

УДК 519.68

В. І. Загребнюк, А. І. Кидисюк, Н. М. Следнева

## ЛОКАЛІЗАЦІЯ ЗОБРАЖЕННЯ ПОШТОВОГО ІНДЕКСУ

The method, the algorithm and the application for the zip code localization and capture are developed for binarized images of postal envelopes. The covariance matrix is used as the essential signs set of zip code.

Розроблено метод, алгоритм та застосування щодо локалізації та захоплення поштового індексу на бінаризованих зображеннях поштових конвертів. Як множину суттєвих ознак поштового індексу використано власні значення його коваріаційної матриці.

В Україні сортування письмової кореспонденції на рівні обласних центрів здійснюється в ручну. За даними Держкомстату, обсяги сортування, якщо не враховувати регіональні особливості, можуть у середньому становити 40 тис. одиниць на добу. За умови забезпечення встановлених показників якості поштового зв'язку для сортування необхідно залучати висококваліфікованих працівників, які в змозі сортувати близько 2 тис. листів на годину. На практиці, за високої плинності персоналу, встановлений для сортувальника норматив не виконується, а використання існуючих автоматичних листосортувальних машин (вартість однієї такої машини становить близько 3 млн. євро) на рівні обласних центрів є не рентабельним [1]. Тому актуальною є задача розробки недорогих пристроїв та відповідного програмного забезпечення для автоматизації сортування письмової кореспонденції. Упровадження таких пристроїв не тільки суттєво зменшить частку ручної праці, а також дає змогу залучати некваліфікованих працівників та забезпечити при цьому виконання встановлених нормативних показників сортування.

Програмне забезпечення такого програмно-апаратного комплексу, яке виконує функцію розпізнавання поштового індексу, повинно складатись з таких основних компонент: локалізація та захоплення поштового індексу, виділення цифр поштового індексу, розпізнавання індексу.

Одна з проблем, яка сьогодні ще не має остаточного вирішення у контексті проблематики аналізу зображень, полягає у розробці методів, алгоритмів та застосувань щодо пошуку, локалізації та захоплення певних об'єктів на зображенні. Існуючі методи, а також алгоритми пошуку та локалізації заданих об'єктів на зображенні розробляються з урахуванням того, що об'єкт має попередньо відомі інваріантні характеристики. Наприклад, в системах ідентифікації особистості використовують методи, які враховують інваріантні характеристики кольору обличчя та його деякі геометричні властивості [2–6]. У системах аналізу аерокосмічних зображень як інваріантні ознаки використовуються спектральні ознаки [7], текстурні ознаки [8], для виділення яких найбільш часто використовують фільтри Габора, а також характеристики форми об'єкту [9–12]. В системах оптичного розпізнавання текстової інформації рядки тексту та його символи локалізуються, переважно гістограмним методом [13]. Що стосується безпосередньо поштового індексу, то для нього, по-перше, є характерною відсутність очевидних інваріантних характеристик, а, по-друге, в існуючих технологіях автоматичного сортування передбачено, що лист орієнтується таким чином, щоб пройти безпосередньо перед фоторегістратором, тому задачу локалізації та захоплення поштового індексу в межах зображення листа, при розробці потужних листосортувальних машин, не розглядали.

© В. І. Загребнюк, А. І. Кидисюк, Н. М. Следнева, 2009

Метою статті є розробка методу і алгоритму локалізації та захоплення поштового індексу на основі обчислення власних значень коваріаційної матриці його бінаризованого зображення.

Для того, щоб розробити метод та алгоритм локалізації та захоплення поштового індексу, необхідно передусім визначитися з множиною його суттєвих ознак. Для цього розглянемо коваріаційну матрицю поштового індексу  $\Sigma_I$ , елементи якої обчислюватимемо за формулою:

$$\sigma_{ij} = \sum_k (x_{ik} - \hat{x}_i)(x_{jk} - \hat{x}_j) \quad (1)$$

де  $x_{ik}$  –  $i$ -та координата  $k$ -го пікселя, що належить зображенню індексу, величини  $\hat{x}_i$  – це відповідні середні значення або координати центру мас індексу.

Цю матрицю можна подати у вигляді суми коваріаційних матриць: рамки поштового індексу  $\Sigma_r$  та його цифр  $\Sigma_c$ , тобто

$$\Sigma_I = \Sigma_r + \Sigma_c. \quad (2)$$

Відомо, що мінімальне значення  $\sum_j \left\| \Sigma_I^j - \hat{\Sigma}_I \right\|^2$ , де  $\|\bullet\|$  – матрична норма, на множині коваріаційних матриць  $\Sigma_I^j$  довільних поштових індексів досягається, якщо  $\hat{\Sigma}_I = \sum_j \Sigma_I^j / n$  – середнє значення матриці коваріацій на певній множині поштових індексів потужності  $n$ . Матрицю  $\hat{\Sigma}_I$  поштового індексу також можна подати у вигляді

$$\hat{\Sigma}_I = \hat{\Sigma}_r + \hat{\Sigma}_c \quad (3)$$

Тоді

$$\left\| \Sigma_I - \hat{\Sigma}_I \right\| = \left\| \Sigma_r - \hat{\Sigma}_r \right\| + \left\| \Sigma_c - \hat{\Sigma}_c \right\| \approx \left\| \Sigma_c - \hat{\Sigma}_c \right\|. \quad (4)$$

Тут ми врахували, що  $\Sigma_r$  практично не відрізняється від  $\hat{\Sigma}_r$ . Таким чином

$$\min_j \left\| \Sigma_I^j - \hat{\Sigma}_I \right\|^2 \approx \min_j \left\| \Sigma_c^j - \hat{\Sigma}_c \right\|^2. \quad (5)$$

Звідси можна зробити висновок, що відмінність коваріаційних матриць поштових індексів переважно зумовлена відмінністю цифр у його написанні.

Відомо, що для оцінки власних значень матриці розмірності  $n \times n$  використовується співвідношення  $|\lambda| \leq \min(P, Q)$ , де  $P = \max_{1 \leq i \leq n} \sum_{k=1}^n |\sigma_{ik}|$ , а  $Q = \max_{1 \leq j \leq n} \sum_{k=1}^n |\sigma_{kj}|$ .

У нашому випадку для симетричної коваріаційної матриці розмірності  $2 \times 2$ .

$$P = Q = |\sigma_{xx}| + |\sigma_{xy}|. \quad (6)$$

Тоді із співвідношення (1) для оцінки власних значень коваріаційної матриці поштового індексу отримаємо, що

$$\lambda_i \leq \left( \left| \sigma_{xx}^{(r)} \right| + \left| \sigma_{xy}^{(r)} \right| \right) + \left( \left| \sigma_{xx}^{(c)} \right| + \left| \sigma_{xy}^{(c)} \right| \right). \quad (7)$$

Аналогічним чином для оцінки середніх значень власних чисел  $\hat{\lambda}_i$  отримаємо

$$\hat{\lambda}_i \leq \left( \left| \hat{\sigma}_{xx}^{(r)} \right| + \left| \hat{\sigma}_{xy}^{(r)} \right| \right) + \left( \left| \hat{\sigma}_{xx}^{(c)} \right| + \left| \hat{\sigma}_{xy}^{(c)} \right| \right) \quad (8)$$

Тоді, з урахуванням (2), отримаємо

$$\left| \lambda_i - \hat{\lambda}_i \right| \leq \left| \left( \left| \sigma_{xx}^{(c)} \right| + \left| \sigma_{xy}^{(c)} \right| \right) - \left( \left| \hat{\sigma}_{xx}^{(c)} \right| + \left| \hat{\sigma}_{xy}^{(c)} \right| \right) \right| \quad (9)$$

Отже, як і випадку коваріаційних матриць, для матриць власних значень також буде виконуватись умова

$$\arg \min_j \sum_j \left\| \Lambda_I^{(j)} - \hat{\Lambda}_I \right\|^2 \approx \arg \min_j \sum_j \left\| \Lambda_c^{(j)} - \hat{\Lambda}_c \right\|^2 \quad (10)$$

де  $\hat{\Lambda}_I$  – матриця середніх значень власних чисел поштових індексів.

Крім цього, оскільки  $\hat{\lambda}_i > 0$ , справджується співвідношення

$$\frac{\left| \lambda_i - \hat{\lambda}_i \right|}{\hat{\lambda}_i} \leq \frac{\left| \left( \left| \sigma_{xx}^{(c)} \right| + \left| \sigma_{xy}^{(c)} \right| \right) - \left( \left| \hat{\sigma}_{xx}^{(c)} \right| + \left| \hat{\sigma}_{xy}^{(c)} \right| \right) \right|}{\hat{\lambda}_i} = \varepsilon < 1. \quad (11)$$

Виходячи з цього, як суттєві ознаки поштового індексу оберемо власні значення його коваріаційної матриці.

Таким чином метод локалізації та виділення поштового індексу буде полягати в наступному. В межах навчальної вибірки обчислимо власні числа коваріаційної матриці

$$\lambda_{1,2} = \frac{\sigma_{xx} + \sigma_{yy}}{2} \pm \sqrt{\frac{(\sigma_{xx} + \sigma_{yy})^2}{4} + \sigma_{xy}^2 - \sigma_{xx}\sigma_{yy}} \quad (12)$$

та знайдемо матрицю  $\hat{\Lambda}_I$ , яка визначати еталонні суттєві ознаки поштового індексу. Зображення конверту сканується маскою  $D$  розміром  $n \times m$  пікселів. Розміри маски слід обрати так, щоб індекс цілком розміщувався в ній. Зображення конверту сканується маскою. В межах маски розраховуються власні значення коваріаційної матриці  $\Lambda_D^{(j)}$ . Для визначення подібності між  $\Lambda_D^{(j)}$  та  $\hat{\Lambda}_I$  оберемо Евклідову норму. З метою економії обчислювальних ресурсів уведемо процедуру попереднього відбору  $D_j$  підозрілих на те, що в них міститься індекс. Для цього в межах навчальної вибірки розрахуємо середнє значення щільності пікселів  $\hat{\rho}_I$ . Враховуючи (11), вважатимемо що в  $D_i$  можливо міститься індекс, якщо виконується умова

$$\frac{\sqrt{(\lambda_{D,1}^{(i)} - \hat{\lambda}_{I,1})^2 + (\lambda_{D,2}^{(i)} - \hat{\lambda}_{I,2})^2 + (\rho_D^i - \hat{\rho}_I)^2}}{\left\| \hat{\Lambda}_I \right\|} < \varepsilon, \quad (13)$$

де параметр  $\varepsilon > 0$ ,  $\varepsilon < 1$  обирається експериментально. Після того, як проскановане все зображення конверту, з множини  $\{D_i\}$  обираємо ту  $D_k$ , що задовольняє умові

$$\Lambda_D^k = \min_j \left\| \Lambda_D^j - \hat{\Lambda}_I \right\| = \min_j \left( \sqrt{(\lambda_{D,1}^j - \hat{\lambda}_{I,1})^2 + (\lambda_{D,2}^j - \hat{\lambda}_{I,2})^2} \right). \quad (14)$$

Координати розташування індексу визначають координатами лівого верхнього кута маски  $D_k$ .

Алгоритм локалізації та захоплення поштового індексу складається з наступних кроків (вважаємо що  $\hat{\Lambda}_I$ ,  $\hat{\rho}_I$  та  $\varepsilon$  відомі):

Задати початкове положення маски на зображенні конверту, а саме координати її лівого верхнього кута  $(x_i, y_i)$ .

У межах маски  $D(x_i, y_i)$  обчислити власні значення  $\lambda_{1,2}^{(i)}$  та  $\rho_i$ .

Якщо виконується умова (13) запам'ятати  $\lambda_{1,2}^{(i)}$  та положення маски  $(x_i, y_i)$ :  $\lambda_{1,2}^{(k)} = \lambda_{1,2}^{(i)}$ ,  $(x_k, y_k) = (x_i, y_i)$ . Збільшити  $k$  на одиницю.

Якщо проскановано ще не увесь конверт збільшити  $i$  на одиницю та визначити нове положення маски, тобто координати  $x_i, y_i$  (при зміні положення маски використовуються прирощення координат  $\Delta x, \Delta y$  значення яких становлять 10 пікселів). Перейти до кроку 2.

Знайти таке  $r$ , для якого  $\Lambda_D^r = \min_k \left\| \Lambda_D^k - \hat{\Lambda}_I \right\|$ . Тоді індекс локалізований у масці, яка розташована на зображенні конверту в положенні  $(x_r, y_r)$ .

На підґрунті запропонованих методу та алгоритму було розроблене застосування щодо локалізації та захоплення поштового індексу. На першому етапі, з метою встановлення еталонних ознак, обробляли виділені в ручну індекси. При цьому розмір зображення індексу збігався з розмірами маски:  $280 \times 80$  пікселів.

У таблиці наведені окремі результати обробки 60 зображень поштових індексів, для кожного з яких були розраховані коваріаційна матриця, власні значення та щільність чорних пікселів.

**Таблиця 1. Експериментальні результати визначення еталонних ознак**

№	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\rho$
1	5726,765	342,685	0,114
2	6620,983	355,293	0,077
3	5981,063	309,570	0,081
4	6303,626	247,176	0,120
5	5976,008	309,855	0,081
6	6896,785	340,668	0,072
7	7550,370	340,451	0,053
8	6476,314	271,616	0,119
9	6205,145	239,331	0,106
10	6958,575	410,321	0,042

Як свідчать наведені дані, власні значення та щільність змінюються у проміжках  $\lambda_1 \in [5726,765; 7550,37]$ ,  $\lambda_2 \in [239,331; 410,321]$ ,  $\rho_p \in [0,042; 0,12]$ , причому подальше збільшення обсягу вибірки поштових індексів не приводить до суттєвих змін отриманих результатів. Тому вважатимемо що результати обробки 60 поштових індексів є репрезентативною вибіркою.

Виходячи з отриманих даних було розраховані математичні очікування власних значень  $\bar{\lambda}_1 \approx 6577,62$ ;  $\bar{\lambda}_2 \approx 295,37$  та їх середньоквадратичні відхилення  $\sigma_1 \approx 381,086$ ;  $\sigma_2 \approx 37,322$ .

Середнє значення щільності та її середньоквадратичне відхилення такі:  $\bar{\rho}_D = 0,085$ ;  $\sigma_\rho = 0,015$ . Крім цього в межах репрезентативної вибірки було встановлено діапазон в якому змінюються значення

$$R_i = \frac{\sqrt{(\lambda_{D,1}^{(i)} - \hat{\lambda}_{I,1})^2 + (\lambda_{D,2}^{(i)} - \hat{\lambda}_{I,2})^2 + (\rho_D^i - \hat{\rho}_I)^2}}{\|\hat{\lambda}_I\|}. \quad (15)$$

У випадку, коли в масці міститься поштовий індекс,  $R_i \in [0,006; 0,148]$ .

На другому етапі в результаті обробки зображень конвертів з поштовим індексом було встановлене значення параметру  $\varepsilon = 0,16$ . При цьому враховували, що в множині  $\{D_i\}$  є поштовий індекс, якщо  $R_i^{\max} < \varepsilon < 1$ . Зображення конвертів скануються маскою. На рис. 1 наведена множина  $\{D_i\}$ , серед елементів якої є індекс.

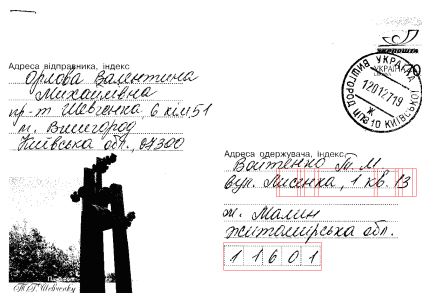


Рис. 1. Области зображення конверту “схожі” на індекс.

Для того щоб, остаточно локалізувати, в межах зображення конверту, а потім захопити поштовий індекс аналізується  $\{D_i\}$  з використанням умови (14), та встановлюється положення індексу.

На рис. 2 наведено результат локалізації та захоплення поштового індексу з використанням розробленого застосування.

Експериментальну перевірку локалізації та захоплення області з поштовим індексом проводили на множині трьох сотень реалістичних зображень конвертів. У 99,5% випадків було правильно локалізовано та захоплено поштовий індекс. Помилки в локалізації індексу були зумовлені завадами на оригіналі – неповністю пропечатана рамка поштового індексу, а також наявністю радіометричних спотворень.

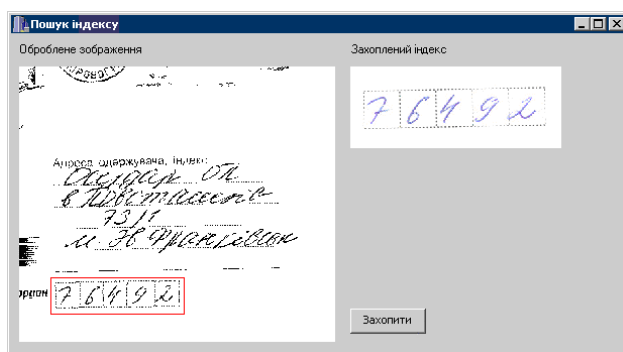


Рис. 2. Остаточна локалізація та виділення індексу.

За результатами виконаних досліджень можна зробити такі висновки:

- власні значення коваріаційної матриці та щільність чорних пікселів відображають ознаки характерні для рукописного поштового індексу;
- середні значення власних чисел коваріаційної матриці визначають еталонні ознаки поштового індексу;
- для локалізації та захоплення поштового індексу слід використовувати умову (14), що забезпечує правильну локалізацію та захоплення рукописного поштового індексу у 99,5% випадків;
- розроблене застосування щодо локалізації та захоплення поштового індексу можна використовувати як компоненти системи розпізнавання поштових індексів.

Слід зазначити, що у цьому випадку не враховували наявність завад, які, в основному, можуть бути зумовлені поганою якістю оригіналу. Тому подальші роботи, щодо удосконалення отриманих результатів, необхідно виконати з метою підвищення завадостійкості програми локалізації та захоплення поштового індексу.

1. Яцук О. Л. Аналіз передумов упровадження систем автоматизованого оброблення письмової кореспонденції в Україні // Зв'язок. – 2008. – № 1. – С. 34–39.
2. Дзюба В., Яганов П. Интеллектуальные системы распознавания образов // "F+S". – 2003. – № 4. – С. 46–47.
3. Chen X., Gu L., Li S.Z. and Zhang H.J. Learning representative local features for face detection // Proc. IEEE CVPR. – 2001. – 1126.1131.
4. Jain, Anil K.; Li, Stan Z. Handbook of Face Recognition. 2004, Approx. 400 p. 210 illus., Hardcover, ISBN: 0-387-40595-X
5. Terrilon J. C. and Akamatsu S. Comparative performance of different chrominance spaces for colour segmentation and detection of faces in complex scene images // Proc. ICAFG.00. – 2000. – 54.61.
6. Yang M. H., Ahuja N., and Kriegman D. Face detection using mixtures of linear subspaces // Proc. IEEE ICAFG.00. – 2000. – 70.76.
7. Янущи Д. А. Дешифрирование аэрокосмических снимков. – М.: Недра, 1992. – 249 с.
8. О классификации изображений по их текстурным признакам / Г. А. Андреев, А. А. Потапов, Т. В. Галкина, А. И. Колесников, Т. И. Орлова, Я. Л. Хлявич // Исследование Земли из Космоса. – 1990. – № 2. – С. 91–96.
9. Lange M. M., Ganebnykh S. N. Tree-like Data Structures for Effective Recognition of 2-D Solids // IEEE Proc. 17<sup>th</sup> Int. Conf. on Pattern Recognition (ICPR- 2004). – Cambridge, UK, 2004. – Vol. 1. – P. 592–595.
10. Soifer V. A., Khramov A. G., Korepanov A. O. Fuzzy Direction Field Method for Fringe and Tree-like Patterns Analysis // Ibid. – Cambridge, UK, 2004 – Vol. 2. – P. 779–782.
11. The Method of the Directional Field in the Interpretation and Recognition of the Images with Structure Redundancy / V. A. Soifer, V. V. Kotlyar, S. N. Khonina, A. G. Khramov // Pattern Recognition and Image Analysis. – 1996. – 6, № 4. – P. 710–724.
12. Voss K., Suesse H. Invariant Fitting of Planar Objects by Primitives // IEEE Proc. Int. Conf. on Pattern Recognition. ICPR-1996. – P. 508–512.
13. Соифер В. А. Методы компьютерной обработки изображений. – М: Физматлит, 2003. – 782 с.