

УДК 519.68

Гладких В. М.

КЛАСИФІКАЦІЯ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ ПОШТОВОГО ПЕРЕКАЗУ ЗА КОЛІРНИМ КОНТЕНТОМ.

Гладких В. М. Класифікація цифрових зображень поштового переказу за колірним контентом. Розроблено метод класифікації зображень поштового переказу для системи їх автоматизованого розпізнавання та оброблення, що ґрунтується на аналізі власних значень коваріаційної матриці, що розрахована для компонент простору кольорів RGB. Виділено три класи зображень та показано, що запропонований метод класифікації не залежить від інтенсивності спотворень, обраної розподільної здатності та типу сканеру.

Ключові слова: КЛАСИФІКАЦІЯ, КОВАРІАЦІЙНА МАТРИЦЯ, ВЛАСНІ ЗНАЧЕННЯ, ПОШТОВИЙ ПЕРЕКАЗ.

Гладких В. Н. Классификация цифровых изображений почтового перевода по цветовому контенту. Разработан метод классификации изображений почтового перевода для системы их автоматизированного распознавания и обработки, который основан на анализе собственных значений ковариационной матрицы, рассчитанной для компонент цветового пространства RGB. Выделено три класса изображений и показано, что предложенный метод не зависит от интенсивности искажений, выбранной разрешающей способности и типа сканера.

Ключевые слова: КЛАССИФИКАЦИЯ, КОВАРИАЦИОННАЯ МАТРИЦА, СОБСТВЕННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ, ПОЧТОВЫЙ ПЕРЕВОД.

Gladkykh V. M. Postal order digital image classification using color image content. Method of digital image classification of postal orders for a system of postal orders automatic recognition and processing was developed. Proposed method is based on analysis of eigenvalues of a covariance matrix calculated for RGB color space components. Three classes of images were found and it was shown that proposed method is invariant to distortion intensity, chosen resolution and scanner type.

Key words: CLASSIFICATION, COVARIANCE MATRIX, EIGENVALUES, POSTAL ORDER

Постановка задачі. Системи оптичного розпізнавання символів (ОРС) перетворюють цифрове зображення документа у текстовий формат. У загальному випадку система ОРС складається з наступних компонент: попереднє оброблення зображення, що представлене у градаціях сірого; сегментація – виділення текстових регіонів; бінаризація зображення; виділення рядків слів та символів; розпізнавання символів; виправлення помилок розпізнавання. Стосовно конкретної сфери застосування структура системи ОРС в цілому залежить від пристрою, що використовується для отримання цифрового образу документа: відеокамера, мобільний телефон, сканер тощо; типу документа: структурований, слабо структурований, не структурований, архівний тощо, друкований або рукописний документ.

Незважаючи на значні успіхи у розробці та практичному використанні, високу точність розпізнавання текстів [1], інтенсивність досліджень стосовно удосконалення та розширення функціональності систем ОРС не зменшилась. Актуальність цих досліджень є наслідком розширення сфери автоматизації документообігу та переведення інформації, що зберігається не парових носіях, у електронну форму.

Однією з актуальних задач, що відноситься до сфери електронного документообігу є автоматизація розпізнавання та оброблення поштових переказів. Незважаючи на те, що поштовий переказ – це структурований документ, виділення тексту для його подальшого розпізнавання вимагає розроблення специфічних методів. Використання традиційних методів, таких як гістограмний, перетворення Радона або Хафа не є ефективним, особливо це стосується виділення напису суми переказу яка вказується словами, так як їх використання може призвести до суттєвого збільшення часу оброблення документу.

Бланки поштового переказу можуть бути надруковані або чорною або кольоровою типографською фарбою. Заповнювати бланк також можна чорними або кольоровими чорнилами. Зважаючи на факт, що заповнені бланки мають різний колірний контент,

вважається за доцільне, для кожного типу колірного контенту, розробити спеціалізовані методи, щодо виділення тексту, з незначною обчислювальною складністю. Наприклад, якщо бланк переказу надруковано чорною типографською фарбою, а напис виконаний кольоровими чорнилами, то у просторі кольорів можна виділити два кластери – ахроматичний та хроматичний, останній є текстом який потім необхідно розпізнати. Для того щоб реалізувати цей підхід необхідно розробити метод автоматичного визначення типу колірного контенту переказу. Тому метою даної роботи є дослідження колірного контенту зображень поштового переказу отриманих зі сканера у повно кольоровому режимі та розроблення методу автоматичної класифікації цих зображень за їх колірним контентом.

Методи класифікації зображень поштового переказу. Особливістю поштових переказів є те, що сума переказу записується цифрами та словами. При чому сума переказу словами, з метою запобігання внесенню змін у поштовий переказ вказується на спеціальному полі, яке містить паралельні лінії. Для того щоб відокремити та розпізнати такі написи необхідно використовувати у комплексі декілька різних методів, що мають значну обчислювальну складність, наприклад, фільтрацію, підкреслювання границь, перетворення Хафа чи Родона для виділення ліній та відокремлення від них тексту.

На сьогодні при наданні послуги поштового переказу використовуються бланки у яких службова інформація може бути нанесена або чорними (бланк з чорно-білим тлом, або у градаціях сірого) або кольоровими (бланк з кольоровим тлом) типографським фарбами на папір з кольором близьким до білого.

Бланки поштового переказу можуть заповнюватись або чорними або кольоровими чорнилами. Для того щоб суттєво спростити обчислювальну складність подальшого оброблення поштового переказу, особливо це стосується виділення тексту, необхідно встановити до якого з наведених нижче типів відноситься заповнений документ:

- 1) чорно-біле, рукописний текст чорним кольором;
- 2) чорно-біле тло, рукописний текст – кольоровий;
- 3) бланк з кольоровим тлом, рукописний текст – чорний або кольоровий.

Розглянемо основні особливості сканування бланків поштового переказу у повно кольоровому режимі.

У процесі сканування в зображення документа вносяться спотворення кольорів. Інтенсивність цих спотворень залежить від спектральних характеристик лампи сканера, чутливості та шумових характеристик скануючої головки, обраної розподільної здатності, а також від характеристик оригіналу. Бланк поштового переказу може бути надрукований на папері з різним ступенем білизни, типографські фарби, якими надруковано бланк також можуть мати різні відбиваючі властивості та вносити зміни у спектр відбитого світла. Все це є не прогнозованим джерелом спотворення кольорів при скануванні. Крім того спотворення кольорів можуть також виникати за рахунок розсіяння світла лампи на границі, наприклад, між областю з чорним та областю з білим кольором, що має наслідком розмивання границі та спотворення кольорів навіть при достатньо високій розподільній здатності. На рис. 1 наведені зображення бланку поштового переказу першого типу, ліворуч бланк заповнений чорнильною ручкою, а праворуч – чорною пастою.

Якщо проаналізувати колірний контент зображення поштового переказу першого типу, отриманого при розподільній здатності 200 dpi, то, хоча й зображення візуально сприймається як ахроматичне, кількість кольорів у ньому значно перевищує 255 і складає 34 тис. кольорів для зображення, що розташоване ліворуч та 76 тис. кольорів для другого зображення. При збільшенні розподільної здатності до 300 або 600 dpi кількість кольорів, та відповідно інтенсивність спотворень, лише збільшується.

Укрпошта
ПРОСТІЙ ПЕРЕКАЗ

300.00 ТРИСТА ГРН.

Підписав, як є, на бланку
чи адреси переказу: **ИВАНОВ НИКОЛАЙ
ВАСИЛЬЕВИЧ**
г. КИЇВ, пр. ПОБЕДИ 49
кв. 115.

Підписав, як є, на бланку
чи адреси переказу: **ИВАНОВА
НАТАЛЬЯ АНДРЕВНА**
г. ВИННИЦА, ул. М. ГРАНКО
д. 10 кв. 15

Укрпошта
ПОВІДОМЛЕННЯ

Підписав, як є, на бланку
чи адреси переказу:

Укрпошта
ПРОСТІЙ ПЕРЕКАЗ

400.00 ЧЕТЫРЕСТА ГРН.

Підписав, як є, на бланку
чи адреси переказу: **БРУНЬКОВСКАЯ
ЕВГЕНИЯ ПЕТРОВНА**
г. ЛУЦЬК, ул. ЛУКРАНКИ
д. 56/5 кв. 12

Підписав, як є, на бланку
чи адреси переказу: **БРУНЬКОВСКИЙ
ПЕТР ВАСИЛЬЕВИЧ**
г. РОВНО ул. ЦВЕТОВАЯ
д. 34 кв. 5

Укрпошта
ПОВІДОМЛЕННЯ

Підписав, як є, на бланку
чи адреси переказу:

Рис. 1. Цифрові зображення заповнених бланків

На рис. 2 наведено карти спотворень кольору для зображень з рис. 1.

Укрпошта
ПРОСТІЙ ПЕРЕКАЗ

300.00 ТРИСТА ГРН.

Підписав, як є, на бланку
чи адреси переказу: **ИВАНОВ НИКОЛАЙ
ВАСИЛЬЕВИЧ**
г. КИЇВ, пр. ПОБЕДИ 49
кв. 115.

Підписав, як є, на бланку
чи адреси переказу: **ИВАНОВА
НАТАЛЬЯ АНДРЕВНА**
г. ВИННИЦА, ул. М. ГРАНКО
д. 10 кв. 15

Укрпошта
ПОВІДОМЛЕННЯ

Підписав, як є, на бланку
чи адреси переказу:

Укрпошта
ПРОСТІЙ ПЕРЕКАЗ

400.00 ЧЕТЫРЕСТА ГРН.

Підписав, як є, на бланку
чи адреси переказу: **БРУНЬКОВСКАЯ
ЕВГЕНИЯ ПЕТРОВНА**
г. ЛУЦЬК, ул. ЛУКРАНКИ
д. 56/5 кв. 12

Підписав, як є, на бланку
чи адреси переказу: **БРУНЬКОВСКИЙ
ПЕТР ВАСИЛЬЕВИЧ**
г. РОВНО ул. ЦВЕТОВАЯ
д. 34 кв. 5

Укрпошта
ПОВІДОМЛЕННЯ

Підписав, як є, на бланку
чи адреси переказу:

Рис. 2. Карта спотворень кольору

Карта спотворень формувалась наступним чином. Розраховувались величини

$$z_1 = |R - G|, z_2 = |R - B|, z_3 = |B - G|.$$

Оскільки ці відмінності кольору від градацій сірого незначні, то для того щоб вони були помітними на карті спотворень використовувались значення $\tilde{z}_i = z_i + 128$.

Як слідує з наведених рисунків інтенсивність спотворень найбільша на границях тексту та на границях надрукованих атрибутів бланку поштового переказу.

Отже, необхідно розробити такий метод, з використанням якого можна точно класифікувати зображення поштового переказу незалежно від інтенсивності спотворень кольору.

Метод класифікації зображень поштового переказу за колірним контентом. У просторі кольорів RGB зображення розрахуємо ковариаційну матрицю C , елементи якої обчислюються за формулами

$$c_{pp} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N p_i^2 - \bar{p}^2,$$

$$c_{pq} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N p_i q_i - \bar{p} \bar{q}.$$

Тут $p, q \in \{R, G, B\}$ — інтенсивності компонент простору RGB ($R, G, B \in [0, 255]$), $N = n \times m$ — кількість пікселів у зображенні (n, m — розміри зображення).

Власні значення квадратної матриці знаходять з розв'язку характеристичного рівняння

$$\det(C - \lambda I) = 0,$$

де I — одинична матриця; λ — власні значення.

Ковариаційна матриця простору кольорів RGB має розмірність 3×3 , тоді характеристичне рівняння у розгорнутому вигляді є кубічним рівнянням виду

$$\lambda^3 - \text{tr}(C)\lambda^2 + (M_{RR} + M_{GG} + M_{BB})\lambda - \det(C) = 0, \quad (1)$$

де M_{pp} — мінори другого порядку ковариаційної матриці.

Для спрощення подальшого аналізу будемо використовувати ковариаційну матрицю з елементами, що обчислюються за формулою

$$\tilde{c}_{pq} = \frac{c_{pq}}{\text{tr}(C)}, \quad (2)$$

де $\text{tr}(C) = \sum_p c_{pp}$ — слід матриці. За такої умови сума власних значень $\sum_i \lambda_i = 1$.

Відомо, що для зображення у градаціях сірого для кожного пікселу значення інтенсивності компонент простору RGB однакові, тобто $R = G = B$. Виходячи з цієї умови отримаємо, що

$$\tilde{c}_{pp} = \tilde{c}_{pq} = \frac{1}{3}, \forall p, q \in \{R, G, B\}.$$

Тоді рівняння (1) буде мати вид $\lambda^2(1 - \lambda) = 0$. Звідси $\lambda_1 = 1$ та $\lambda_{2,3} = 0$.

Отже для зображення у градаціях сірого лише одне власне значення ковариаційної матриці відмінне від нуля.

Розглянемо випадок, коли бланк поштового переказу заповнено кольоровими чорнилами, наприклад, червоними. Тоді ковариаційна матриця буде мати наступний вигляд

$$C = \begin{pmatrix} c_{RR} & c & c \\ c & \frac{1-c_{RR}}{2} & \frac{1-c_{RR}}{2} \\ c & \frac{1-c_{RR}}{2} & \frac{1-c_{RR}}{2} \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Характеристичне рівняння такої матриці $\lambda(\lambda^2 - \lambda + (M_{GG} + M_{BB})) = 0$ має дійсні корені $\lambda_{1,2} = \frac{1}{2} \pm \sqrt{\frac{1}{4} - 2M_{GG}}$, $\lambda_3 = 0$. Тут $M_{GG} = M_{BB} = \frac{1}{2}c_{RR}(1 - c_{RR}) - c^2 < 0$.

Зображення поштового переказу отримане зі сканера містить візуально непомітні спотворення кольорів. Коваріаційну матрицю у цьому випадку можна подати у вигляді

$$C_\varepsilon = C + \delta C$$

де $\delta C = (\pm \varepsilon_{pq})$ — матриця збурень, що зумовлені спотворенням кольорів при скануванні. Відомо [2], що власні значення неперервно залежать від значень елементів коваріаційної матриці. Внаслідок цього збурення елементів коваріаційної матриці буде мати наслідком і збурення власних значень. Оцінку величини збурення власного значення λ_p можна отримати зі співвідношення

$$|\delta \lambda_p| \leq \frac{\|C_\varepsilon - C\|}{|s_p|},$$

де s_p — косинус кута між власними векторами збуреної C_ε та не збуреної коваріаційної матриці C , що відповідають власному значенню λ_p . Оскільки коваріаційна матриця є симетричною, то у цьому випадку $s_p = 1$, тоді

$$|\delta \lambda_p| \leq \|C_\varepsilon - C\| = \|\delta C\|.$$

У цьому співвідношенні $\|\cdot\|$ — матрична норма, нехай $\|\delta C\| = \max_p \left(\sum_k \varepsilon_{kp} \right) < 3 \max_k (\varepsilon_{kp})$, тоді $|\delta \lambda_p| \leq 3 \max_k (\varepsilon_{kr})$, де $r = \arg \max_p \left(\sum_k \varepsilon_{kp} \right)$.

Для аналізу збурень власних значень використовувалась база зі 100 зображень бланків поштових переказів у градаціях сірого та 100 зображень бланків у градаціях сірого з написом кольоровими чорнилами, а також додатково 50 зображень поштових переказів надрукованих кольоровою типографською фарбою. Половина зображень була отримана на сканері HP Scanjet 4500c, а друга — Mustek BearPaw 1200 з розподільними здатностями 200, 300 та 600 dpi. За результатами аналізу встановлено, що збурення власних значень для бланків першого та другого типів по порядку величини складають $|\delta \lambda_p| \approx O(10^{-4})$, незалежно від типу сканеру властивостей оригіналу та інтенсивності спотворень, а також використаної розподільної здатності.

Окремі результати обчислення власних значень для різних зображень поштових переказів наведено у табл. 1. Власні значення для зображень, що візуально сприймаються як ахроматичні у таблиці не наведені, оскільки у всіх випадках найбільше з них дорівнює одиниці, незалежно від властивостей оригіналу та умов сканування.

Власні значення ковариаційної матриці бланків з різним колірним контентом Табл. 1

	Кольоровий			У градаціях сірого, напис кольоровий		
	λ_1	λ_2	λ_3	λ_1	λ_2	λ_3
1	0.94	0.057	0.003	0.996	0.004	0
2	0.957	0.04	0.003	0.993	0.007	0
3	0.913	0.086	0.001	0.994	0.006	0
4	0.917	0.078	0.005	0.995	0.005	0
5	0.92	0.076	0.004	0.997	0.003	0

Враховуючи наведене вище, метод класифікації зображень поштового переказу виходячи з колірного контенту полягатиме у наступному.

1. Розрахувати елементи ковариаційної матриці та нормувати їх, використовуючи формулу (2).

2. Обчислити власні значення ковариаційної матриці, використовуючи рівняння (1), та округлити їх до третьої значущої цифри після коми і впорядкувати у порядку спадання: $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3$.

3. Проаналізувати множину власних значень:

а) Якщо $\lambda_1 = 1$, то колірний контент зображення заповненого бланку поштового переказу – переважно у градаціях сірого, а зображення відноситься до першого класу;

б) Якщо $\lambda_1 + \lambda_2 = 1$, то колірний контент зображення поштового переказу – бланк у градаціях сірого, напис кольоровий і зображення відноситься до третього класу;

в) Якщо всі власні значення відмінні від нуля, то колірний контент – кольоровий бланк, напис чорний або кольоровий і зображення належить третьому класу.

На підґрунті запропонованого методу було розроблене застосування щодо класифікації зображень поштових переказів.

Висновки. За результатами виконаних досліджень слід зробити наступні висновки.

1. Інтенсивність спотворення кольорів оригінала поштового переказу при скануванні найбільша на границях регіонів з різною яскравістю, при збільшенні розподільної здатності кількість спотворень лише збільшується.

2. Власні значення ковариаційної матриці відображають колірний контент зображення поштового переказу.

3. Запропонований метод класифікації зображень поштових переказів за колірним контентом, на підґрунті аналізу власних значень ковариаційної матриці, забезпечує безпомилкову класифікацію та не залежить від інтенсивності спотворень, типу сканеру та розподільної здатності.

4. Класифікація зображень поштового переказу за колірним контентом може бути використана у якості процедури попереднього оброблення системи автоматичного розпізнавання поштових переказів.

Подальші дослідження будуть спрямовані на розробку методів виділення тексту поштового переказу для кожного класу зображень окремо.

Література

1. Abbyy FineReader 10 / [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.abbyy.ru/finereader/> (11.05.2011).

2. Улкінсон Дж. Х. Алгебраическая проблема собственных значений / Улкінсон Дж. Х. – М.: Наука, 1970. – 564 с.