

Д. Пелешко¹, А. Ковальчук¹, І. Дронюк², М. Назаркевич¹
 Національний університет "Львівська політехніка",
¹кафедра інформаційних технологій видавничої справи,
²кафедра автоматизованих систем управління

РОЗПІЗНАВАННЯ ГРАФІЧНИХ ЗАХИСНИХ ЕЛЕМЕНТІВ НА ФОНОВИХ ЗОБРАЖЕННЯХ

© Пелешко Д., Ковальчук А., Дронюк І., Назаркевич М., 2013

На основі неізоморфного перетворення області зображення, який містить елементи графічних захисних елементів, запропоновано метод їх ідентифікації для випадку існування фонового зображення. Сама процедура ідентифікації захисних елементів здійснюється на основі спектральної метрики. Спектральну метрику отримують із власних підпросторів квадратних матриць-операторів, які будуються над отриманими у результаті дії деяких адитивних операторів.

Ключові слова: ідентифікація, розпізнавання, захисні графічні елементи, спектральна метрика, матриця-оператор, власне значення, власний вектор.

There is proposed method of identifying image of protective elements for the case of the existence of a background image. The method is based on non-isomorphic transformation of image area that contains graphic protective elements. The procedure of identification of security elements developed based on spectral metrics. Spectral metric derived from their own subspaces square matrix operators. Construction of these matrix operators based on vectors, obtained as a result of some additive operators..

Key words: identification, recognition, graphics protecting elements, spectral metric, matrix operator, eigenvalues, eigenvectors.

Вступ

Для задачі ідентифікації захисних елементів у випадку існування фонового зображення можливі два варіанти. Перший з них полягає у тому, що еталонне зображення $P_{ет}$ і регіон ідентифікації P містять однаковий фоновий рисунок. Тоді фон та захисні елементи можна розглядати як єдине ціле і використовувати методи розпізнавання зображень, наприклад [2].

Складнішим для ідентифікації є другий варіант. За ним еталон $P_{ет}$ не містить фонового зображення і складається лише із захисних елементів. Тоді для розв'язання задачі ідентифікації можна використовувати два підходи. Перший з них ґрунтується на виділенні фону, а другий на інтегральному перетворенні, яке мінімізує вплив фонового зображення.

Недоліком першого підходу є те, що забезпечити стовідсоткове виділення фону без впливу на захисні елементи практично неможливо. Як засвідчує аналіз отриманих методів, для більшості з них у кожному конкретному випадку доводиться достатньо складно налаштувати процедуру виділення фону. А це неприйнятно у процедурах автоматизованої ідентифікації захисних елементів.

Тому за основу вибрано другий підхід з почерговим стисканням і розширенням початкової матриці з метою мінімізації впливу фону. Таке попереднє перетворення вхідного зображення є своєрідним фільтром, призначення якого – згладити викиди, які виникають внаслідок існування фонового зображення.

Реалізовується ця ідея нелінійним перетворенням над вхідною матрицею регіону ідентифікації. Надалі ідентифікацію здійснюють, будуючи і використовуючи спектральну метрику, отриману із модифікованої матриці. Розглянемо суть методу.

Вихідні дані

Нехай задано регіон ідентифікації $P = \{ c_{ij} \mid i = 1..n, j = 1..m \}$, де c_{ij} – значення функції інтенсивності у пікселі з координатами (i, j) регіону P ; m, n – кількість пікселів у горизонтальному та вертикальних напрямках. Це зображення є композицією захисних елементів (композиційне зображення), кожен з яких ізоморфний еталонному зображенню $P_{\text{ет}}$.

Вважатимемо, що еталонне зображення відповідає графіку Атев-функції, метод побудови захисних елементів за допомогою Атев-функцій розглянуто в [4]. Самі захисні елементи будуються за цією ж методикою і відтворюються поліграфічним способом.

Вважаємо, що регіон є визначеним, наприклад, за методом [1].

Постановка задачі

Основним завданням роботи є розроблення методу, який би на композиційному зображенні із фоном дозволив з достатньою точністю ідентифікувати захищеність документа заданими захисними елементами.

Точність ідентифікації визначається у процентному співвідношенні сумарної площі неідентифікованих областей до площі усього зображення.

Метод ідентифікації

Регіон ідентифікації P можна подати у вигляді у вигляді вектора

$$P = \{ c_a^j \mid c_a^j = \{ c_{1,a}, \dots, c_{n,a} \}, a = 1..m \},$$

або

$$P = \{ c_a^i \mid c_a^i = \{ c_{a,1}, \dots, c_{a,m} \}, a = 1..n \}.$$
(1)

Верхні індекси i і j визначають подальший напрям перетворень – якщо за стовпцями вхідної матриці P , то це напрям j ; якщо за рядками, то це напрям i .

Першим кроком методу є використання стосовно представлення зображення (1) неізоморфного оператора, який реалізується стисканням двовимірного сигналу (регіону ідентифікації) до одновимірного.

Це стискання здійснюється дією усередненого оператора за стовпцями (напрямом j) або рядками (напрямом i) вхідної матриці P . У результаті отримуємо

$$P \rightarrow \left\{ \bar{c}_a^j \mid \bar{c}_a^j = M c_a^j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n c_{i,a}, a = 1..m \right\} \vee \left\{ \bar{c}_a^i \mid \bar{c}_a^i = M c_a^i = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m c_{a,i}, a = 1..n \right\}.$$
(2)

Надалі для вектора \bar{c}_a^j або \bar{c}_a^i будується квадратна матриця-оператор ∇ . У напрямі j для регіону P , якому відповідає вектор (2), квадратну матрицю-оператор ∇^j отримуємо так:

$$\nabla^j = \{ \delta_{a,b}^j \mid a, b = \overline{1, m} \}, \delta_{a,b}^j = \frac{\bar{c}_a^j}{\bar{c}_b^j}.$$
(3)

У разі ідентифікації у напрямі i матимемо таку матрицю

$$\nabla^i = \{ \delta_{a,b}^i \mid a, b = \overline{1, n} \}, \delta_{a,b}^i = \frac{\bar{c}_a^i}{\bar{c}_b^i}.$$
(4)

За вибраним напрямом визначаємо власні значення та вектори матриць (3) або (4).

Ітераційний метод обчислення власного вектора квадратної матриці. Під час знаходження власних значень і власних векторів матриці [3] вирішують одну з двох проблем:

- 1) знаходження всіх власних значень;
- 2) знаходження одного або декількох власних значень і відповідних до них власних векторів.

Припустимо, що існує повна система нормованих власних векторів деякої квадратної матриці ((3) або (4)):

$$\mathbf{e}_i, \|\mathbf{e}_i\| = 1,$$
(5)

і нехай $|\lambda_1| \geq |\lambda_2| \geq \dots \geq |\lambda_n|$. Визначимо вектор $\mathbf{Y}^{(0)}$ і послідовно обчислюватимемо вектори $\mathbf{Y}^{(k+1)}$ за формулою

$$\mathbf{Y}^{(k+1)} = \nabla \mathbf{Y}^{(k)}, \quad (k = 0, 1, \dots). \quad (6)$$

Розвинемо вектор $\mathbf{Y}^{(0)}$ за базисом \mathbf{e}_i . Тоді

$$\mathbf{Y}^{(0)} = \sum_{i=1}^n c_i \lambda_i \mathbf{e}_i, \quad (7)$$

а вектори $\mathbf{Y}^{(1)}, \mathbf{Y}^{(2)}, \mathbf{Y}^{(3)}, \dots, \mathbf{Y}^{(k)}$ визначатимемо за формулами [3]

$$\mathbf{Y}^{(1)} = \sum_{i=1}^n c_i \lambda_i^2 \mathbf{e}_i, \quad \mathbf{Y}^{(2)} = \sum_{i=1}^n c_i \lambda_i^3 \mathbf{e}_i, \dots, \quad \mathbf{Y}^{(k)} = \sum_{i=1}^n c_i \lambda_i^{k+1} \mathbf{e}_i. \quad (8)$$

Звідси

$$(\mathbf{Y}^{(k)}, \mathbf{Y}^{(k)}) = \left(\sum_{i=1}^n c_i \lambda_i^{k+1} \mathbf{e}_i, \sum_{i=1}^n c_i \lambda_i^{k+1} \mathbf{e}_i \right), \quad (9)$$

$$(\mathbf{Y}^{(k+1)}, \mathbf{Y}^{(k)}) = \left(\sum_{i=1}^n c_i \lambda_i^{k+2} \mathbf{e}_i, \sum_{i=1}^n c_i \lambda_i^{k+1} \mathbf{e}_i \right). \quad (10)$$

Взявши відношення другого скалярного добутку до першого, отримаємо

$$\frac{|(\mathbf{Y}^{(k+1)}, \mathbf{Y}^{(k)})|}{|(\mathbf{Y}^{(k)}, \mathbf{Y}^{(k)})|} = \frac{|\lambda_1^{2k+3} \left(c_1^2 + o \left| \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \right|^{k+1} \right)|}{|\lambda_1^{2k+2} \left(c_1^2 + o \left| \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \right|^{k+1} \right)|}. \quad (11)$$

Оскільки $|\lambda_i / \lambda_1| \leq 1$ ($i \neq 1$), то за достатньо великого k маємо

$$|\lambda_1| \approx \left| \frac{(\mathbf{Y}^{(k+1)}, \mathbf{Y}^{(k)})}{(\mathbf{Y}^{(k)}, \mathbf{Y}^{(k)})} \right|. \quad (12)$$

Власний вектор $\mathbf{e}_1^{(k)}$, який відповідає власному значенню $\lambda_1^{(k)}$, при k ітераціях знаходимо за формулою

$$\mathbf{e}_1^{(k)} = \frac{\mathbf{Y}^{(k)}}{\|\mathbf{Y}^{(k)}\|} = \frac{c_1 \lambda_1^{k+1} \mathbf{e}_1 + o(\lambda_2 \mathbf{e}_2)}{|c_1| |\lambda_1|^{k+1} + o(|\lambda_2|)}. \quad (13)$$

Надалі вектор $\mathbf{e}_1^{(k)}$ виступатиме вектором, який використовуватимемо для розв'язання задачі.

Пряме обчислення власного вектора квадратної матриці. Інший метод обчислення власного вектора полягає в розрахунку його компонент за такою формулою [1]

$$w_i = \sqrt[m]{\prod_{j=1}^m \delta_{j,j}^i}, \quad \text{або} \quad w_j = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n \delta_{i,i}^j}, \quad (14)$$

де $\delta_{a,b}^i, \delta_{a,b}^j$ є елементами матриці (3) або (4).

Оскільки оператори ∇^j і ∇^i є квадратними додатно визначеними матрицями, то за т. Фробеніуса-Перона їх усі власні значення λ_z^j, λ_z^i є дійсними і додатно визначеними.

Нехай $S^j = \{\lambda_z^j \mid z = 1..m\}$ та $S^i = \{\lambda_z^i \mid z = 1..n\}$ – є спектрами операторів ∇^j і ∇^i відповідно, де λ_z^j, λ_z^i – z -ті власні значення операторів ∇^j і ∇^i відповідно, яким відповідають власний вектори \mathbf{e}_z^j . За власними значеннями λ_z^j, λ_z^i можна отримати $E_{\lambda_z^j}, E_{\lambda_z^i}$ – власні підпростори операторів ∇^j і ∇^i :

$$E_{\lambda_z^i} = \ker(\nabla^i - \lambda_z^i E), \quad z \in [1; n]. \quad (15)$$

$$E_{\lambda_z^j} = \ker(\nabla^j - \lambda_z^j E), \quad z \in [1; m]. \quad (16)$$

де E – одинична діагональна матриця. Для кожного напрямку розглянемо діагональну матрицю:

$$D^i = (\lambda_z^i E) = \text{diag}\{\lambda_1^i, \dots, \lambda_m^i\}; \quad (17)$$

$$D^j = (\lambda_z^j E) = \text{diag}\{\lambda_1^j, \dots, \lambda_n^j\}.$$

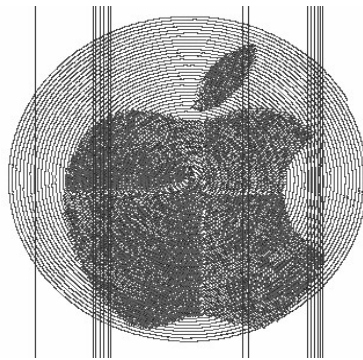
Тоді визначити подібність між регіоном ідентифікації P і заданим еталон $P_{\text{ет}}$ можна за допомогою спектральної метрики:

$$d(P^j, P_{\text{ет}}^j) = \sqrt{\lambda_{A^j, \max}(A^{j*} A^j)}, \quad (18)$$

де $A^j = D^j - D_{\text{ет}}^j$; A^{j*} – матриця, спряжена до A^j ; $\lambda_{A^j, \max}$ – максимальне власне число додатної напіввизначеної за розкладом Холецкого матриці $A^{j*} A^j$. Оскільки матриця $A^{j*} A^j$ додатна, то її усі власні значення $\{\lambda_{A^j, z}\}_{z=1..n}$ є додатними, а тому метрика (16) визначена.

Аналогічно будується метрика $d(P^j, P_{\text{ет}}^j)$, яка визначає міру подібності P і $P_{\text{ет}}$ у напрямку i .

Висновки та результати практичних експериментів



Результати ідентифікації графічних елементів

На рисунку наведено результати ідентифікації графічних елементів, розміщених на фоновому зображенні. Параметри зображення були такими: зображення роздільною здатністю 600 DPI, фізичні розміри 2093x2107 пікселів, формат – 16-розрядна палітра у відтінках сірого. Захисні елементи отримано за формулою спіралі Архімеда $\rho = a\varphi$, у полярній системі координат (ρ, φ) . Збурення, за допомогою яких намальовано фонове зображення (логотип фірми Apple) у вигляді яблука, були реалізовані за принципом осьової симетрії. На рисунку вертикальними лініями показано неідентифіковані елементи. За отриманими результатами можна констатувати, що запронований метод ідентифікації захисних елементів на наведеному зображенні забезпечив точність розпізнавання, що приблизно дорівнює 87 %. Під точністю розпізнавання розуміємо відношення кількості розпізнаних графічних елементів до усієї кількості.

Час ідентифікації неоптимізованою користувацькою програмою у середовищі Win32 становив близько 2 хвилин. Час ідентифікації для неоптимізованого коду є цілком прийнятним. У випадку ефективної оптимізації і зважаючи на можливість апаратної реалізації методу, можна будувати програмно-апаратні рішення автоматичної ідентифікації практично у режимі, наближеному до реального часу.

1. Визильтер Ю.В. Сравнение и локализация фрагментов изображений с использованием проективных морфологий / Ю.В. Визильтер, С. Ю. Желтов // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2008. – № 2. – С. 14 – 22.
2. Губанов П. В. Автоматическая сегментация текстурированных изображений на основе локальных распределений характеристик / П. В. Губанов // Вестник Томского государственного университета. – 2000. – № 271. – С. 74 – 77.
3. Хиленко В.В. Численный метод определения собственных чисел матриц произвольно большой размерности / В.В. Хиленко // Кибернетика и системный анализ. – 2004. – № 2. – С. 186 – 194.
4. Грыцьк В. В. Информационные технологии защиты документов средствами Ateb-функций. Ч. 1: Построение базы данных Ateb-функций для защиты документов / В. В. Грыцьк, И. М. Дронюк, М. А. Назаркевич // Проблемы управления и информатики. – 2009. – № 2. – С. 139–152.