УДК 519.688

К.т.н., доцент Чертов О.Р., студент Сліпець Т.Ю.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

МЕТОД ПОЛІНОМІВ КУНЧЕНКА ЯК МЕТОД ЗІСТАВЛЕННЯ ШАБЛОНІВ

Abstract

Oleg R. Chertov, assoc. prof., PhD; Taras Slipets, student
Kunchenko's Polynomials method as Template Matching method
This paper addresses using Kunchenko's polynomials as template matching method to recognize template in one-dimensional input signal. Introduced method is compared with cross-correlation and sum of squared differences methods according to numerical statistical example.

Вступ

Задача виявлення заданих шаблонів в наявних даних зустрічається в різних сферах людської діяльності: забезпечення машинного зору, розпізнавання людського почерку, інтелектуального аналізу даних. Відповідний напрям досліджень має назву template matching [1, 2].

Постановка задачі

Задача застосування поліномів Кунченка (ПК) для зіставлення шаблонів з одновимірним цифровим сигналом полягає в апроксимації вихідного сигналу поліномом Кунченка, сформованим на основі шуканого шаблону, та обчисленні ефектограми – графіка отриманого наближення. Запропонований метод порівнюється з класичними методами: метод сум квадратів відхилень (СКВ) та метод взаємної кореляції (ВК) [3].

Простір з породжуючим елементом

Введемо впорядковану множину породжених функцій вигляду:

$$u_{\nu}(x) = \varphi_{\nu}[f(x)],\ x \in [a,d] \tag{1}$$

де $f(x)$ — так звана породжуюча функція, $\varphi_{\nu}(\cdot)$ — дійсні функції, підібрані певним чином.

Визначимо просторово утворюючу множину функцій, сформовану як об'єднання множини лінійно незалежних породжених функцій із (1). Лінійний простір, утворений на такій множині, називатимемо лінійним простором Кунченка [4, 5] та позначатимемо його через LFKu.

Корелянтою елементів $u_v(x)$ і $u_k(x)$ будемо називати скалярний добуток:

$$\Psi_{v,k} \equiv (u_v(x), u_k(x)) \equiv \int_a^d \varphi_v[f(x)] \cdot \varphi_k[f(x)]dx \tag{2}$$

Якщо для всіх породжених функцій, що утворюють простір LFKu, можна ввести (2), то такий простір називатимемо простором LFKu зі скалярним добутком.

Виберемо деяку породжену функцію $u_b(x)$, яку назвемо основною. Поліном Кунченка із породжених функцій $u_v(x),\ v \neq b$, які назвемо доповнювальними, має вигляд:

$$P_r(x) \equiv \sum_{\substack{v=0 \\ v\neq b}}^{r} \alpha_v u_v(x) = \alpha_0 u_0(x) + \sum_{\substack{v=1 \\ v\neq b}}^{r} \alpha_v u_v(x)\,. \tag{3}$$

Можна показати [4, 5], що коефіцієнти $\alpha_v,\ v \neq 0$ знаходяться з наступної системи лінійних рівнянь:

$$\sum_{\substack{k=1 \\ k\neq b}}^{r} \alpha_k F_{v,k} = F_{v,b},\ \ v = \overline{1,r},\ v \neq b \tag{4}$$

де $F_{v,k} \equiv \Psi_{v,k} - \Psi_v \cdot \Psi_k \cdot \|u_0(x)\|^2$,

$$\Psi_v \equiv \frac{\Psi_{v,0}}{\|u_0(x)\|^2} = \frac{\int_a^d u_v(x) \cdot u_0(x)dx}{\int_a^d u_0^2(x)dx},\ \alpha_0 = \Psi_b - \sum_{\substack{v=1 \\ v\neq b}}^{r} \alpha_v \Psi_v\,.$$

Коефіцієнт ефективності, тобто чисельний показник якості наближення основної функції $u_b(x)$ за допомогою полінома (3) має вигляд:

$$e_r = \frac{J_r}{\int_a^d (u_b(x) - \Psi_b \cdot u_0(x))^2 dx} \tag{5}$$

де $J_r \equiv \sum_{\substack{v=1 \\ v\neq b}}^{r} \alpha_v F_{v,b} = \sum_{\substack{v=1 \\ v\neq b}}^{r} \sum_{\substack{k=1 \\ k\neq b}}^{r} \alpha_v \alpha_k F_{v,k}$ — так звана інфоркуна полінома (3).

Графік коефіцієнтів ефективності називається ефектограмою.

Наведена схема побудови поліномів Кунченка та обчислення коефіцієнтів ефективності складає суть методу зіставлення з шаблоном на базі поліномів Кунченка [6].

Статистичний експеримент

Для оцінки якості методів, що розглядаються, було проведено статистичний експеримент за наступною схемою:

- Формування вихідного сигналу. В якості сигналу було взято суму 10 гаусіан (Рис. 1) наступного вигляду:

$$signal(x)=\sum_{i=1}^{10}\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_i}e^{-(x-\mu_i)^2/2\sigma_i^2},\ \text{де}\ \begin{cases}\mu_1=0,\\ \mu_k=\mu_{k-1}+4(\sigma_{k-1}+\sigma_k),k=\overline{2,10}.\\ \sigma_i\sim Rand(0.2;\,2),i=\overline{1,10}.\end{cases}$$

- Співставлення сигналу з шаблоном:

$$template(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}e^{-x^2/2},-3\le x\le 3.$$

- Фільтрація ефектограм методів (Рис. 2). Для цього використовуються два різні пороги – один для методів ПК і ВК, а інший – для СКВ.
- Пошук локальних максимумів у відфільтрованих ефектограмах для ПК і ВК та пошук локальних мінімумів для методу СКВ.

Якщо знайдені максимуми потрапляють до довірчого інтервалу, гаусіана вважається знайденою. Розмір довірчого інтервалу для максимумів вихідного сигналу був підібраний експериментально і становить $[\mu_i-\delta;\mu_i+\delta],i=\overline{1,10}$, де $\delta=0{,}1$.

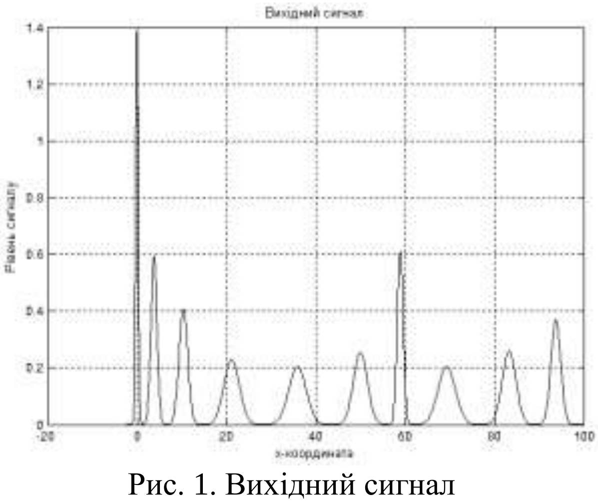

Рис. 1. Вихідний сигнал

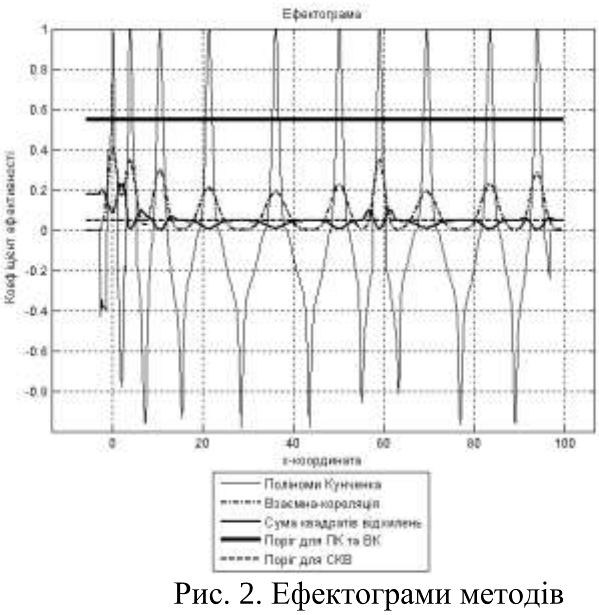

Рис. 2. Ефектограми методів

Результати статистичного експерименту наведені у табл. 1. Об’єм вибірки експерименту – 100.

Таблиця 1

Результати статистичного експерименту

Поліноми Кунченка					
Рівень порогу	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
Кількість знайдених гаусіан	9,78	9,9	9,69	9,8	9,65
Кількість хибних спрацьовувань	0,58	0,21	0,34	0,13	0,18
Сума квадратів відхилень					
Рівень порогу	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07
Кількість знайдених гаусіан	8,36	8,82	7,72	6,65	6,04
Кількість хибних спрацьовувань	0,1	0,12	1,23	0,94	0,61
Взаємна кореляція					
Рівень порогу	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25
Кількість знайдених гаусіан	8,41	9,32	9,49	8,54	5,7
Кількість хибних спрацьовувань	0,12	0,09	0,12	0,06	0,09

Висновки

Статистичний експеримент показав, що метод поліномів Кунченка дає кращі результати розпізнавання не масштабованого шаблону і дозволяє знаходити шаблони з більшою ймовірністю ніж метод взаємної кореляції та за найкращого порогу має приблизно стільки ж хибних спрацьовувань, як і метод сум квадратів відхилень.

Література

1. *Brunelli R.* Template Matching Techniques in Computer Vision: Theory and Practice. — Chippenham: John Wiley & Sons, 2009. — 348 p.
2. *Lin Y.-H., Chen C.-H.* Template matching using the parametric template vector with translation, rotation and scale invariance // Pattern Recognition. — 2008. — Vol. 41, № 7. — P. 2413—2421.
3. *Tsai D.-M., Lin C.-T.* Fast normalized cross correlation for defect detection // Pattern Recognition Letters. — 2003. — Vol. 24, Issue 15. — P. 2625—2631.
4. *Кунченко Ю. П.* Поліноміальні оцінки параметрів близьких до гаусівських випадкових величин. — Ч.: ЧИТИ, 2001. — 133 с.
5. *Кунченко Ю. П.* Приближения в пространстве с порождающим элементом. — К.: Наук. думка, 2003. — 243 с.
6. *Group methods of data processing* : monograph / O. Chertov, D. Tavrov, D. Pavlov [et al.] ; ed. O. Chertov. — Raleigh: Lulu.com, 2010. — 155 p.