість), а метод на основі вейвлет-аналізу функції кривизни показує найкращі результати в умовах зашумлення.*

**Ключові слова:** системи відеоспостереження, контур зображення, характерні точки, методи виділення характерних точок (диференціальний, інтерполяційний, вейвлет-аналіз функції кривизни).

### Вступ

Застосування різнотипних засобів відеоспостереження стає все більш популярним в зв'язку із збільшеннями їхніх функціональних можливостей [1].

Це дає змогу організувати відповідну безпеку як приватної особи чи майна, так і безпеку особливо важливих об'єктів чи об'єктів підвищеної небезпеки [1-2].

Відомо, що збільшення відеопотоків веде до потреби додаткового їх опрацювання, що, в свою чергу, вимагає додаткових затрат на обчислювальні чи людські ресурси [2]. Тому, методи, що дозволяють зменшити об'єми оброблюваної інформації стають все більш актуальними.

Одним із таких методів є контурний аналіз [3-5], що дозволяє розглядати лише контури зображень. Проте, і в контурі можна виділити певні, характерні точки, при сполученні яких форма контуру зберігається [6]. Врахування лише таких точок значно зменшить обсяг інформації для обробки, що дасть змогу набагато швидше проводити розпізнавання зображень.

Метою даного дослідження є порівняння результатів роботи реалізованих автором методів виділення характерних точок контурів: інтерполяційного [7], диференціального [8] та запропонованого автором методу на основі вейвлет-аналізу функції кривизни [9], заради подальшого використання кращого з них в програмній платформі [10] для побудови ідентифікаційного вектора, що служить основою процесу класифікації зображень системою відеоспостереження.

### Властивості характерних точок

Характерними точками контуру (англ. inflection points) є точки, що знаходяться на ділянках значної кривизни контуру, вони володіють високою локальною інформативністю та передають суть фігури [3, 6, 11].

В загальному, характерні точки володіють наступними властивостями [12, 13]:

1) знаходяться в одному і тому ж місці контуру зображення, незважаючи на зміни в масштабі або повороті (не залежать від афінних перетворень контуру зображення);

2) явно виділяються на фоні інших точок контуру зображення (унікальні в деякому околі) так, щоб можна було виділити і зіставити характерні точки;

3) займають невелику область зображення, щоб зменшити ймовірність чутливості до геометричних і фотометричних спотворень між двома зображеннями, знятих з різних точок огляду;

4) методи виділення характерних точок повинні бути стійкими до шумів та помилок;

5) час виявлення характерних точок на контурі зображення має бути допустимим для відповідної предметної області;

6) число виявлених точок має бути достатнім для збереження форми контуру фігури. Проте, оптимальна кількість характерних точок залежить від предметної області та сфери використання. В ідеальному випадку, кількість виявлених характерних точок має адаптивно визначатися відповідно до бажаного в конкретній предметній області порогу деталізації.

### Вибір критеріїв для порівняння методів виділення характерних точок

В основному, всі методи виділення характерних точок контуру поділяються на три групи: диференціальні, полігональні та інтерполяційні [11, 14]. Слід зазначити, що в зв'язку із складністю в реалізації, полігональні методи планується проаналізувати в подальших дослідженнях.

Порівняння методів полягає у виявленні характерних точок на контурах зображень простих геометричних фігур, оскільки для таких фігур наперед відоме розміщення характерних точок – це будуть вершини многокутників. Тому, кількість характерних точок в розв'язку модельної задачі буде дорівнювати кількості вершин многокутника.

Для порівняння результатів опрацювання зображень методами виділення характерних точок контуру запропоновано використати три критерії:

- 1) ймовірність правильного виявлення;
- 2) ймовірність хибного виявлення;

3) похибка в оцінці координат, що базуються на результатах модельної задачі.

Ймовірність правильного виявлення обчислюється як відношення кількості значень, що відповідають заданій умові до кількості значень, які б мали відповідати заданій умові. В нашому випадку, це відношення кількості характерних точок, що співпадають з модельними характерними точками до кількості модельних характерних точок:

$$P = \frac{C_{\text{quality}}}{K}, \quad (1)$$

де  $P$  – значення ймовірності правильного виявлення,

$C_{\text{quality}}$  – кількість характерних точок, виявлених алгоритмом, що співпадають з модельними характерними точками,

$K$  – кількість характерних точок, розв'язок модельної задачі.

Значення  $P$  знаходиться в межах  $P \in [0..1]$ . Чим більшим є значення  $P$ , тим краще виділені характерні точки. Значення  $P = 1$  отримуємо у випадку, коли виділені алгоритмом характерні точки співпадуть із всіма модельними характерними точками, а значення  $P = 0$  – коли жодна характерна точка, виділена алгоритмом, не співпаде з модельною характерною точкою.

Проте, даний критерій не враховує того факту, що за допомогою методу можна виділити набагато більше характерних точок, ніж є модельних характерних точок та вони можуть не співпадати з ними. Тому також було запропоновано використати ймо-

вірність хибного виявлення та похибку в оцінці координат.

Ймовірність хибного виявлення характерних точок обчислюється за формулою:

$$Q = \frac{C_{\text{total}} - C_{\text{quality}}}{C_{\text{total}}}, \quad (2)$$

де  $Q$  – ймовірність хибного виявлення,  $C_{\text{total}}$  – загальна кількість виявлених алгоритмом характерних точок.

Значення  $Q$  знаходиться в межах  $Q \in [0..1]$ . Чим більше значення  $Q$ , тим гірші результати функціонування методу. Значення  $Q = 1$  отримуємо у випадку, коли жодна з виділених алгоритмом характерних точок не буде співпадати з модельними характерними точками, а значення  $Q = 0$  – коли кількість та всі виділені алгоритмом характерні точки будуть співпадати з модельними характерними точками.

Похибка оцінки координат полягає в тому, щоб обчислити середнє арифметичне зміщення між модельними характерними точками контуру та найближчими до них характерними точками, виділеними алгоритмом. Обчислюється за формулою:

$$E = \frac{\sum_{i=1}^K \|(x_{\text{model},i}; y_{\text{model},i}) - (\hat{x}_i; \hat{y}_i)\|}{K}, \quad (3)$$

де  $E$  - похибка оцінки координат,

$$(\hat{x}_i, \hat{y}_i) = \arg \min_{(x, y) \in N} \|(x, y) - (x_{\text{model},i}, y_{\text{model},i})\|,$$

$N$  – множина всіх характерних точок, виявлених алгоритмом,

$(x_{\text{model},i}, y_{\text{model},i})$  –  $i$ -та характерна точка, розв'язок модельної задачі.

Чим менше значення  $E$  тим точніше алгоритм виявляє характерні точки.

### Аналіз результатів

На рис. 1 та рис. 2 графічно представлено результати функціонування методів реалізованих в пакеті прикладних програм Matlab у вигляді виконуваних m-скриптів: (а) інтерполяційного з параметрами довжини інтерполяційного відрізка ( $n=2$ ) та відстані від проміжної точки контуру до інтерполяційного відрізка ( $DELTA=2$ ), (б) диференціального, та (в) запропонованого на основі вейвлет-аналізу функції кривизни (з довжиною вейвлета  $a=10$ ). На рисунках кружечками позначено точки контуру, які

виділено як характерні відповідним методом. Такі точки послідовно сполучені для наочної оцінки контуру фігури, що утворюється.

В табл. 1 наведено результати порівняння методів виділення характерних точок на оригінальному зображенні та в умовах впливу рівномірно розподіленого адитивного гаусівського шуму з амплітудою 3 по запропонованих критеріях: ймовірність правильного виявлення, ймовірність хибного виявлення та похибка в оцінці координат.

Як видно із табл. 1, диференціальний метод на зображенні без шуму показує найкращі результати

за всіма критеріями, а інтерполяційний – найгірші, оскільки відбувається незначний зсув виявлених алгоритмом характерних точок від вершин многокутника (модельних характерних точок).

На тому ж зображенні, що було додатково спотворено шумами, диференціальний метод та метод на основі вейвлет-аналізу функції кривизни показують однакові результати за критеріями ймовірності правильного виявлення та похибки в оцінці координат. За критерієм ймовірності хибного виявлення кращий результат показує метод на основі вейвлет-аналізу функції кривизни.

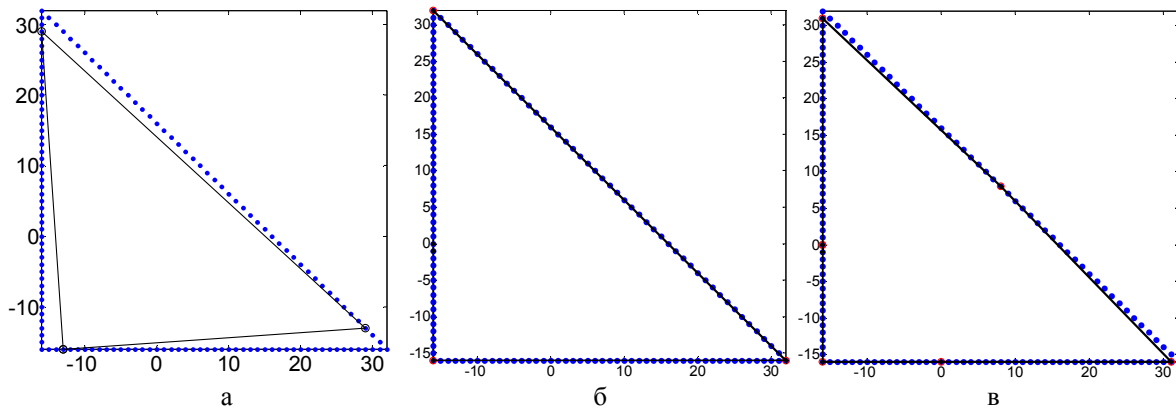


Рис. 1. Графічне представлення результатів роботи методів виділення характерних точок контуру:  
а – інтерполяційним методом; б – диференціальним методом;  
в – методом на основі вейвлет-аналізу функції кривизни

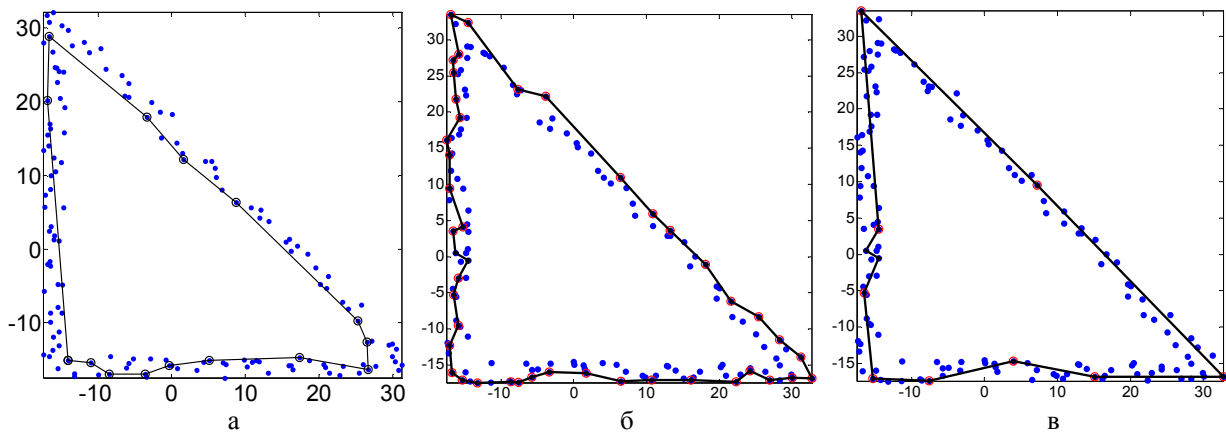


Рис. 2. Графічне представлення результатів роботи методів виділення характерних точок контуру в умовах впливу рівномірно розподіленого адитивного гаусівського шуму:  
а – інтерполяційним методом; б – диференціальним методом;  
в – методом на основі вейвлет-аналізу функції кривизни

Таблиця 1

Порівняння інтерполяційного, диференціального методів та методу на основі вейвлет-аналізу функції кривизни виділення характерних точок

Критерій \ Метод	Інтерполяційний метод		Диференціальний метод		Метод вейвлет-аналізу функції кривизни	
	ориг.	зашумл.	ориг.	зашумл.	ориг.	зашумл.
Ймовірність правильного виявлення (P)	0,000	0,000	1,000	1,000	0,333	1,000
Ймовірність хибного виявлення (Q)	1,000	1,000	0,000	0,929	0,833	0,667
Похибка в оцінці координат (E)	3,131	3,235	0,000	0,000	0,667	0,000

### Висновки

В статті здійснено порівняння методів виділення характерних точок: інтерполяційного, диференціального та методу на основі вейвлет-аналізу функції кривизни. Для цього, було використано модельну задачу, як еталон правильного розміщення характерних точок, та проведено аналіз роботи цих методів на звичайних та зашумлених зображеннях, за критеріями ймовірності правильного виявлення, ймовірності хибного виявлення та похибки в оцінці координат.

Використання кращих серед розглянутих методів в автоматизованих системах відеоспостереження дозволить підвищити оперативність інтелектуальних систем відеоспостереження при достатньому рівні достовірності.

Дослідження показали, що в інтерполяційному методі низька точність, оскільки характерні точки, виділені методом, зсунуто відносно модельних характерних точок приблизно на довжину інтерполяційного відрізка. Диференціальний метод має низьку завадостійкість, оскільки після зашумлення зображення виділяє занадто велику кількість точок як характерних. Метод на основі вейвлет-аналізу функції кривизни показує найкращі результати в умовах зашумлення.

### Література

1. Al Najjar, M. *Video Surveillance for Sensor Platforms: Algorithms and Architectures. Lecture Notes in Electrical Eng. [Text]* / M. Al Najjar, M. Ghantous, M. Bayoumi. – Springer, Book 114, 2013. – 202 p.
2. Caputo, A. C. *Digital Video Surveillance and Security [Text]* / A. C. Caputo. – Second edition. – Butterworth-Heinemann, 2014. – 440 p.
3. Введение в контурный анализ: приложения к обработке изображений и сигналов [Текст] / Я. А. Фурман, А. В. Кривецкий, А. А. Роженцов, Р. Г. Хафизов, И. Л. Егошина, А. Н. Леухин ; под ред.

Я. А. Фурмана. – 2-е изд., испр. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 592 с.

4. Polyakova, M. *Classification of Methods of the Signal Semantic Wavelet Transform for Image Contour Segmentation [Text]* / M. Polyakova, V. Krylov // *International Journal of Computing*. – 2008. – Vol. 7, Issue 1. – P. 51-57.

5. *Contour Segmentation Method in Video Surveillance Systems [Text]* / D. Zahorodnia, K. Kovalok, A. Sachenko, V. Krylov, S. Nychporuk // *Proceedings of the International Conference “Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science”*. – Lviv-Slavsko (Ukraine), 2014. – 405 p.

6. Дуда, Р. *Распознавание образов и анализ сцен [Текст]* : пер. с англ. / Р. Дуда, П. Харт. – М. : Мир, 1976. – 511 с.

7. Загородня, Д. І. *Аналіз інтерполяційного методу виділення характерних точок контуру [Текст]* / Д. І. Загородня // *Науковий вісник Чернівецького національного університету ім. Ю. Федьковича. Серія: Комп'ютерні системи та компоненти*. – Чернівці : ЧНУ, 2015. – Том 6, Вип. 2. – С. 88-92.

8. *Дослідження диференціального методу виділення характерних точок контуру облич [Текст]* / Д. І. Загородня, В. І. Дорош, Н. С. Добровольська, О. Л. Римар // *Міжнародний науково-технічний журнал «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах»*. – Хмельницький, 2014. – С. 162 – 166.

9. Загородня, Д. І. *Метод ідентифікації лиця по характерним точкам контура [Текст]* / Д. І. Загородня // *Вестник Брестского государственного технического университета. Серія: Фізика, математика, інформатика*. – 2015. – № 5. – С. 30 – 33.

10. *Fast and Robust Face Detection and Tracking Framework [Text]* / I. Paliy, V. Dovgan, O. Boumbarov, S. Panev, A. Sachenko, Y. Kurylyak, D. Zagorodnya // *Proceedings of the IEEE 6th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications*

(IDAACS'2011). – Prague (Czech Republic). – 2011. – P. 430-433.

11. Крылов, В. Н. Вторичные преобразователи сигналов изображений [Текст] / В. Н. Крылов, М. В. Максимов. – Одесса : Астропринт, 1997. – 176 с.

12. Rodehorst, V. Comparison and Evaluation of Feature Point Detectors [Text] / V. Rodehorst, A. Koschan // In Proceedings of 5th International Symposium Turkish-German Joint Geodetic Days "Geodesy and Geoinformation in the Service of our Daily Life". – Tech. Univ. of Berlin, Germany. – March 2006. – P. 8.

13. Tuytelaars, T. Local Invariant Feature Detectors: A Survey [Text] / T. Tuytelaars, K. Mikolajczyk // Found. and Trends in Computer Graphics and Vision. – 2008. – Vol. 3, No. 3, – P. 177-280.

14. Schmid, C. Evaluation of Interest Point Detectors [Text] / C. Schmid, R. Mohr, C. Bauckhane // International Journal of Computer Vision. – 2nd ed. – 2000. – Vol. 37. – P. 151-172.

## References

1. Al Najjar, M., Ghantous, M., Bayoumi, M. Video Surveillance for Sensor Platforms: Algorithms and Architectures. Lecture Notes in Electrical Eng., Springer, Book 114, 2013. 202 p.

2. Caputo, A. C. Digital Video Surveillance and Security. Butterworth-Heinemann-Second edition, 2014. 440 p.

3. Furman, Ja. A., Kreveckij, A. V., Rozhencov, A. A., Hafizov, R. G., Egoshina, I. L., Leuhin, A. N. Vvedenie v konturnyj analiz: prilozhenija k obrabotke izobrazhenij i signalov [Introduction to contour analysis: applications for image and signal processing] 2<sup>nd</sup> ed., Moscow, FIZMATLIT Publ., 2003. 592 p.

4. Polyakova, M., Krylov, V., Classification of methods of the signal semantic wavelet transform for image contour segmentation. International Journal of Computing, 2008, vol. 7, is. 1, pp. 51-57.

5. Zahorodnia, D., Kovalok, K., Sachenko, A., Krylov, V., Nychyporuk, S. Contour Segmentation Method in Video Surveillance Systems. Proceedings of the International Conference "Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science", Lviv-Slavsko (Ukraine), 2014, pp. 405.

6. Duda, R., Hart, P. Raspoznavanie obrazov i analiz scen [Pattern Classification and Scene Analysis]. Moscow, Mir Publ., 1976. 511 p.

7. Zahorodnya, D. I. Analiz interpolatsiynoho metodu vydilennya kharakternykh tochok konturu [Analysis of interpolation method for contour's inflection point detection]. Naukovy Visnyk Chernivetskogo Natsionalnogo Universitetu. Series: Computer systems and components, vol. 6, iss. 2, Chernivtsi, ChNU Publ., 2015, pp. 88-92.

8. Zahorodnya, D. I., Dorosh, V. I., Dobrovolska, N. S., Rymar, O. L. Doslidzhennya dyferentsial'noho metodu vydilennya kharakternykh tochok konturu oblych [Investigation of differential method detecting feature points on face contour]. International scientific-technical magazine «Measuring and Computing Devices in technological processes». Khmelnytsky, 2014, no. 4 (49), pp. 162 – 166.

9. Zagorodnjaja, D. I. Metod identyfikacii lic po harakternym tochkam kontura [Method of face identification based on contour inflection points]. Transactions of Brest State Technical Univ., Series: physics, math. and informatics, 2015, no. 5, pp. 30 – 33.

10. Paliy, I., Dovgan, V., Boumbarov, O., Panev, S., Sachenko, A., Kurylyak, Y., Zagorodnya, D. Fast and Robust Face Detection and Tracking Framework. Proc. of the IEEE 6th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS'2011). – Prague (Czech Republic), 2011, pp. 430-433.

11. Krylov, V. N., Maksimov, M. V. Vtorichnye preobrazovateli signalov izobrazhenij [Secondary converters for image signals]. Odessa, Astroprint Publ., 1997. 176 p.

12. Rodehorst, V., Koschan, A. Comparison and Evaluation of Feature Point Detectors. In Proceedings of 5th International Symposium Turkish-German Joint Geodetic Days "Geodesy and Geoinformation in the Service of our Daily Life", Tech. Univ. of Berlin, Germany, March 2006, pp. 8.

13. Tuytelaars, T., Mikolajczyk, K. Local Invariant Feature Detectors: A Survey. Found. and Trends in Computer Graphics and Vision, 2008, vol. 3, no. 3, pp. 177-280.

14. Schmid, C., Mohr, R., Bauckhane, C. Evaluation of Interest Point Detectors. International Journal of Computer Vision, 2nd ed., 2000, vol. 37, pp. 151-172.

## СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ВЫДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРНЫХ ТОЧЕК КОНТУРА ДЛЯ СИСТЕМ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ

*Д. И. Загородняя*

В статье проведено сравнение методов выделения характерных точек контура: интерполяционного, дифференциального методов и метода на основе вейвлет-анализа функции кривизны, по критериям, основанным на результатах модельной задачи: вероятность правильного обнаружения, вероятность ложного обнаружения и погрешность в оценке координат для систем видеонаблюдения. Проанализированы и графически представлены результаты работы данных методов. Показано, что для простых геометрических фигур интерполяционный метод имеет низкую точность (смещает характерные точки), дифференциальный метод имеет лучшие показатели точности, однако выделяет избыточные характерные точки (имеет низкую помехоустойчивость), а метод на основе вейвлет-анализа функции кривизны показывает лучшие результаты в условиях зашумления.

**Ключевые слова:** системы видеонаблюдения, контур изображения, характерные точки, методы выделения характерных точек (дифференциальный, интерполяционный, вейвлет-анализ функции кривизны).

## COMPARISON OF THE CONTOUR INFLECTION POINTS SELECTION METHODS FOR VIDEO SURVEILLANCE SYSTEMS

*D. I. Zahorodnia*

Comparison of the contour inflection point selection of the: interpolation and differential methods and the method based on wavelet analysis of the function curvature were performed in the article according to the following criteria: probability of the correct detection, probability of the false detection and an error in coordinate evaluation for systems of video vision that are based on the model task results. Work results of the methods were analyzed and graphically presented. It was demonstrated that for simple geometrical figures the interpolation method has low accuracy (it displaces inflection points). And differential method in its turn possesses the best accuracy indices though it selects excessive inflection points (it has low obstacle resistance). And the method based on wavelet analysis of the function curvature shows best results in noisy conditions.

**Keywords:** video surveillance systems, image contour, inflection points, characteristic point selection methods (differential, interpolation, wavelet analysis of the function curvature).

**Загородня Діана Іванівна** – аспірант кафедри інформаційно-обчислювальних систем і управління, Тернопільський національний економічний університет, Тернопіль, Україна, e-mail: dza@tneu.edu.ua.

**Zahorodnia Diana Ivanivna** - PhD student of the Department of Information Computing Systems and Control, Ternopil National Economic University, Ternopil, Ukraine, e-mail: dza@tneu.edu.ua.