УДК 621.372.061

КЛАСИФІКАЦІЯ ДВОВИМІРНИХ ОБРАЗІВ З ВИКОРИСТАННЯМ НОРМАЛІЗАЦІЇ ЗА РІВНЕМ[1]

О. І. Рибін, С. М. Літвінцев**, І. О. Сушко***, С. О. Пелевін*
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут», Київ, Україна
**ORCID: http://orcid.org/0000-0003-4443-1075*
***ORCID: http://orcid.org/0000-0002-6171-0036*
****ORCID: http://orcid.org/0000-0002-3018-2875*

2-D IMAGES CLASSIFICATION BASED ON "IN TERMS OF LEVEL" NORMALIZATION

A. I. Rybin, Sergii Litvintsev, I. A. Sushko, S. O. Pelevin
National Technical University of Ukraine
«Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

Вступ

Розв'язання задачі класифікації (подібності/розбіжності) образів має суттєве значення в технічній та медичній діагностиці, криміналістиці [1–4] тощо.

Одними з найпростіших методів класифікації, що потребують мінімальної апріорної інформації про досліджувані сигнали, є методи, засновані на нормалізації еталонного сигналу («за рівнем») [5, 6], ортогонального перетворення («за кроком») [5, 7, 8] та нормальному ортогональному перетворенні еталону [6, 8–10]. При цьому:

1. При нормалізації «за кроком» виконується підстроювання відомого довільного ортогонального перетворення під еталонний сигнал.
2. В разі нормалізації «за рівнем» еталонний сигнал підстроюється під трансформанту відомого довільного ортогонального перетворення.
3. При використанні нормального перетворення створюється матричний оператор дискретного ортогонального перетворення, такий, що в першому рядку матриці містяться відліки еталонного сигналу.

Спектри еталонного сигналу для усіх згаданих ортогональних перетворень містять лише одну ненульову складову. При відхиленні форми досліджуваного сигналу від еталону спектри його перетворень будуть мати ненульові складові з номерами, відмінними від номеру n тієї складової A_n, що з точністю до постійного множника співпадає з еталоном. Наявність додаткових спектральних складових дозволяє чисельно оцінити «відстань»

[1] Електронний варіант статті: http://radap.kpi.ua/radiotechnique/article/view/1050

між досліджуваним сигналом та еталоном за допомогою коефіцієнта трансформант [11, 12]:

$$k_{\text{тр}} = \sqrt{\sum_{i=1, i\neq n}^{i=N} A_i^2} \,/ A_n, \tag{1}$$

де A_i — амплітуда i-ї трансформанти; N — формат перетворення.

Для оцінки подібності між образами інколи зручніше використовувати зворотну величину — гостроту:

$$\Gamma = 1/k_{\text{тр}}. \tag{2}$$

У випадку двовимірних сигналів (образів) використання цих методів ускладнюється. Так, при створенні матричного оператора дискретного нормального ортогонального перетворення двовимірний образ, наданий у вигляді матриці пікселів $\bar{\bar{O}}$ порядку N слід представити у вигляді одного стовпця (рядка) розміру N^2-1. Оскільки для кожного k-го рядка матриці $0{,}5$ порядок матричного оператора нормального ортогонального перетворення дорівнює N, то порядок матричного оператора нормального перетворення образу в цілому дорівнюватиме N^2. Тобто загальна кількість елементів такого матричного оператора дорівнює N^4, що при $N = 256\ldots1024$ відповідає $N^4 \approx 4{,}295\cdot10^9\ldots1{,}099\cdot10^{12}$.

Метод нормалізації обраного базового ортогонального перетворення тестовим образом «за кроком» вимагає створення N матричних операторів нормалізованого базового ортогонального перетворення порядку N^2. Але такі оператори створено для кожного рядка окремо, а не для образу в цілому, як це розглянуто для випадку використання нормального перетворення. Для оцінки подібності образів такий підхід є неприпустимим, оскільки, якщо у вихідного образу змінити рівні сигналів рядків, оцінка відстані між образами буде дорівнювати нулю.

Як показано в роботі далі, з точки зору простоти реалізації класифікатора двовимірних зображень найбільш цікавим є використання нормалізації «за рівнем».

Приклад алгоритму нормалізації еталонного двовимірного сигналу «за рівнем»

Алгоритм нормалізації образу за рівнем, тобто підстроюванням еталонного сигналу під довільне обране дискретне ортогональне перетворення, розглянемо на прикладі, обраному виходячи з міркувань простоти перевірки та наочності отримуваних результатів. Оберемо як базове перетворення Адамара 8-го порядку:

$\overline{\overline{\text{Had}}}_8 =$

1	1	1	1	1	1	1	1
1	–1	1	–1	1	–1	1	–1
1	1	–1	–1	1	1	–1	–1
1	–1	–1	1	1	–1	–1	1
1	1	1	1	–1	–1	–1	–1
1	–1	1	–1	–1	1	–1	1
1	1	–1	–1	–1	–1	1	1
1	–1	–1	1	–1	1	1	–1

Як базову двовимірну функцію $\overline{\overline{B}}$ оберемо добуток двох функцій Адамара:

$$\overline{\overline{B}} = \overline{had}^{\mathrm{T}}(3,n)\cdot\overline{had}(6,m) = \begin{bmatrix}1\\-1\\-1\\1\\1\\-1\\-1\\1\end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix}1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1\end{bmatrix},$$

Тобто

$\overline{\overline{B}} =$

1	1	–1	–1	–1	–1	1	1
–1	–1	1	1	1	1	–1	–1
–1	–1	1	1	1	1	–1	–1
–1	–1	–1	–1	–1	–1	–1	–1
1	1	–1	–1	–1	–1	1	1
–1	–1	1	1	1	1	–1	–1
–1	–1	1	1	1	1	–1	–1
–1	–1	–1	–1	–1	–1	–1	1

Нехай тепер надано еталонний образ у вигляді матриці:

$\overline{\overline{O}} =$

1	1	1	1	1	1	1	1
1	2	2	2	2	2	2	1
1	2	3	3	3	3	2	1
1	2	3	8	6	3	2	1
1	2	3	6	8	3	2	1
1	2	3	3	3	3	2	1
1	2	2	2	2	2	2	1
1	1	1	1	1	1	1	1

Дані образу центруємо середнім значенням $O_{\text{сер}}$ = 132/64 = 2,0625. Центрована матриця образу має вигляд:

$\overline{\overline{O}}_{\text{ц}} =$

–1,0625	–1,0625	–1,0625	–1,0625	–1,0625	–1,0625	–1,0625	–1,0625
–1,0625	–0,0625	–0,0625	–0,0625	–0,0625	–0,0625	–0,0625	–1,0625
–1,0625	–0,0625	0,9375	0,9375	0,9375	0,9375	–0,0625	–1,0625
–1,0625	–0,0625	0,9375	5,9375	3,9375	0,9375	–0,0625	–1,0625
–1,0625	–0,0625	0,9375	3,9375	5,9375	0,9375	–0,0625	–1,0625
–1,0625	–0,0625	0,9375	0,9375	0,9375	0,9375	–0,0625	–1,0625
–1,0625	–0,0625	–0,0625	–0,0625	–0,0625	–0,0625	–0,0625	–1,0625
–1,0625	–1,0625	–1,0625	–1,0625	–1,0625	–1,0625	–1,0625	–1,0625

Побудуємо матрицю корегуючих коефіцієнтів $\overline{\overline{M}}$ таку, що її добуток (множення елементу матриці на елемент) з матрицею $\overline{\overline{O}}_{\text{ц}}$ дає матрицю двовимірної базової функції $\overline{\overline{B}}$:

$$\overline{\overline{O}}_{\text{ц}} \circ \overline{\overline{M}} = \overline{\overline{B}}, \qquad (4)$$

де оператор «$\circ$» означає добуток Адамара.

Матриця $\overline{\overline{M}}$ для прикладу, що розглядається, має вигляд:

$\overline{\overline{M}} =$

–0,94117	–0,94117	0,94117	0,94117	0,94117	0,94117	–0,94117	–0,94117
0,94117	16	–16	–16	–16	–16	16	0,94117
0,94117	16	1,06667	1,06667	1,06667	1,06667	16	0,941176
–0,94117	–16	–1,06667	–0,16842	–0,25397	–1,06667	–16	–0,94117
–0,94117	–16	–1,06667	–0,25397	–0,16842	–1,06667	–16	–0,94117
0,94117	16	1,06667	1,06667	1,06667	1,06667	16	0,94117
0,94117	16	–16	–16	–16	–16	16	0,94117
–0,94117	–0,94117	0,94117	0,94117	0,94117	0,94117	–0,94117	–0,94117

Таким чином, множення елемент на елемент матриці еталона $\overline{\overline{O}}_{\text{ц}}$ на матрицю коефіцієнтів $\overline{\overline{M}}$ дає матрицю двовимірної базової функції $\overline{\overline{B}}$. Двовимірне перетворення Адамара цієї базової функції

$$\overline{\overline{H}}_2 = \frac{1}{(N^2)} \cdot \overline{\overline{\mathrm{Had}_8}}^{\mathrm{T}} \cdot \overline{\overline{B}} \cdot \overline{\overline{\mathrm{Had}_8}}, \qquad (3)$$

тобто

$\overline{\overline{H}}_2 =$

0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

Таким чином, спектр Адамара нормалізованого тестового сигналу містить лише одну складову, надану матрицею $\overline{\overline{B}}$, яка відповідає трансформанті двовимірного перетворення Адамара.

Нехай тепер матриця досліджуваного образу $\overline{\overline{O}}_1$ відрізняється від еталону $\bar{\bar{O}}$ і має вигляд:

$\bar{\bar{O}}_1 =$

1	1	1	1	1	1	1	1
1	2	2	2	2	2	2	1
1	2	3	3	3	3	2	1
1	2	3	8	8	3	4	1
1	2	3	8	8	3	2	1
1	2	3	3	3	3	2	1
1	2	2	2	2	2	2	1
1	1	1	1	1	1	1	1

Тоді при середньому значенні $O_{\text{сер}1} = 138/64 = 2{,}15625$ центрована матриця образу $\bar{\bar{O}}_{\text{ц}1}$ має вигляд:

$\bar{\bar{O}}_{\text{ц}1} =$

–1,1562	–1,1562	–1,15625	–1,15625	–1,15625	–1,15625	–1,1562	–1,1562
–1,1562	–0,1562	–0,15625	–0,15625	–0,15625	–0,15625	–0,1562	–1,1562
–1,1562	–0,1562	0,84375	0,84375	0,84375	0,84375	–0,1562	–1,1562
–1,1562	–0,1562	0,84375	5,84375	5,84375	0,84375	1,84375	–1,1562
–1,1562	–0,1562	0,84375	5,84375	5,84375	0,84375	–0,1562	–1,1562
–1,1562	–0,1562	0,84375	0,84375	0,84375	0,84375	–0,1562	–1,1562
–1,1562	–0,1562	–0,15625	–0,15625	–0,15625	–0,15625	–0,1562	–1,1562
–1,1562	–1,1562	–1,15625	–1,15625	–1,15625	–1,15625	–1,1562	–1,1562

Результат множення $\bar{\bar{O}}_{\text{ц}1} \circ \bar{\bar{M}}$ дає матрицю $\bar{\bar{B}}_1$, яка має вигляд:

$\bar{\bar{B}}_1 =$

1,088	1,088	–1,088	–1,088	–1,088	–1,088	1,088	1,088
–1,088	–2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	–2,5	–1,088
–1,088	–2,5	0,900	0,900	0,900	0,900	–2,5	–1,088
1,088	2,5	–0,900	–0,984	–1,484	–0,900	–29,5	1,088
1,088	2,5	–0,900	–1,484	–0,984	–0,900	2,5	1,088
–1,088	–2,5	0,900	0,900	0,900	0,900	–2,5	–1,088
–1,088	–2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	–2,5	–1,088
1,088	1,088	–1,088	–1,088	–1,088	–1,088	1,088	1,088

Двовимірне перетворення Адамара цієї матриці

$$\bar{\bar{H}}_1 = \frac{1}{(N^2)} \cdot \overline{\overline{\text{Had}_8}}^{\text{T}} \cdot \bar{\bar{B}}_1 \cdot \overline{\overline{\text{Had}_8}}, \qquad (5)$$

тобто

$\bar{\bar{H}}_1 =$

–0,433	–0,5	0,5	0,567	0,5	0,609	–0,744	0,5
0,5	0,516	–0,484	–0,5	–0,516	–0,5	0,5	0,484
0,5	0,516	–0,484	–0,5	–0,516	–0,5	0,5	0,484
–0,386	–0,5	0,5	0,214	0,5	0,256	1,003	–0,5
–0,5	–0,516	0,484	0,5	0,516	0,5	–0,5	–0,484
0,209	0,5	–0,5	–0,391	–0,5	–0,433	0,614	0,5
0,609	0,5	–0,5	–0,391	–0,5	–0,433	0,214	0,5
–0,5	–0,516	0,484	0,5	0,516	0,5	–0,5	–0,484

Тоді коефіцієнт трансформант має значення:

$$k_{\text{тр}} = \sqrt{\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N} A_{i,j;ij\neq nm}^{2}} \,/\, A_{n,m} = 3{,}889. \tag{6}$$

Щоб оцінити отриманий результат у порівнянні до одновимірних випадків, поділимо результат на порядок матриці $k_{\text{тр прив}} = k_{\text{тр}} / N = 0{,}4861$.

На практиці при створенні класифікатора слід для даного класу за репрезентативною вибіркою образів знайти їх математичне очікування, яке прийняти за еталонний образ. Далі для кожного образу цієї вибірки знайти коефіцієнти трансформант. Найбільше значення коефіцієнта трансформант є пороговим значенням. Якщо досліджуваний сигнал має коефіцієнт трансформант, менший порогового значення, образ належить до даного класу, якщо більше — не належить.

Алгоритм нормалізації еталонного образу дискретним ортогональним перетворенням

Таким чином, виходячи з розглянутого прикладу, алгоритм нормалізації еталонного образу дискретним ортогональним перетворенням можна сформулювати наступним чином.

1. Обрати матричний оператор будь-якого дискретного ортогонального перетворення $\overline{\overline{W}}$, базову двовимірну функцію $b(r, n)$ цього перетворення та побудувати його матричний оператор $\overline{\overline{B}}$. Тут r, n — номери функцій (рядків) матричного оператора обраного перетворення.

2. Задати еталонний образ $\overline{\overline{O}}_{\text{ет}}$, з яким у подальшому буде виконуватися порівняння досліджуваного сигналу та який буде нормалізовано матричним оператором $\overline{\overline{B}}$.

3. Центрувати еталонний образ $\overline{\overline{O}}_{\text{ет}}$, визначивши середнє значення його пікселів та віднявши середнє значення від відліків (пікселем) еталонного сигналу.

4. По дискретним відлікам центрованого еталону $\overline{\overline{O}}_{\text{ц}}$ та матричному оператору базової двовимірної функції $\overline{\overline{B}}$ обчислити матрицю масштабних корегуючих коефіцієнтів $\overline{\overline{M}}$, таку, що

$$\overline{\overline{O}}_{\text{ц}} \circ \overline{\overline{M}} = \overline{\overline{B}}, \tag{7}$$

де знак «$\circ$» означає добуток Адамара.

Після нормалізації еталонного образу його двовимірний спектр

$$\overline{\overline{H}} = \overline{\overline{W}}^{\text{T}} \cdot \overline{\overline{B}} \cdot \overline{\overline{W}} \tag{8}$$

містить лише одну ненульову складову h_{rn}.

Нормалізований двовимірний еталон у подальшому можна використовувати для створення класифікатора, що використовується при оцінці ступеня подібності або відмінності порівнюваних сигналів.

Алгоритм оцінки ступеня подібності/розбіжності між досліджуваним образом та еталоном

1. Дискретний досліджуваний образ $\bar{\bar{O}}_1$ привести до формату еталону.

2. Знайти середнє значення пікселів досліджуваного образу та центрувати ці значення, отримавши матрицю $\bar{\bar{O}}_{ц1}$.

3. За формулою

$$\bar{\bar{O}}_{ц1} \circ \bar{\bar{M}} = \bar{\bar{B}}_1$$

отримати результат нормалізації досліджуваного образу, який буде відрізнятися від базової матриці $\bar{\bar{B}}$.

4. Знайти двовимірний спектр перетворення згідно (8):

$$\bar{\bar{H}}_1 = \bar{\bar{W}}^{\mathrm{T}} \cdot \bar{\bar{B}}_1 \cdot \bar{\bar{W}}.$$

Оскільки матриця $\bar{\bar{B}}_1$ досліджуваного сигналу відрізняється від матриці $\bar{\bar{B}}$ еталону, спектр $\bar{\bar{H}}_1$ містить багато ненульових складових.

5. Обчислити коефіцієнт трансформант:

$$k_{\text{тр}} = \sqrt{\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N} h_{i,j;ij\neq nm}^2} \,/\, h_{n,m},$$

який визначає відстань між досліджуваним та еталонним образами.

Висновки

1. Запропонований алгоритм оцінки відстані між еталоном та досліджуваним образом є простим і потребує малих витрат пам'яті комп'ютера та невеликого часу на математичні операції як при створенні класифікатора, так і при його роботі.

2. Як еталонний, так і досліджуваний сигнали повинні бути центровані, що створює певну незручність при створенні класифікатора.

3. Вадою методу є необхідність забезпечення ненульових значень відліків як еталону, так і досліджуваного сигналів. Указану ваду можна обійти, переходячи до області спектрів досліджуваного та еталонного сигналів, що буде показано у наступних роботах.

Перелік посилань

1. Абакумов В. Г. Біомедичні сигнали (генезис, обробка, моніторинг : Навчальний посібник з грифом МОН України / В. Г. Абакумов, О. І. Рибін. — К. : Нора–Прінт, 2001. — 516 с.

2. Продеус А. Н. Экспертные оценки в медицине : Учебное пособие / А. Н. Продеус,

Е. Н. Захрабова. — К. : ВЕК, 1998. — 320 с.

3. Дидковский В. С. Акустическая экспертиза каналов речевой коммуникации / В. С. Дидковский, М. В. Дидковская. — К. : Имєкс-ЛТД, 2008. — 420 с. — ISBN : 966-8861-85-X 978-966-8861-85-7.

4. Продеус А. Н. О влиянии алгоритмов спектрального анализа на эффективность распознавания / А. Н. Продеус, В. П. Чередниченко / Вопросы кораблестроения. Сер. Акустика. — 1984. — № 32. — С. 79–82.

5. Рыбин А. И. Согласованная нормализованная фильтрация сигналов / А. И. Рыбин, А. Д. Мельник // Радиоэлектроника. — 2008. — Т. 51, № 2. — С. 77–80. — (Изв. вузов). — Режим доступа : http://radio.kpi.ua/article/view/S0021347008020106.

6. Мельник А. Д. Согласованная вейвлет-фильтрация сигналов с измененным масштабом / А. Д. Мельник, А. И. Рыбин // Радиоэлектроника. — 2008. — Т. 51, № 3. — С. 76–80. — (Изв. вузов). — Режим доступа : http://radio.kpi.ua/article/view/S0021347008030114.

7. Рыбин А. И. Нормализация дискретных ортогональных преобразований тестовым сигналом / А. И. Рыбин // Радиоэлектроника. — 2004. — Т. 47, № 7. — С. 39–46. — (Изв. вузов).

8. Рыбин А. И. Алгоритм подстройки дискретного ортогонального преобразования под тестовый сигнал / А. И. Рыбин, Е. Г. Григоренко // Вісник НТУУ КПІ. Серія Приладобудування. — 2004. — № 27. — С. 122–128.

9. Рибін О. І. Нормальне дискретне ортогональне перетворення / О. І. Рибін, Ю. Х. Ніжебецька // Вісник НТУУ КПІ. Серія Радіотехніка. Радіоапаратобудування. — 2008. — № 37. — С. 8–15. — Режим доступу : http://radap.kpi.ua/radiotechnique/article/view/165.

10. Рыбин А. И. Анализ подобия и различия образов с использованием нормального ортогонального преобразования / А. И. Рыбин, Ю. Х. Нижебецкая // Радиоэлектроника. — 2010. — Т. 53, № 3. — С. 58–64. — (Изв. вузов). — Режим доступа : http://radio.kpi.ua/article/view/S0021347010030076.

11. Рыбин А. И. Коэффициенты трансформант нормализованных ортогональных преобразований и диагностика пульсограмм / А. И. Рыбин, О. Б. Шарпан, Т. В. Сакалош, Е. Г. Григоренко // Вісник НТУУ КПІ. Серія Приладобудування. — 2005. — № 30. — С. 148–156.

12. Рибін О. І. Алгоритм формування матричного оператора дискретного нормального перетворення / О. І. Рибін, Ю. Х. Ніжебецька // Вісник НТУУ КПІ. Серія Радіотехніка. Радіоапаратобудування. — 2008. — № 37. — С. 19–27. — Режим доступу : http://radap.kpi.ua/radiotechnique/article/view/182.

References

1. Abakumov, V. G.; Rybin, A. I. *Biomedical Signals (Genesis, Treatment, Monitoring)*. Kyiv, Nora-Print, 2001, 516 p. [in Ukrainian].

2. Prodeus, A. N.; Zakhrabova, Ye. N. *Expert Rating in Medicine*. Kyiv, VEK, 1998, 320 p. [in Russian].

3. Didkovskii, V. S.; Didkovskaia, M. V. *Acoustic Examination of Verbal Communication Channels*. Kyiv, Imeks-LTD, 2008, 420 p., ISBN: 966-8861-85-X 978-966-8861-85-7 [in Russian].

4. Prodeus, A. N.; Cherednichenko, V.P. (1984) On influence of spectral analysis algorithms for recognition efficiency. *Voprosi Korablestroeniia. Ser. Akustika*, no. 32, pp. 79-82.

5. Rybin, A. I.; Melnyk A. D. (2008) Matched normalized signal filtering. *Radioelectron. Commun. Syst.* Vol. 51, No. 2, pp. 112-114.

DOI: http://dx.doi.org/10.3103/S0735272708020106.
6. Melnyk, A. D.; Rybin, A. I. (2008) Matched wavelet filtering of signals with change scale. *Radioelectron. Commun. Syst.* Vol. 51, No. 3, pp. 173-175.
DOI: http://dx.doi.org/10.3103/S0735272708030114.
7. Rybin A. I. (2004) Normalization of discrete orthogonal transforms by test signal. *Radioelectron. Commun. Syst.* Vol. 47, No. 7, pp. 30-36.
8. Rybin, A.I.; Grigorenko, Ye.G. (2004) Algorithm of tuning discrete orthogonal transformation for test signal. *Visn. NTUU KPI, Ser. Pryladobuduvan.*, No. 27, pp. 122-128.
9. Rybin, A. I.; Nizhebetska, Y. Kh. (2008) Normal discrete orthogonal transformation. *Visn. NTUU KPI, Ser. Radioteh. Radioaparatobuduv.* no. 37, pp. 8-15 (in Ukrainian).
10. Rybin, A. I.; Nizhebetskaya, Yu. Kh. (2010) Analysis of images similarity and difference using normal orthogonal conversion. *Radioelectron. Commun. Syst.* Vol. 53, No. 3, pp. 167-172. DOI: http://dx.doi.org/10.3103/S0735272710030076.
11. Rybin, A.I.; Sharpan, O.B.; Sakalosh, T.V.; Grigorenko, Ye.G. (2005) Transforms coefficients of normalized orthogonal transformations and diagnostics of pulsograms. *Visn. NTUU KPI, Ser. Pryladobuduvan.*, No. 30, pp. 148-156.
12. Rybin, A. I.; Nizhebetska, Y. Kh. (2008) Algorithm of forming matrix operator of discrete normal transformation. *Visn. NTUU KPI, Ser. Radioteh. radioaparatobuduv.*, no. 37, pp. 19-28 (in Ukrainian).

О. І. Рибін, С. М. Літвінцев, І. О. Сушко, С. О. Пелевін. ***Класифікація двовимірних образів з використанням нормалізації за рівнем****. Розглянуто методи розпізнавання двовимірних (2D) образів. Доведено, що метод нормалізації за рівнем є найкращим рішенням при проведенні класифікації двовимірних образів. Запропоновано алгоритм нормалізації 2D еталонного образу при використанні ортогонального перетворення і алгоритм оцінки ступеня подібності між досліджуваним і еталонним 2D образами. За допомогою наведеного прикладу показано увесь процес порівняння двовимірних образів за допомогою запропонованого методу.*
Ключові слова*: нормалізація; нормальне ортогональне перетворення; класифікація образів; коефіцієнт трансформант; двовимірний образ*

А. И. Рыбин, С. Н. Литвинцев, И. А. Сушко, С. О. Пелевин. ***Классификация двумерных образов с использованием нормализации по уровню.*** *Рассмотрены методы распознавания двумерных (2D) образов. Доказано, что метод нормализации по уровню является лучшим решением при проведении классификации двумерных образов. Предложены алгоритм нормализации 2D эталонного образа при использовании ортогонального преобразования и алгоритм оценки степени подобия между исследуемым и эталонным 2D образами. При помощи приведенного примера показан весь процесс сравнения двумерных образов при помощи предложенного метода.*
Ключевые слова: *нормализация; нормальное ортогональное преобразование; классификация образов; коэффициент трансформант; двумерный образ*

A. I. Rybin, Sergii Litvintsev, I. A. Sushko, S. O. Pelevin, ***2-D images classification based on "in terms of level" normalization***

Introduction. Possible methods of pattern recognition of 2D images are described. Matched filtering method based on "in terms of level" normalization is the best way for classification of 2D images.

Example of "in terms of level" normalization algorithm of 2D images. By means of example whole process of comparison of 2D images based on proposed method is presented.

Proposed algorithms. *Normalization algorithm of 2D reference image based on orthogonal transformation and estimation algorithm of similarity between tested and reference 2D images are proposed.*

Conclusions. *The main advantages of the proposed method of 2D image classification are presented in conclusions. Minimization of some disadvantages is proposed.*

Keywords: *normalization: normal orthogonal transformation: pattern recognition: transform coefficient; 2D image*