

УДК 004.93

В.П. КОЖЕМ'ЯКО¹, Л.І. ТИМЧЕНКО¹, Ю.Ф. КУТАЄВ², А.А. ЯРОВИЙ¹, Н.І. КОКРЯЦЬКА¹**ЗАСТОСУВАННЯ W – СПЕКТРУ ЗВ'ЯЗНОСТІ ДЛЯ ПОРІВНЯННЯ ЗОБРАЖЕНЬ**

¹ *Вінницький державний технічний університет*
 95, Хмельницьке шосе, Вінниця, 21021, Україна
 Тел.: +380 (432) 440125, 440019, e-mail: kyp@vstu.vinnica.ua

² *Державне унітарне дочірнє підприємство «НПО Астрофізика»*
 112, Волоколамське шосе, Москва, 123424, Росія

Анотація. Розглянуті варіанти представлення багатоградацийного зображення у вигляді дво- та тривимірного варіантів W – спектру зв'язності. Приведена методика дихотомічного розбиття W – спектру зв'язності зображень з наступним їх порівнянням.

Аннотация. Рассмотрены варианты представления многоградационного изображения в виде двух- и трехмерного вариантов W – спектра связности. Приведена методика дихотомического разбиения W – спектра связности с последующим их сравнением.

Abstract. The variants of presentation of multigradation images in the manner of two- and three-dimensional variants of W – spectrum specially connection is considered. The methods of W – spectrum specially connection dichotomic partition with following their comparison is resulted.

Ключові слова: розпізнавання образів, обробка зображень, W – спектр зв'язності, Q – спектр.

ВСТУП

Для ряду медичних, навігаційних і робототехнічних систем актуальна проблема створення швидкодіючих цифрових пристроїв розпізнавання образів, у тому числі задача виявлення і виміру координат зображень в умовах непевності завадо-сигнальної обстановки [1,2].

Аналіз показує, що комплекс характеристик існуючих цифрових пристроїв для виявлення об'єктів і кореляційно-екстремальних вимірювачів координат не задовольняє в повному об'ємі запропонованим до таких систем вимогам. Дані вимоги містять у собі забезпечення максимальної простоти для досягнення максимальної швидкодії при зберіганні високої точності обчислень, високої завадостійкості алгоритмічних засобів, усталеності до зміни відносних характеристик об'єкта спостереження і фона адаптації до априорно невідомого фона.

З метою зниження чутливості до деформацій, внесених формуванням зображення і його шуму, пропонується метод представлення багатоградацийного зображення узагальненим W - спектром просторової зв'язності і на його основі запропоновані завадостійкі алгоритми порівняння зображень [1,3,4].

1. ДВОВИМІРНИЙ ВАРІАНТ W - СПЕКТРУ ЗВ'ЯЗНОСТІ

Сутність розкладання зображення в узагальнений W - спектр зв'язності полягає в розбитті його по встановленому правилу на області, підрахунку суми величин відліків зображення по восьми напрямках зв'язності (часткової W - суми зв'язності) у межах кожної області і віднесення кожної із часткових W - сум до координат геометричного центру відповідної області. W -спектр зв'язності зображення (його фрагмента) розмірністю $m_x m_y$ визначений як

$$W_{\Sigma_{x,y}} = \sum_v^8 \sum_{i,j}^{m_x m_y} a_{i,j}^v, \quad (1)$$

де $a_{i,j}^v$ - одиничний елемент зображення (його фрагмента) із координатами i, j , і зв'язністю v .

При розмірності зображення $m_x m_y$, і такому ж числі одиничних відліків узагальнений W -спектр зв'язності зображення $W_{\Sigma_{x,y}}$ буде

$$W_{\Sigma_{x,y}} = 4 \cdot 3 + 2 \left[(m_x + m_y) - 4 \right] \cdot 5 + (m_x - 2)(m_y - 2) \cdot 8 \cdot m_x m_y \geq 2 \quad (2)$$

Спектр зв'язності поточного зображення W знаходиться в межах $0 \leq W_{\Sigma_{x,y}} \leq W_{\Sigma_{1 \times y}}$. При $m_x = m_y = 1$, $W_{\Sigma_{1 \times y}} = 0$.

Серед величезного числа можливих при цьому варіантів розкладань, наприклад, викладених у [5], у плані практичної реалізації представляють визначений інтерес варіанти розкладання на основі принципу дихотомії (розподілу навпіл): безвідносно геометричного центру зображення з прив'язкою до цього центру. Приклад розкладання зображення в цілочисельний двійковий W - спектр зв'язності поданий на рис. 1,б, перевагою якого є те, що мінімальні величина зв'язності і координата ω - коефіцієнтів максимального і мінімального порядку (λ, t) , де $\lambda = 2^{m_\lambda}$ і $t = 2^{m_t}$ - коефіцієнти розподілу (дільники) рівні величині зв'язності і координатам відліків зображення відповідно. Величини $m_\lambda = 1$, $INT[\log_2 m_x]$ і $m_t = 1$, $INT[\log_2 m_y]$ визначені в [6], де $m_x m_y$ - максимальні розміри зображення уздовж осей.

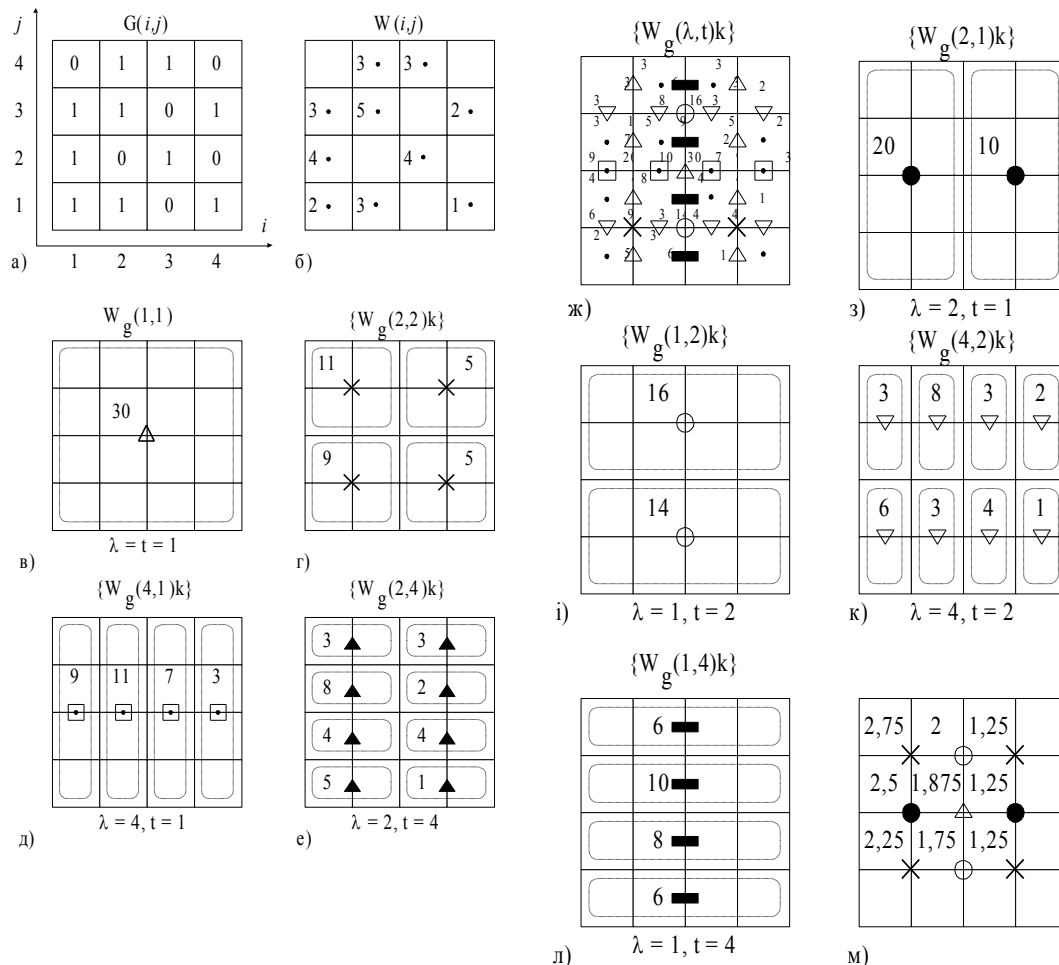


Рис. 1. Приклад бінарного зображення і його W - перетворення

Для більш інформативного опису доцільно застосувати розкладання зображення в нормований узагальнений W - спектр зв'язності, у якому значення кожного коефіцієнта зв'язності віднесено до площі відповідної області підсумовування. Для цілочисельного двійкового W - спектра

розмір цих площ складає $\frac{m_x m_y}{m_\lambda m_t}$. Приклад представлення деяких коефіцієнтів W - спектра зв'язності

(рис. 1, в-л) у нормованому виді приведені на рис. 1,м, із якого випливає, що для аналізованого прикладу існують δ - коефіцієнти більш інформативні, тобто відносна щільність зв'язності в даному прикладі одиничних відліків, зображення для котрих вище чим центральний δ - коефіцієнт.

Розглянемо алгоритм порівняння зображень по W - спектрах зв'язності, що полягає в наступному:

1. Задають похибку порівняння δ (зручно брати ступінь двійки).
2. Визначають максимальний порядок $(\lambda, t)_{\max}$, використовуваний при порівнянні

$$(\lambda, t)_{\max} \leq \frac{m_x m_y}{2\delta}.$$

3. Перебирають коефіцієнти W - спектра зв'язності поточного зображення відповідно до зростання їхнього порядку (λ, t) й убування в межах одного порядку; наприклад для зображення $G(i, j)$ (рис. 1,а) $\omega_{g(1,1)} = 30, \omega_{g(2,1)_0} = 20, \omega_{g(2,1)_1} = 10, \omega_{g(1,2)} = 16, \omega_{g(1,2)_1} = 14, \dots$

4. Формуються різниці коефіцієнтів W - спектрів зв'язності порівнюваних зображень до максимального порядку включно:

$$\Delta\omega_{fg(\lambda,t)_k} = \left| \omega_{f(\lambda,t)_k} - \omega_{g(\lambda,t)_k} \right|, \quad \lambda t \leq (\lambda, t)_{\max}.$$

5. Порівнюють різниці $\Delta\omega_{fg(\lambda,t)_k}$ з похибкою δ , при цьому якщо $\omega_{g(\lambda,t)_k} \leq \delta$, для всіх $\lambda t \leq (\lambda, t)_{\max}$, то зображення рівні, у протилежному випадку - не рівні. Алгоритм порівняння зображень по нормованому W - спектру зв'язності аналогічний вищевикладеному з заміною величини δ на величину $\delta_H = \delta \left(\frac{\lambda t}{m_x m_y} \right)$. Для зручності представлення алгоритму останній розглянутий для

бінарних зображень, але ті ж підрахунки справедливі для багатоградаційних зображень, при їх представленні як множини бінарних зображень.

2. ТРИВИМІРНИЙ ВАРІАНТ W - СПЕКТРУ ЗВ'ЯЗНОСТІ

Розглянемо сутність W - перетворення на прикладі багатоградаційного зображення, приведеного на рис. 2,а, на якому цифрами 1 і 0 позначені значення відліків $f_{i,j}$ перетинів препарованого зображення. Ваги перетинів препарованого зображення можуть відповідати вагам довільного засобу кодування, наприклад широко поширеному двійковому. Знайдемо суму $\omega(1,1,1)$ по зв'язності всіх одиничних відліків (рис. 2,а) у межах кожного перетину і між сусідніми перетинами:

$$\omega(r, v, p) = \sum_u \sum_l \sum_{i,j} a_{i,j,l}^v \quad (3)$$

Віднесемо цю суму до геометричного центру об'єму V (рис. 2,б). Індeksi 1,1,1 при $r = v = p = 1$ відповідають розподілу об'єму V на одну частину уздовж горизонтальної площини, на одну частину уздовж вертикальної площини і на одну частину уздовж фронтальної площини. Розділимо об'єм куба на дві половини уздовж горизонтальної площини і на одну частину уздовж вертикальної і фронтальної площин і знайдемо $\omega(2,1,1)k$. Продовжуючи цей процес одержимо суми (рис. 2,а-к):

$\omega(2,1,1)k$ ($k = 0 \div 1$), $\omega(2,2,1)k$ ($k = 0 \div 3$), $\omega(4,2,1)k$ ($k = 0 \div 7$), $\omega(4,4,1)k$ ($k = 0 \div 15$), $\omega(1,2,1)k$ ($k = 0, 1$)
 $\omega(1,4,1)k$ ($k = 0 \div 3$), $\omega(2,4,1)k$ ($k = 0 \div 7$), $\omega(4,1,1)k$ ($k = 0 \div 3$) і суми для $p = 2$ $\omega(1,1,2)k$ ($k = 0, 1$),

$\omega(2,1,2)k$ ($k=0\div 3$), $\omega(2,2,2)k$ ($k=0\div 7$), $\omega(4,2,2)k$ ($k=0\div 15$), $\omega(4,4,2)k$ ($k=0\div 31$), $\omega(1,2,2)k$ ($k=0\div 3$), $\omega(1,4,2)k$ ($k=0\div 7$), $\omega(2,4,2)k$ ($k=0\div 15$). При $p=4$ й аналогічних співвідношеннях rV , одержимо набір наступних ω - коефіцієнтів $\omega(1,1,4)k$ ($k=0\div 3$), $\omega(1,2,4)k$ ($k=0\div 7$), $\omega(2,2,4)k$ ($k=0\div 15$), $\omega(2,4,4)k$ ($k=0\div 31$), $\omega(4,4,4)k$ ($k=0\div 63$), $\omega(2,1,4)k$ ($k=0\div 7$), $\omega(4,1,4)k$ ($k=0\div 15$), $\omega(4,2,4)k$ ($k=0\div 31$), $\omega(1,4,4)k$ ($k=0\div 15$).

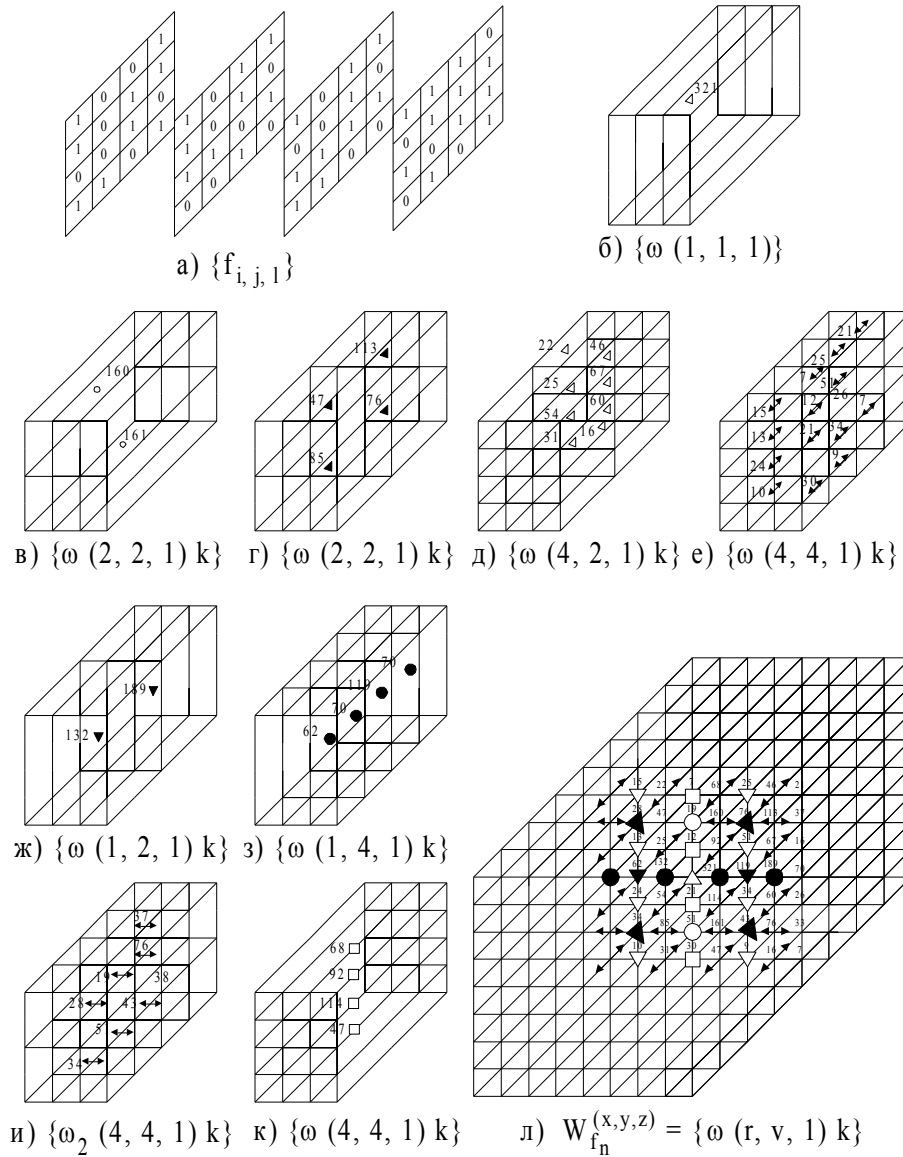


Рис. 2. Приклад багатоградаційного зображення і його W -перетворення для $p=1$

Спектр зв'язності $W_{\Sigma_{x,y}}$ багатоградаційного зображення (фрагмента) розмірністю $m_x m_y m_z$ визначений

$$W_{\Sigma_{x,y,z}} = \sum_v^{26} \sum_l^{m_z} \sum_{i,j}^{m_x m_y} a_{i,j,l}^v, \quad (4)$$

де $a_{i,j,l}^v$ - елемент зображення (його фрагмента) із координатами i, j, l і зв'язністю v .

При розмірності зображення $m_x m_y m_z$ і такому ж числі одиничних відліків узагальнений W - спектр зв'язності $W_{\Sigma 1x,y,z}$ зображення буде

$$W_{\Sigma 1x,y,z} = 4 \cdot 11(m_z - 2) + 4 \cdot 2 \cdot 7 + 2 \cdot 17[(m_x + m_y) - 4](m_z - 2) + 2 \cdot 11[(m_x + m_y) - 4] + 26(m_x - 2) \cdot (m_y - 2) + 2 \cdot 17(m_x - 2)(m_y - 2), \text{ де } m_x m_y m_z \geq 2.$$

Спектр зв'язності поточного багатоградаційного зображення $0 \leq W_{\Sigma x,y,z} \leq W_{\Sigma 1x,y,z}$. При $m_x = m_y = m_z = 1$, $W_{\Sigma 1x,y,z} = 0$. Суми $\omega(r, v, p)k$ ($p=1$) будемо називати просторовим W - перетворенням зображення $f(x, y, z) = \{f_{i,j,l}\}$ по зв'язності, тобто

$$f(x, y, z) = \{f_{x,y,l}\} \xrightarrow{W_n} W_{fn}(x, y, z) = \{\omega(r, v, p)K\}, \quad (5)$$

де $i = 0 \div (m_x - 1)$, $j = 0 \div (m_y - 1)$, $l = 0 \div (m_z - 1)$; $r = 1 \div m_y$, $v = 1 \div m_x$, $p = 1 \div m_z$, при $p = 1$, $k = 0 \div (rv - 1)$; $p = 2$, $k = 0 \div (2rv - 1), \dots, p = n$, $k = 0 \div (nr - 1)$.

Усього існує $C_{16}^8, C_{16}^4, C_{12}^4, C_8^4, C_8^2, C_{16}^2, \dots, C_4^2$ засобів розподілу площі перетину розмірності 4×4 відліків на дві, чотири і вісім частин відповідно (рис. 1). Аналогічно існує $C_{64}^{32}, C_{64}^{16}, C_{48}^{16}, C_{32}^{16}, C_{64}^8, C_{56}^8, C_{48}^8, \dots, C_{16}^8, C_{64}^4, C_{60}^4, C_{56}^4, \dots, C_8^4, C_{64}^2, C_{60}^2, \dots, C_4^2$ засобів розподілу куба розмірності $4 \times 4 \times 4$ відліків на дві, чотири, вісім, шістнадцять і тридцять дві частини відповідно. Приведені на рис. 2 засоби розподілу куба розмірністю $4 \times 4 \times 4$ в силу своєї природності є простими, точки положення яких не перетинаються. Суми $\omega(r, v, p)k$ будемо називати коефіцієнтами (ω - коефіцієнтами) W - перетворення. Для збереження усіх ω - коефіцієнтів W - перетворення необхідно $(2m_x - 1)(2m_y - 1)(2m_z - 1)$ комірок пам'яті. На практиці в цьому немає необхідності, тому що для порівняння зображень використовується обмежене число цих коефіцієнтів. Кожний із ω - коефіцієнтів, а також їх будь-яке неповне сполучення є неповним W - перетворенням зображення $f(x, y, z)$, тобто W_{fnv} , де v - порядковий номер.

З аналізу засобу утворення ω_f - коефіцієнтів впливають на ступні їх властивості:

- 1) із збільшенням добутку rvp , названого порядком, тобто зі збільшенням числа частин, на які розбивається просторовий силует зображення, ω_f - коефіцієнти зменшуються;
- 2) найменші ω - коефіцієнти точно рівні зв'язності одиничних відліків зображення і відповідають їм по положенню. У аналізованому прикладі - це $\omega(4, 4, 4)k$ ($k = 0 \div 63$);
- 3) суми ω - коефіцієнтів з однаковими індексами rvp завжди рівні;
- 4) однакові зображення мають тотожні рівні ω - коефіцієнти;
- 5) кожний $\omega(rvp)k$ - коефіцієнт порядку rvp дорівнює сумі двох коефіцієнтів із порядком

$$\frac{rvp}{2}.$$

Таким чином, W - перетворення по просторовій зв'язності функції $f(x, y, z)$ можна розглядати як її просторово-зв'язаний спектр (W - спектр), що у залежності від повноти - перетворення буде, відповідно повним (W_{fn} - спектр) або неповним (W_{fnv} - спектр). Якщо розміри зображення a_x, a_y, a_z не кратні ступеню 2, то необхідно розглядати зображення в полі, розміри якого m_x, m_y і m_z кратні ступеню 2:

$$\log_2 m_x = INT[\log_2 a_x] + 1; \quad \log_2 m_y = INT[\log_2 a_y] + 1; \quad \log_2 m_z = INT[\log_2 a_z] + 1;$$

де $INT[*]$ - ціла частина від $[*]$.

Застосовуючи далі вищеповисану процедуру по вищерозглянутому алгоритму, одержимо повний або неповний спектр зображень по зв'язності.

Алгоритм порівняння багаторадаційних зображень по їх просторово-зв'язаному W -спектру полягає в наступному:

1. Задають похибку δ порівняння (зручно брати кратну ступеню 2).

2. Визначають максимальний порядок $\omega(rpv)$ при $p = 1$, $k = 0 \div (rv - 1)$; $p = 2$, $k = 0 \div (2rv - 1), \dots, p = n$, $k = 0 \div (nr - 1)$; порівнюваних просторових силуетів зображень по їх ω - коефіцієнтам просторової зв'язності W - спектра, $rpv \leq \frac{m_x m_y m_z}{2\delta}$;

3. Перебирають W - коефіцієнти rpv - спектра зв'язності поточного зображення в порядку убування їхніх порядків rpv і убування їх по величині в межах одного порядку. Для нашого прикладу перебір ω - коефіцієнтів W - спектра зв'язності буде виглядати так:

$$\omega_{f(1,1,1)} = 321, \omega_{f(1,2,1)_a} = 189, \omega_{f(1,2,1)_1} = 132, \omega_{f(1,1,2)_0} = 191, \omega_{f(1,1,2)_1} = 130, \omega_{f(2,2,1)_0} = 113, \omega_{f(2,2,1)_1} = 85, \\ \omega_{f(2,2,1)_2} = 76, \omega_{f(2,2,1)_3} = 47, \omega_{f(2,1,2)_0} = 101, \omega_{f(2,1,2)_1} = 90, \omega_{f(2,1,2)_2} = 60, \omega_{f(4,4,2)_0} = 29, \dots, \omega_{f(4,4,2)_{31}} = 31.$$

4. Віднімають ω - коефіцієнти $\omega(r, v, p)k$ з ω - коефіцієнтів еталонних зображень $(r, v, p)k$, що визначаються аналогічним чином, утворюють різниці $f_g(r, v, p)k$. При наявності декількох еталонних зображень утворюють таку ж кількість різниць $f_g(r, v, p)k$. У межах кожного порядку при фіксованих значеннях r, v, p знаходять сумарні різниці $f_g(r, v, p)k = \sum_k \Delta f_g(r, v, p)k$ і порівнюють їх із похибкою δ . Якщо при цьому всі сумарні різниці менше δ , то порівнювані зображення рівні. Якщо хоча б одна сумарна різниця не менше δ , то - не рівні.

ВИСНОВКИ

Головна відмінність запропонованого підходу порівняння зображень по W - спектрах зв'язності від традиційних методів [7,8] порівняння зображень, зокрема по їх Q - спектрам [2] полягає в тому, що тут порівнюються зображення не тільки по площі одиничних або багаторадаційних (у випадку напівтонових зображень) відліків, а враховується при їх порівнянні взаємне розташування в просторово-часовій області сусідніх відліків порівнюваних зображень, що веде до істотного (у 2-3 рази) підвищення завадостійкості і поліпшення інваріантності до повороту зображень. З метою підвищення інформативності порівняння зображень можна користуватися, аналогічно того як показано в [6], приведеним ω - коефіцієнтом зв'язності.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. V.P. Kozhemyako, L.I. Tymchenko, Yu.F. Kutaev, A.A. Yaroviy Approach for real – time image recognition. // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2001 р. – №1. – С. 110-124
2. Кожемяко В.П., Кутаев Ю.Ф., Чепорнюк С.В., Тимченко Л.И. Локализация протяженного объекта с предварительным сверточным суммированием изображения // Труды I Всесоюзной конф. "Распознавание образов и анализ изображений: Новые информационные технологии" (РОАИ-91). - Минск: ИК БССР. - 1991. - С. 66-69.
3. Кожемяко В.П., Тимченко Л.И., Кутаев Ю.Ф., Івасюк І.Д. Вступ в алгоритмічну теорію ієрархії і паралелізму нейроподібних обчислювальних середовищ та її застосування до перетворення зображень. Основи теорії пірамідално сільового перетворення зображень - К: УМК ВО, 1994. – 272 с.
4. Свечников С.В., Кожемяко В.П., Тимченко Л.И. Квазиимпульсно-потенциальные оптоэлектронные элементы и устройства логико-временного типа. - К.: Наукова думка, 1987. – 256 с.

5. Верхаген К., Дебир Р. и др. Распознавание образов: состояние и перспективы. Пер. с англ. - М.: Радио и связь, 1985.
6. Кожемяко В.П., Тимченко Л.И. Лысенко Г.Л., Кутаев Ю.Ф., Функциональные элементы и устройства оптоэлектроники.- К.: УМК ВО, 1990. – 251 с.
7. Баклицкий В.К., Юрьев А.Н. Корреляционно-экстремальные методы навигации.- М.: Радио и связь, 1982. – 256 с.
8. Погребной В.А. Бортовые системы обработки сигналов. - К.: Наукова думка, 1984. – 216 с.

Надійшла до редакції 20.04.2002 р.

КОЖЕМ'ЯКО В.П. – академік АНУ, д.т.н., професор, завідувач кафедри лазерної і оптоелектронної техніки, Вінницький державний технічний університет, Вінниця, Україна.

ТИМЧЕНКО Л.І. – д.т.н., доцент кафедри інформаційного менеджменту, Вінницький державний технічний університет, Вінниця, Україна.

КУТАЄВ Ю.Ф. – к.т.н., замісник головного конструктора ОКБ “Топаз” ГП “НПО Астрофізика” м. Москва, Росія.

ЯРОВИЙ А.А. – аспірант, м.н.с. кафедри лазерної і оптоелектронної техніки, Вінницький державний технічний університет, Вінниця, Україна.

КОКРЯЦЬКА Н.І. – асистент кафедри математики, Вінницький державний технічний університет, Вінниця, Україна.