

УДК 519.68

ВИБІР ПРОСТОРУ ДЛЯ СЕГМЕНТАЦІЇ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ БЛАНКІВ ПОШТОВИХ ПЕРЕКАЗІВ



[В.М. Гладких](#)

Одеська національна академія
зв'язку ім. О.С. Попова

Досліджено модель кольорового простору перетворення Карунена-Лоева для друкованих сірих бланків поштового переказу, заповненого кольоровим рукописним текстом. Показано, що співвідношення власних значень перетворення Карунена-Лоева дає можливість розрізнити сірі бланки поштового переказу від голубих бланків.

A color space model of Karhunen–Loève transformation for postal money transfer with printed gray blank order and color handwriting was examined. The ratio of Karhunen–Loève eigenvalues is used to distinguish the gray blank orders from blue ones.

Исследована модель цветового пространства преобразования Карунена-Лоева для печатных серых бланков почтового перевода, заполненного цветным рукописным текстом. Показано, что соотношение собственных значений преобразования Карунена-Лоева позволяет отличить серые бланки почтового перевода от голубых бланков.

Вступ

Розробка систем розпізнавання символів для автоматизації документообігу – це комплексна проблема, у якій виділяють наступні окремі задачі: попередня обробка зображення, що розпізнається; сегментація, тобто виділення окремих рядків, слів і символів; подання рядків, слів і символів у форматі, необхідному для навчання й класифікації; навчання системи й розпізнавання символів; пост-обробка – уточнення розпізнаної інформації з використанням синтаксичного й семантичного аналізу. Залежно від області застосування для кожної з задач необхідно розробляти свої специфічні методи, особливо це стосується розпізнавання документів суворого обліку, наприклад паспортно-візової інформації, автоматизації обробки поштової кореспонденції та ін.

Одним з актуальних завдань автоматизації обробки поштової кореспонденції є розпізнавання й облік поштових переказів. Особливістю впровадження автоматизації оброблення поштових переказів є те, що на сьогодні, з метою спрощення споживання послуг поштового зв'язку, не висуваються жорсткі вимоги до того, якого кольору чорнилами заповнюється бланк. У свою чергу самі бланки можуть бути надруковані або чорними друкарськими фарбами, або довільними кольоровими. Крім того бланк поштового переказу має специфічну структуру, а саме: сума переказу прописом вказується в спеціальному розлінованому полі, що практично виключає використання відомих методів виділення текстів у документах. Отже, актуальною проблемою є розроблення специфічних методів виділення тексту поштового переказу. Звідси завданням даної роботи є розроблення колірному простору та методу сегментації, що дозволяє виділяти на зображенні бланка поштового переказу рукописний текст довільного кольору.

I. Аналіз відомих рішень

Для сегментації зображень найчастіше використовують простори кольорів RGB, HSI, CIE, Lab, Luv та $I_1I_2I_3$, але жоден з них не має таких переваг, що забезпечують якісну сегментацію всіх видів кольорових зображень. Вибір колірному простору для якісної сегментації певного класу зображень ще й досі є актуальною задачею [1].

Найбільш активні дослідження щодо сегментації зображень з використанням різних колірних просторів здійснюються у таких напрямках, як: виділення людей на зображеннях [2-4]; об'єктів, що рухаються [5]; текстів у мобільних пристроях [6-8]; сегментація об'єктів у біології й медицині [9]; виділення дорожніх знаків [10]; виділення текстів на кольорових зображеннях [11-14]. Для перерахованих вище напрямків використовуються різні методи сегментації, що пояснюється характером зображень і кількістю об'єктів сегментації. Найбільш близькою до сформульованого у роботі завдання є задача виділення текстів.

В роботі [11] запропоновано робастний метод виділення тексту у неконтрастних зображеннях з завадами шляхом виділення домінантних кольорів та колірної редукації у просторі RGB. Кожний домінантний колір виділяється у вигляді зв'язної компоненти. Ці зв'язні компоненти фільтруються й поєднуються в блоки, що класифікуються на текстові й нетекстові. Для здійснення колірної редукації використовується згладжування, а потім виділення границь сегментів. Аналіз сегментації обкладинок книг, журналів та блок-схем показав, що точність виділення текстового блоку становить 85%.

Робота [12] присвячена проблемі виділення текстів у відео-поточці для здійснення перекладу й озвучування в електронних гідях. Метод складається із трьох етапів: виділення у різних масштабах границь сегментів, що містять текст; адаптивний пошук і колірне моделювання сегмента-кандидата, що містить текст; аналіз розташування сегментів знайдених текстів. Для колірному моделювання сегмента тексту використовується EM алгоритм для суміші гаусівських функцій з використанням коваріаційної матриці в колірному просторі RGB. Основною проблемою цього етапу є вибір кількості гаусівських компонент. На основі методу був створений програмно-апаратний комплекс, що виявляє тексти без пропуску знаків в 93,3%, із пропуском знаків в 5,9%, текст не виділяється у 0,8% випадків.

У роботі [13] досліджувалося застосування різних колірних просторів (RGB, HSV, XYZ, Lab, Lch, $I_1I_2I_3$, $O_1O_2O_3$, YCbCr) для виділення символів на кольорових зображеннях з використанням алгоритму К-середніх. У якості міри близькості сегментів використалися евклідова відстань і косинус-подібність (cosine similarity). Результати сегментації показали, що кращі результати дає застосування простору RGB та колірних координат ch простору Lch. Запропоновано використовувати сегментацію текстів, що містяться у зображеннях загального виду, алгоритмом К-середніх (при кількості сегментів $K=3$) з одночасним використанням метрики Евкліда та косинус-подібності у просторі RGB. Вирішальне правило формулюється у результаті об'єднання колірної та просторової інформації за допомогою лог-Габорівського фільтра. У тих випадках, коли текст і тло мають близький контраст, кращі результати

сегментації дає використання метрики Евкліда, а при нерівномірному освітленні – косинус-подібність. Розроблений метод був апробований з використанням бази зображень ICDAR 2003. Використання сегментації з урахуванням просторової інформації дозволило збільшити кількість правильно виділених текстів на зображеннях загального виду з 78% до 93%.

II. Кольоровий простір для виділення тексту на зображенні поштового переказу

Розглянемо випадок, коли колірний контент власне бланка поштового переказу – градації сірого, а напис кольоровий. При скануванні в кольоровому режимі цифрове зображення бланка може містити спотворення кольорів, однак, як було показано в [15], вони неістотно впливають на колійний контекст зображення, коли необхідно класифікувати поштовий переказ за його контентом у просторі кольорів. Що стосується задачі сегментації цифрового зображення поштового переказу, то вона вимагає проведення додаткового дослідження.

Для розробки методу сегментації зображення поштового переказу проаналізуємо вплив його колірної структури на власні значення й власні вектори коваріаційної матриці, розрахованої для компонент простору RGB.

Елементи коваріаційної матриці S сканованого зображення поштового переказу розраховується за формулами

$$S_{rr} = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m r_{ij}^2 - \bar{r}^2, S_{gg} = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m g_{ij}^2 - \bar{g}^2, S_{bb} = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m b_{ij}^2 - \bar{b}^2, \quad (1)$$

$$S_{rg} = S_{gr} = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m r_{ij} g_{ij} - \bar{r} \bar{g}, S_{rb} = S_{br} = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m r_{ij} b_{ij} - \bar{r} \bar{b}, S_{gb} = S_{bg} = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m b_{ij} g_{ij} - \bar{b} \bar{g}. \quad (2)$$

Тут n і m – кількість рядків та стовпців в зображенні; r_{ij} , g_{ij} , b_{ij} – відповідно r, g, b компоненти пікселя в j -му рядку та i -му стовпці; $\bar{r}, \bar{g}, \bar{b}$ – глобальні середні значення RGB-компонент по всьому зображенню.

Власні значення є розв'язком характеристичного рівняння $\det(S - \lambda E) = 0$, а власні вектори U , що відповідають власним значенням, є розв'язком системи рівнянь $(S - \lambda E)U = 0$. У цих рівняннях E – одинична матриця, $U^T = (u_1, u_2, u_3)$.

Колірний контент сканованого зображення поштового переказу складається з наступних кластерів: тло, близьке до білого – приблизно 90% пікселів з близькими за значеннями компонентами $r, g, b \in (240, 255)$; бланк надрукований друкарськими фарбами, близькими до чорного кольору – приблизно 9% пікселів теж із близькими за значеннями компонентами $r, g, b \in (0, 64)$; кольоровий напис – 1% пікселів зображення. Найчастіше бланк заповнюється чорнилами, близькими до синього кольору.

Виходячи з цього, біле тло, позначимо цей кластер через C_0 , можна представити однаковими середніми значеннями компонентів RGB, тобто $r = g = b = m_0$, дру-

карський текст бланка (кластер C_1) – $r = g = b = m_1$, а напис C_2 , наприклад у випадку синього кольору, $r = g = k_0$, $b = k_2$.

Тоді глобальні середні компонент простору RGB будуть визначатися зі співвідношень

$$\bar{r} = m_0 - (m_0 - m_1) \frac{N_1}{N} - (m_0 - k_0) \frac{N_2}{N};$$

$$\bar{g} = m_0 - (m_0 - m_1) \frac{N_1}{N} - (m_0 - k_0) \frac{N_2}{N};$$

$$\bar{b} = m_0 - (m_0 - m_1) \frac{N_1}{N} - (m_0 - k_2) \frac{N_2}{N},$$

де N – загальна кількість пікселів у зображенні, N_1 – кількість пікселів бланка, N_2 – кількість пікселів напису.

Нехай $t_1 = N_1/N$ і $t_2 = N_2/N_1$. Тоді з урахуванням властивостей коваріаційної матриці та формул (1), (2), одержимо наступні формули для обчислення її елементів:

$$S_{rr} = S_{rg} = S_{gg} = t_1 [(1 - t_1 - t_2)(\Delta m_1 + t_2 \Delta k_0)^2 + t_2 (\Delta k_0 - t_1 (\Delta m_1 + t_2 \Delta k_0))^2 + (\Delta m_1 (1 - t_1) - t_1 t_2 \Delta k_0)^2]; \quad (3)$$

$$S_{rb} = S_{gb} = t_1 [(1 - t_1 - t_2)(\Delta m_1 + t_2 \Delta k_0)(\Delta m_1 + t_2 \Delta k_2) + t_2 (\Delta k_0 - t_1 (\Delta m_1 + t_2 \Delta k_0))(\Delta k_2 - t_1 (\Delta m_1 + t_2 \Delta k_2)) + (\Delta m_1 (1 - t_1) - t_1 t_2 \Delta k_0)(\Delta m_1 (1 - t_1) - t_1 t_2 \Delta k_2)]; \quad (4)$$

$$S_{bb} = t_1 [(1 - t_1 - t_2)(\Delta m_1 + t_2 \Delta k_2)^2 + t_2 (\Delta k_2 - t_1 (\Delta m_1 + t_2 \Delta k_2))^2 + (\Delta m_1 (1 - t_1) - t_1 t_2 \Delta k_2)^2]. \quad (5)$$

Тут $\Delta m_1 = m_0 - m_1$, $\Delta k_0 = m_0 - k_0$ і $\Delta k_2 = m_0 - k_2$.

Розглянемо випадок, коли $t_2 \rightarrow 0$, тобто колірний контент зображення – градації сірого, тоді всі елементи коваріаційної матриці визначаються як $S_{ij} \rightarrow t_1 (1 - t_1) \Delta m_1^2$, вона сама буде мати вигляд:

$$S = t_1 (1 - t_1) \Delta m_1^2 \cdot \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}, \quad (6)$$

а власні значення й власні вектори будуть обчислюватись за формулами

$$\lambda_1 = 3t_1 (1 - t_1) \Delta m_1^2, \quad \lambda_2 = \lambda_3 = 0, \quad \vec{u}_1 = \left(\frac{1}{\sqrt{3}}, \frac{1}{\sqrt{3}}, \frac{1}{\sqrt{3}} \right),$$

$$\vec{u}_2 = \left(-\frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{1}{\sqrt{2}}, 0 \right), \quad \vec{u}_3 = \left(-\frac{1}{\sqrt{2}}, 0, \frac{1}{\sqrt{2}} \right).$$

Звідси видно, що у випадку зображення з контентом у градаціях сірого, його проекції на вектори \vec{u}_2 та \vec{u}_3 дорівнюють нулю, проекція на \vec{u}_1 – зважена сума компонент простору RGB.

Розглянемо коваріаційну матрицю, елементи якої обчислюються за формулами (3)-(5), за умови, коли знехтували членами порядку $O(t_1^3)$. Тоді

$$S_{rr} = S_{rg} = S_{gg} \approx t_1(\Delta m_1 + t_2 \Delta k_0 - t_1(1+t_2)(\Delta m_1 + t_2 \Delta k_0));$$

$$S_{rb} = S_{gb} \approx t_1(\Delta m_1 + t_2(m_0^2 - m_0(k_0 + k_2) + k_0 k_2) - (1+t_2)(\Delta m_1 + t_2 \Delta k_2)(\Delta m_1 + t_2 \Delta k_0));$$

$$S_{bb} \approx t_1(\Delta m_1 + t_2 \Delta k_2 - t_1(1+t_2)(\Delta m_1 + t_2 \Delta k_2)).$$

Введемо позначення

$$A = t_2 \frac{\Delta k_0}{\Delta m_1}; \quad B = t_2 \frac{\Delta k_2}{\Delta m_1}; \quad c = t_2 \frac{(m_0^2 - m_0(k_0 + k_2) + k_0 k_2)}{\Delta m_1}.$$

У цьому випадку ранг коваріаційної матриці дорівнює двом і вона має вид:

$$S = \begin{bmatrix} 1+A & 1+A & 1+c \\ 1+A & 1+A & 1+c \\ 1+c & 1+c & 1+B \end{bmatrix}.$$

Власні значення цієї матриці обчислюються за формулами:

$$\lambda_1 = \frac{3+2A+B - \sqrt{(2A+1-B)^2 + 8(c+1)^2}}{2};$$

$$\lambda_2 = \frac{3+2A+B + \sqrt{(2A+1-B)^2 + 8(c+1)^2}}{2}; \quad \lambda_3 = 0,$$

а відповідні їм ненормовані власні вектори:

$$\bar{u}_1 = (u_{11}, u_{12}, u_{13}) = \left(1, \quad 1, \quad -\frac{2A-B+1 + \sqrt{(2A-B+1)^2 + 8(c+1)^2}}{2 \cdot (c+1)} \right);$$

$$\bar{u}_2 = (u_{21}, u_{22}, u_{23}) = \left(1, \quad 1, \quad -\frac{2A-B+1 - \sqrt{(2A-B+1)^2 + 8(c+1)^2}}{2 \cdot (c+1)} \right);$$

$$\bar{u}_3 = (1, \quad -1, \quad 0).$$

Щоб остаточно визначитись з вибором компонент простору Карунена-Лоева для сегментації зображення поштового переказу необхідно виконати аналіз власних векторів та розподілу кольорів у залежності від колірному контенту. Вплив колірному контенту на характеристики простору властивості головних компонент можна встановити, аналізуючи їх при різних значеннях k_0 та k_2 . Якщо $k_0 = 0$, а k_2 змінюється у діапазоні від 0 до 255, то колір надпису буде змінюватись від чорного до насиченого синього. У випадку, коли $k_2 = 255$, а k_0 змінюється у діапазоні від 0 до 255, колір напису змінюється від насиченого синього до білого. Для того щоб спростити аналіз, уведемо інтенсивність кольору напису, що обчислюється за формулою

$$I_b = \frac{2k_0 + k_2}{3}.$$

В табл. 1 наведені результати розрахунків власних значень λ_1 і λ_2 , компонент власних векторів \vec{u}_1 і \vec{u}_2 , а також кута θ між вектором \vec{u}_1 та вектором $\vec{u}_{10} = (1, 1, 1)$, що відповідає максимальному власному значенню коваріаційної матриці (6), при різних значеннях I_b та фіксованих значеннях m_1 .

Таблиця 1. Залежність характеристик простору Карунена-Лоева і кута θ від I_b

I_b	$m_0 = 255, m_1 = 0$					$m_0 = 255, m_1 = 100$				
	λ_1	λ_2	u_{13}	u_{23}	θ	λ_1	λ_2	u_{13}	u_{23}	θ
0	3,300	0,000	1,00	-2,00	0,00	3,494	0,000	1,00	-2,00	0,00
10	3,280	0,008	0,99	-2,01	0,19	3,461	0,013	0,99	-2,02	0,30
20	3,261	0,016	0,99	-2,03	0,39	3,429	0,025	0,98	-2,05	0,61
30	3,242	0,023	0,98	-2,04	0,59	3,398	0,038	0,97	-2,07	0,93
40	3,222	0,031	0,97	-2,06	0,80	3,366	0,050	0,95	-2,10	1,26
50	3,203	0,038	0,96	-2,08	1,00	3,335	0,062	0,94	-2,12	1,60
60	3,184	0,046	0,96	-2,09	1,22	3,304	0,074	0,93	-2,15	1,94
70	3,165	0,053	0,95	-2,11	1,43	3,273	0,085	0,92	-2,18	2,30
80	3,146	0,060	0,94	-2,13	1,65	3,242	0,096	0,90	-2,21	2,66
85	3,136	0,064	0,94	-2,14	1,76	3,227	0,102	0,90	-2,23	2,85
105	3,120	0,057	0,94	-2,12	1,56	3,200	0,091	0,91	-2,20	2,53
125	3,104	0,049	0,95	-2,10	1,35	3,172	0,079	0,92	-2,17	2,20
145	3,087	0,042	0,96	-2,09	1,15	3,145	0,068	0,93	-2,15	1,87
165	3,071	0,034	0,97	-2,07	0,94	3,118	0,056	0,94	-2,12	1,54
185	3,055	0,027	0,97	-2,06	0,73	3,092	0,044	0,96	-2,09	1,20
205	3,039	0,019	0,98	-2,04	0,53	3,065	0,032	0,97	-2,07	0,86
225	3,024	0,012	0,99	-2,02	0,32	3,039	0,019	0,98	-2,04	0,52
245	3,008	0,004	1,00	-2,01	0,11	3,013	0,006	0,99	-2,01	0,17
255	3,000	0,000	1,00	-2,00	0,00	3,000	0,000	1,00	-2,00	0,00

Наведені результати показують, що:

– відношення між власними значеннями λ_2/λ_1 при зміні I_b знаходиться у відповідності з відсотковим значенням частки кольорових пікселів на зображенні та складає близько одного відсотка. Тож використання умови $\lambda_1 > \lambda_2 > 0$; $\lambda_3 = 0$; $\lambda_2/\lambda_1 \leq 0,03$ дозволяє розрізняти зображення бланків з ахроматичним та хроматичним колірним контекстом;

– кут між векторами \vec{u}_{10} та \vec{u}_1 близький до нуля, коли зображення є практично ахроматичним, а коли воно має хроматичні кольори, то θ складає приблизно 3 градуси;

– компонента u_{13} для ахроматичних кольорів дорівнює одиниці, а при появі хроматичних кольорів стає менше одиниці, аналогічно для ахроматичних кольорів $u_{23} = -2$, а за наявності на зображенні хроматичних кольорів $u_{23} < -2$.

Оскільки всі компоненти \vec{u}_1 додатні, то при перетворенні з простору RGB у простір головних компонент отримаємо, що

$$|\vec{u}_1| = ru_{11} + gu_{12} + bu_{13}.$$

Це відповідає перетворенню кольорів сегментів C_0 , C_1 и C_2 у градації сірого. На рис. 1 наведено характерний полігон градацій сірого сегментів $C_0 \in (-0,502; -0,4)$, $C_1 \in (-0,4; 0,8)$ та $C_2 \in (0,8; 1,13)$. Отже, при сегментуванні зображення у проекції на вектор \vec{u}_1 необхідно виділяти ці три сегменти.

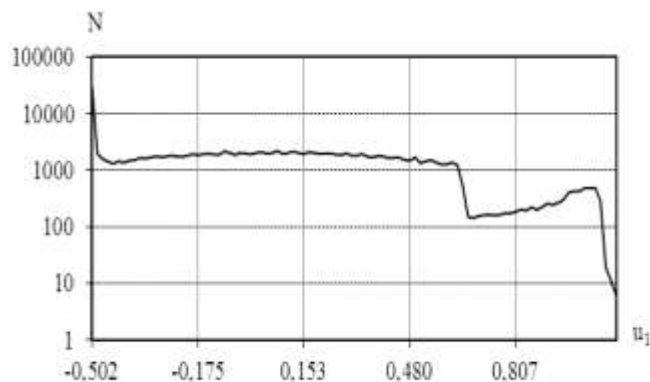


Рис. 1. Полігон частот кольорів зображення у проекції на вектор \vec{u}_1

При проектуванні зображення з хроматичними кольорами на вектор \vec{u}_2 кольори сегментів C_0 та C_1 будуть мати значення, близькі до нуля, а кольори C_2 проектується в область від'ємних значень, тобто C_0 та C_1 об'єднуються в один сегмент C_{01} , при цьому на зображенні слід виділяти лише два сегменти.

На рис. 2 наведено полігон частот кольорів у проекції на вектор \vec{u}_2 . Як видно з рисунку, він має бімодальний характер, перший максимум при $|\vec{u}_2| = -0,41$ відповідає сегменту C_2 , а другий – $|\vec{u}_2| = 0,043$ відповідає сегменту C_{01} .

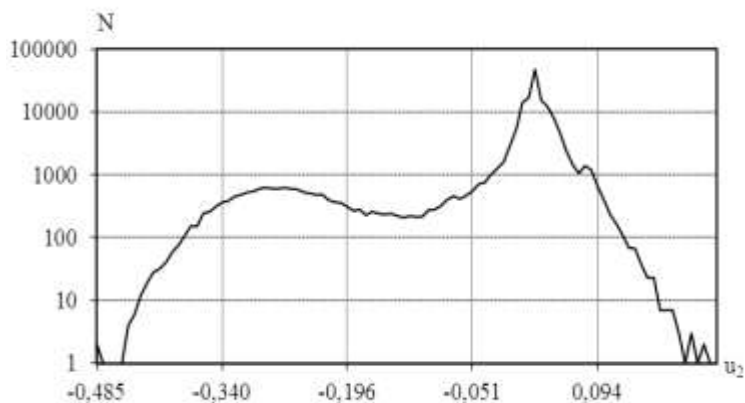


Рис. 2. Полігон частот кольорів у проекції на вектор \vec{u}_2

Таким чином, поділ полігону вздовж осі \vec{u}_2 на два сегменти і дає можливість відокремити в один сегмент кольоровий рукописний текст (сегмент C_2), а в другий – друкарський бланк без тексту (сегмент C_{01}).

Застосування для сегментації зображення простору власних векторів перетворення Карунена-Лоева, на відміну від інших кольорових просторів, враховує кольоровий контекст зображення, за рахунок чого хроматичні компоненти завжди відображаються на підпростір \vec{u}_2 . Це дозволяє застосувати методи одновимірної сегментації на два кластери, які прості в реалізації та мають незначну обчислювальну складність.

Висновки

За результатами виконаних досліджень слід зробити наступні висновки:

– аналіз впливу колірної частоти зображень поштових переказів на характеристики простору Карунена-Лоева показав, що зображення з ахроматичним контекстом проєктуються на вектор, що відповідає максимальному власному значенню, а простір головних компонент є одновимірним; для зображень, що містять хроматичні кольори напису, простір головних компонент є двовимірним;

– для сегментації зображень з написом, виконаним у хроматичному кольорі, достатню використовувати лише проєкцію зображення на власний вектор \vec{u}_2 , при цьому необхідно виділяти лише два сегменти, один з яких є рукописним текстом;

– сегментацію можна здійснювати з використанням одновимірних методів, що мають обчислювальну складність, яка залежить від кількості градацій N_p полігону частот як $O(N_p)$.

Подальші дослідження повинні бути спрямовані на реалізацію методу сегментації зображень поштового переказу та аналіз ефективності сегментації з урахуванням спотворень кольорів, що виникають при скануванні бланків.

Список літератури:

1. Cheng H.D. Color image segmentation: Advances and prospects / H.D. Cheng, X.H. Jiang, Y. Sun, Jing Li Wang // Pattern Recognition. – 2001. – Vol. 34, No.12. – P. 2259–2281.
2. Vezhnevets V. A Survey on Pixel-Based Skin Color Detection Techniques / V. Vezhnevets, V. Sazonov, A. Andreeva // Proc. Graphicon-2003. Moscow, Russia, September 2003. – 2003. – P. 85–92.
3. Kakumanua P. A survey of skin-color modeling and detection methods / P. Kakumanua, S. Makrogiannisa, N. Bourbakis // Pattern Recognition. – 2007. – Vol.40, No.3. – P. 1106–1122.
4. Ming-Hsuan Yang. Detecting faces in images: a survey / Ming-Hsuan Yang, D.J. Kriegman, N. Ahuja // Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2002. – Vol.24, No.1. – P. 34–58.
5. Zhang D. Segmentation of Moving Objects in Image Sequence: A Review / D. Zhang, G. Lu // Circuits, Systems and Signal Process. – 2001. – Vol.20, No.2. – P.143–183.
6. Liang J. Camera-based analysis of text and documents: a survey / J. Liang, David Doermann, Huiping Li // International Journal on Document Analysis and Recognition. – 2005. – Vol.7, No.2–3. – P. 84–104.

7. Sridharana M. Color Learning and Illumination Invariance on Mobile Robots: A Survey / M. Sridharana, P. Stoneb // Robotics and Autonomous Systems. – 2009. – Vol.57, No.6–7. – P. 629–644.
8. Li C. A Method for Color Classification of Fruits Based on Machine Vision [Електронний ресурс] / C. Li, Q. Cao, F.G. Wseas // Transactions on Systems. – 2009. – Vol.8, No.2. – P. 312–321.
9. Lezoray O. Cooperation of Color Pixel Classification Schemes and Color Watershed: A Study for Microscopic Images / O. Lezoray, H. Cardot // IEEE Transactions on Image Processing. – 2002. – Vol.11, No.7. – P. 783–789.
10. Andrey V.. Automatic Detection and Recognition of Traffic Signs using Geometric Structure Analysis / V. Andrey, K.H. Jo // SICE-ICASE International Joint Conference 2006. – 2006. – P. 1451–1456.
11. Badekas E. Text Binarization in Color Documents / E. Badekas, N. Nikolaou, N. Papamarkos // International Journal of Imaging Systems and Technology. – 2006. – Vol.16, No.6. – P. 262–274.
12. Gao J. An Adaptive Algorithm for Text Detection from Natural Scenes / J. Gao, J. Yang // Computer Vision and Pattern Recognition, Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference CVPR. – 2001. – Vol.2. – P. 84–89.
13. Mancas-Thillou C. Color Text Extraction from Camera-based Images - the Impact of the Choice of the Clustering Distance / C. Mancas-Thillou, B. Gosselin // Document Analysis and Recognition, Proceedings. Eighth International Conference. –2005. – Vol.1. – P. 312–316.
14. Mancas-Thillou C. Spatial and color spaces combination for natural scene text extraction / C. Mancas-Thillou, B. Gosselin // Image Processing, IEEE International Conference on 8-11 Oct. 2006. – 2006. – P. 985–988.
15. Гладких В. М. Класифікація цифрових зображень поштового переказу за колірним контентом. / В. М. Гладких // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2011. – №2(18). – С. 79–84.