

**КЛАСИФІКАЦІЯ ОДНОВИМІРНИХ ТА ДВОВИМІРНИХ ОБРАЗІВ  
ПРИ ДОВІЛЬНОМУ МАСШТАБІ ПРОСТОРОВИХ КООРДИНАТ<sup>1</sup>**

*Літвінцев С. М.,\* ст. викладач; Сушко І. О.,\*\* ст. викладач;  
Вістизенко Є. В., магістрант; Рибін О. І.,\*\*\* д.т.н., професор  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут», Київ, Україна*

\*ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6171-0036>

\*\*ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3018-2875>

\*\*\*ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4443-1075>

**PATTERN RECOGNITION OF 1-D AND 2-D IMAGES FOR ARBITRARY SCALE  
OF SPATIAL COORDINATES**

*S. Litvintsev, senior lecturer, I. A. Sushko, senior lecturer, Y. V. Vistyzenko, undergraduate student, A. I. Rybin, Doc. Of Sci (Technics), Professor  
National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine*

**Вступ**

Класифікація (розпізнавання) образів одновимірних та двовимірних сигналів знаходить все більше поширення в сучасній радіотехніці, медицині, акустиці, охоронних системах, криміналістиці тощо [1–7]. Серед задач розпізнавання (ідентифікації) образів важливе місце займає розпізнавання сигналів за формою їх графоелементів з використанням методів нормалізації та нормального перетворення [4, 6–10].

При використанні методів нормалізації або нормального перетворення для еталонного сигналу будується матричний оператор дискретного ортогонального перетворення, такого, що спектр еталонного сигналу містить тільки одну ненульову складову  $A_r$  (трансформанту). При відміні досліджуваного сигналу від еталону спектр перетворення, отриманий за допомогою матричного оператора, створеного для еталонного сигналу, буде мати декілька ненульових трансформант  $A_i$  ( $i \neq r$ ). Їх енергія є мірою відмінності досліджуваного сигналу від еталону. Чисельно таку міру відмінності можливо оцінити обчислюючи коефіцієнт трансформант

$$k_{\text{тр}} = \sqrt{\sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^N A_{ij}^2} / A_{rr}, \text{ при } ij \neq rr, \quad (1)$$

$$k_{\text{од}} = \sqrt{\sum_{i=1}^N A_i^2} / A_r, \text{ при } i \neq r, \quad (2)$$

<sup>1</sup> <http://radap.kpi.ua/radiotechnique/article/view/988>

для двовимірного та одновимірного образів відповідно. Тут  $N$  — порядок матричного оператора.

При використанні методів такого типу формати еталону та досліджуваного образу повинні співпадати. На практиці отримання досліджуваного образу в тому самому масштабі, що й еталон, не завжди можливо. Це призводить до значних ускладнень та втрат часу. Наприклад в разі стиснення сигналу при його погодженій фільтрації. Тому задача полягає в адаптації існуючих алгоритмів розпізнавання образів з використанням нормалізації сигналів та перетворень для випадків класифікації сигналів при зміні масштабу їх аргументів.

### Теоретичні положення

Для розв'язання задачі адаптації алгоритмів класифікації при зміні масштабу аргументів пропонується використовувати перетворення Мелліна

$$M(j\omega) = \int_0^{\infty} s(t)t^{-1-j\omega} dt ;$$
$$M(j\omega_x, j\omega_y) = \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} s(x, y)x^{-1-j\omega_x} y^{-1-j\omega_y} dx dy , \quad (3)$$

для одновимірного та двовимірного сигналів (образів) відповідно.

Вирази (3) зводяться до вигляду

$$M(j\omega) = \int_0^{\infty} s(\ln(t))e^{-j\omega \ln(t)} d(\ln(t)) ;$$
$$M(j\omega_x, j\omega_y) = \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} s(\ln(x), \ln(y))e^{-j\omega_x \ln(x) - j\omega_y \ln(y)} d\ln(x)d\ln(y) \quad (4)$$

Таким чином, перетворення Мелліна тотожне перетворенню Фур'є для функцій, в яких натуральні аргументи замінено їх логарифмами. В аналітичному вигляді складність становить перехід від лінійного аргументу до аргументу логарифмічного, що при дискретному представленні сигналу не становить проблеми.

Перехід до логарифмічного аргументу призводить до того, що при зміні масштабу аргументу амплітудні характеристики стисненого або розтягнутого відносно еталону сигналу та еталону будуть тотожні. Тобто, якщо сигнал  $s(t)$  має спектр  $M(j\omega)$ , тоді сигнал  $s(\alpha t)$  має спектр  $M_{\alpha}(j\omega) = M(j\omega)e^{j\omega \ln(\alpha)}$ .

Аналогічно для двовимірних образів  $s(x, y)$  та  $s(\alpha x, \beta y)$  отримаємо перетворення Мелліна  $M(j\omega_x, j\omega_y)$  та

$$M_{\alpha\beta}(j\omega_x, j\omega_y) = M(j\omega_x, j\omega_y)e^{j\omega_x \ln(\alpha) + j\omega_y \ln(\beta)} .$$

Таким чином, при використанні перетворення Мелліна зміна масштабу аргументів призводить лише до зміни фазової характеристики спектрів. Існуючі системи відображення мають мінімальні фазові спотворення, тому для розпізнавання образів у значній кількості випадків достатньо оцінювати подібність (відмінність) амплітудних характеристик.

**Алгоритм класифікації при зміні масштабу аргументів досліджуваних сигналів**

Алгоритм класифікації образів на базі нормального перетворення з використанням перетворення Мелліна можна сформулювати наступним чином.

1. Для еталонного сигналу, представленого дискретними відліками з постійним кроком зробити перетворення осі аргументів таке, що ось аргументів стане логарифмічною і буде отримана рівномірна шкала логарифмів, відмітками на якій є вихідні натуральні числа. Привести логарифмічні осі до однакових меж.

2. Апроксимувати проміжні між відліками значення отриманої функції з логарифмічним аргументом відрізками прямих, сплайнами тощо.

3. Для відліків логарифмічної шкали аргументів з постійним кроком побудувати масив значень функції  $s(\log(t))$  або  $s(\log(x), \log(y))$ .

4. Для побудованого масиву знайти одновимірне  $F\{s(\log(t))\} = M(j\omega)$  або двовимірне  $F\{s(\log(x), \log(y))\} = M(j\omega_x, j\omega_y)$  перетворення Фур'є.

5. Для досліджуваного сигналу виконати пункти (1)...(4) алгоритму та отримати спектри Мелліна досліджуваного сигналу  $M_{\text{досл}}(j\omega)e^{j\omega D}$  або  $M_{\text{досл}}(j\omega_x, j\omega_y)e^{j\omega_x D + j\omega_y L}$ .

6. У відповідності до алгоритмів класифікації з використанням нормалізації або нормального перетворення оцінити відстань між амплітудною характеристикою перетворення Мелліна для еталону та амплітудною характеристикою перетворення Мелліна досліджуваного сигналу.

Оскільки амплітудна характеристика перетворення Фур'є звичайно є значно більш гладкою, ніж сигнал (образ) в натуральних координатах, часто спочатку роблять пряме перетворення Фур'є сигналу, після чого перетворюють частотну вісь у логарифмічну і для модуля спектру сигналу з логарифмічним аргументом знову знаходять перетворення Фур'є. Таким чином, відбувається перетворення Мелліна від амплітудного спектру сигналу. Таке перетворення часто називають перетворенням Фур'є–Мелліна.

**Приклади**

Як приклад розглянемо кардіограму (рис. 1). В залежності від частоти пульсу або тактової частоти дискретних відліків при інших рівних умовах та сама кардіограма має різні масштаби вздовж осі часу (рис. 2). Окрім то-

го, форма графоелементів кардіограми також може змінюватися (рис. 3).  
Задача класифікації полягає в тому, щоб оцінити розбіжність або збіжність форми графоелементів досліджуваних сигналів (рис. 2, рис. 3) та еталону (рис. 1).

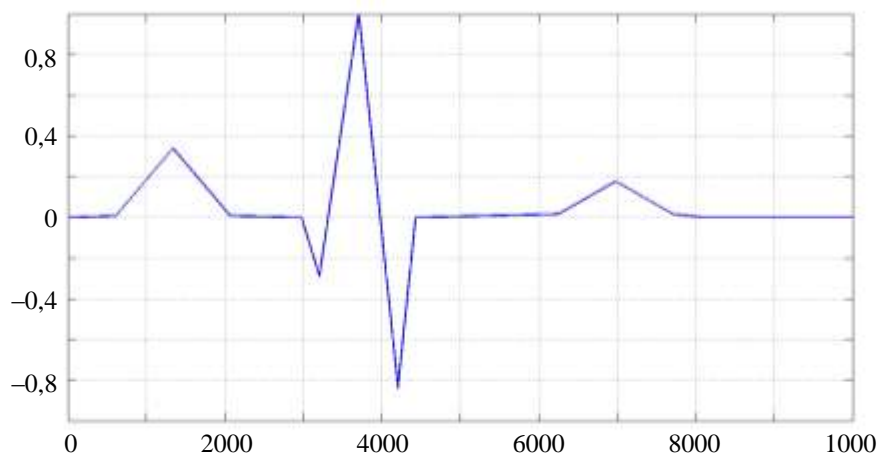


Рис. 1.

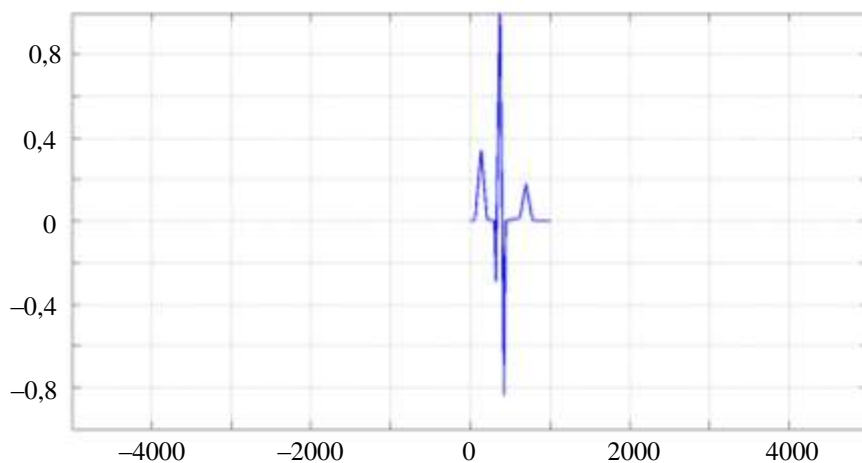


Рис. 2.

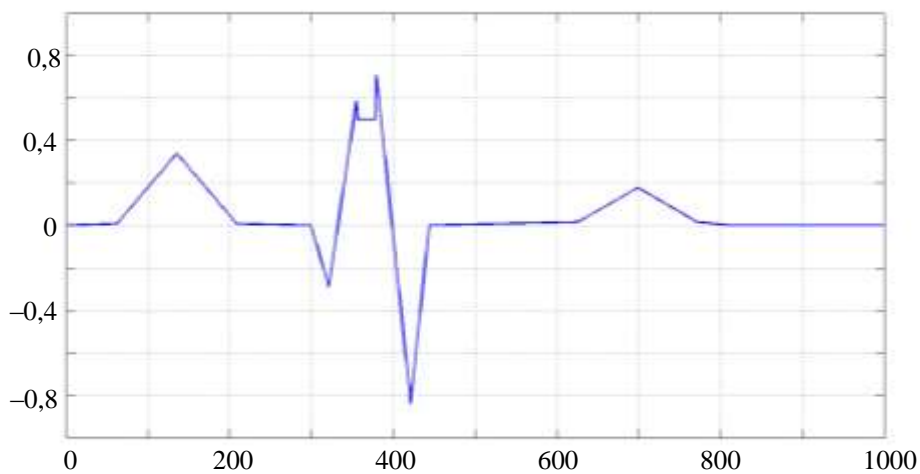


Рис. 3.

Усі сигнали (рис. 1–3) при логарифмічному перетворенні аргументів мають вигляд, наведений на рис. 4–6 відповідно.

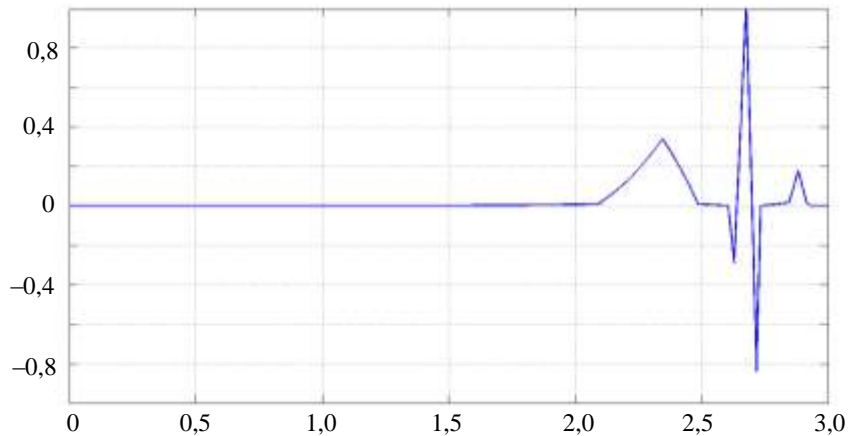


Рис. 4.

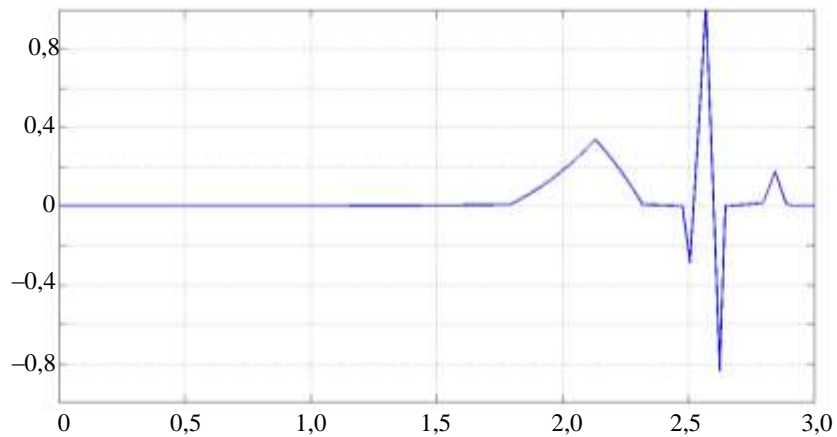


Рис. 5.

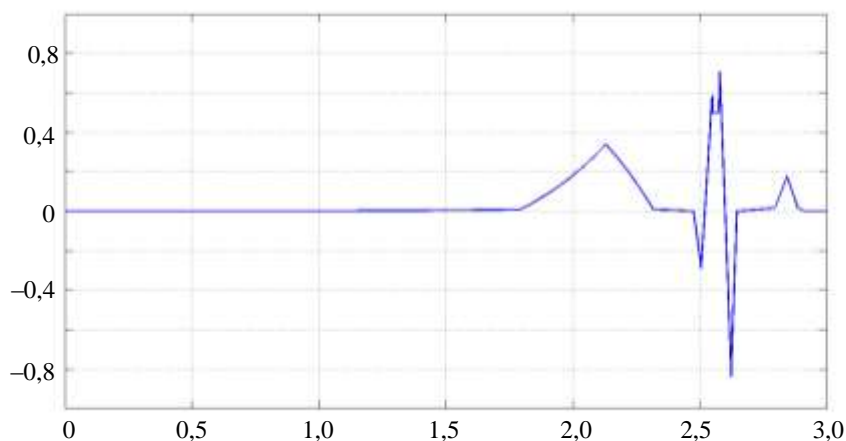


Рис. 6.

Амплітудні спектри Мелліна досліджуваних сигналів (рис. 2, 3) або амплітудні спектри Фур'є сигналів (рис. 5, 6) мають вигляд, наведений на рис. 7, 8, відповідно. Спектр еталонного сигналу не наведено у зв'язку з

його практично повною ідентичністю зі спектром сигналу, наведеного на рис. 2.

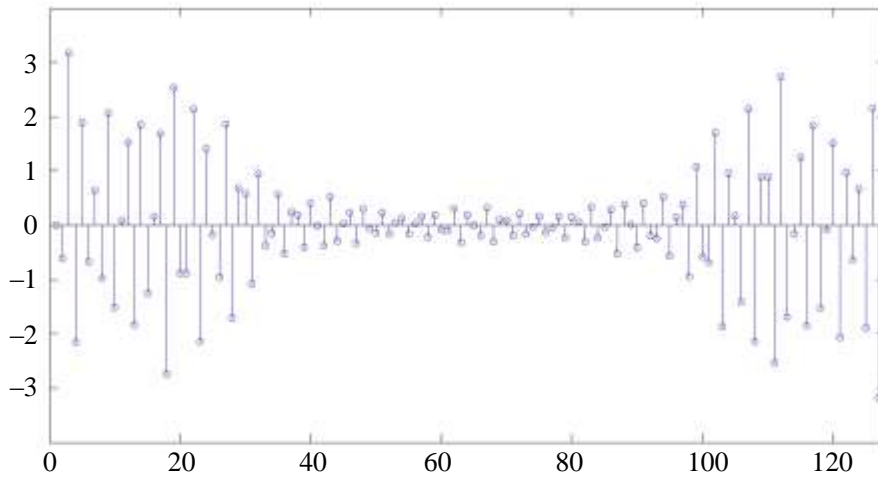


Рис. 7.

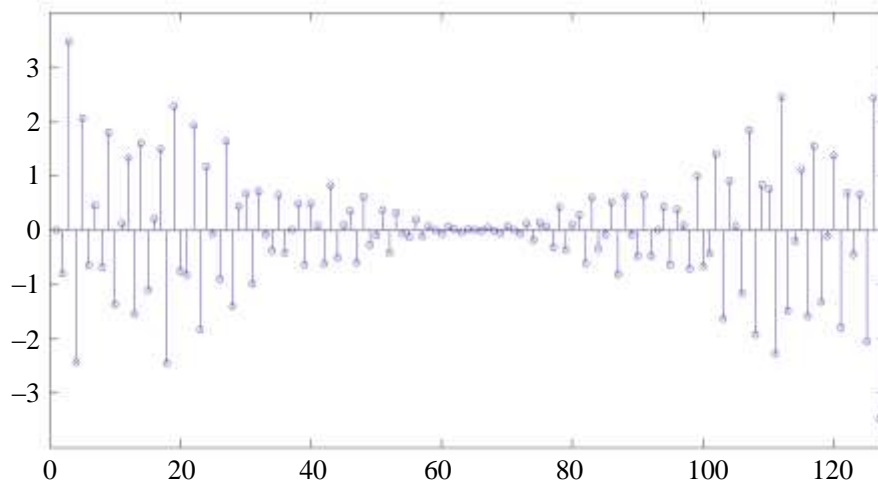


Рис. 8.

Оцінку збіжності/розбіжності сигналу, прийнятого за еталонний (рис. 1) та сигналів, отриманих з еталонного зміню масштабу аргументу (рис. 2) та зміню масштабу аргументу та спотворенням R-зубця (рис. 3) проведено за допомогою методу нормалізації еталонного сигналу за рівнем [6]. Коефіцієнт трансформант, оцінений по модулю спектру Мелліна, для досліджуваних сигналів (рис. 2, 3) дорівнює 0,03 та 0,45 відповідно. Наявність ненульового значення коефіцієнта трансформант для сигналу на рис. 2 пояснюється операційними похибками перетворень, викликаними невеликим форматом перетворень. Тим не менше, «відстань» між еталонним сигналом (рис. 1) та сигналом на рис. 2 на порядок менша, ніж відстань між сигналами на рис. 1 і рис. 3. Це свідчить про достатню чутливість методу класифікації з використанням нормалізації сигналів за рівнем і у випадку застосування перетворення Мелліна.

Оскільки при використанні нормального перетворення або нормалізації сигналу за рівнем [9, 10] еталон, так само, як і досліджуваний сигнал треба центрувати, використання базису перетворення Фур'є призводить до автоматичного центрування відкиданням постійної складової спектру. Таким чином, в базисі перетворення Фур'є всі досліджувані сигнали, тобто їх амплітудні спектри, є центрованими.

### **Висновки**

1. Класифікація сигналів та образів за формою їх графоелементів з використанням методів нормалізації та нормального перетворення при зміні масштабу аргументів зустрічає значні складності, які обходяться при використанні перетворення Мелліна.

2. Чутливість методу класифікації з використанням перетворення Мелліна досягає значення  $k_{\text{тр}} = 0,45$ , що достатньо для використання цього перетворення в задачах класифікації.

3. Алгоритм перетворення Мелліна має чітку структуру, що дозволяє реалізувати його з мінімальними витратами при створенні відповідних класифікаторів.

### **Перелік посилань**

1. Абакумов В. Г. Біомедичні сигнали. Генезис, обробка, моніторинг / В. Г. Абакумов, О. І. Рибін. – К. : Нора-Прінт, 2001. – 516 с.

2. Продеус А. Н. Экспертные оценки в медицине / А. Н. Продеус, Е. Н. Захарова. – К. : ВЕК, 1998. – 320 с.

3. Дидковский В. С. Акустическая экспертиза каналов речевой коммуникации / В. С. Дидковский, М. В. Дидковская. – К. : Имекс-ЛТД, 2008. – 420 с.

4. Рибін О. І. Діагностичні можливості ортогональних перетворень кореляційних матриць пульсових хвиль / О. І. Рибін, О. Б. Шарпан, В. Г. Данілевська // Наукові вісті НТУУ КПІ. – 2006. – № 2. – С. 12–17.

5. Рибін О. І. Можливості діагностики стану судинної системи при зображенні пульсограми на фазовій площині / О. І. Рибін, О. Б. Шарпан, А. В. Горюнова // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2006. – № 2. – С. 125–128.

6. Мельник А. Д. Розпізнавання голосних звуків «а», «о», «у», «є» української мови / А. Д. Мельник, О. І. Рибін // Наукові вісті НТУУ КПІ. – 2009. – № 1. – С. 20–25. – Режим доступу : <http://bulletin.kpi.ua/en/node/32>

7. Ніжебецька Ю. Х. Класифікація сигналів в базисі ортогональних перетворень кореляційної матриці / Ю. Х. Ніжебецька, О. І. Рибін, О. Б. Шарпан // Вісник ЖДТУ. – 2008. – № 2(45). – С. 85–89. – Режим доступу : <http://eztuir.ztu.edu.ua/2803>

8. Рыбин А. И. Нормализация дискретных ортогональных преобразований тестовым сигналом / А. И. Рыбин // Известия вузов. Радиоэлектроника. – 2004. – Т. 47, № 7. – С. 39–46.

9. Рыбин А. И. Согласованная нормализованная фильтрация сигналов / А. И. Рыбин, А. Д. Мельник // Известия вузов. Радиоэлектроника. – 2008. – Т. 51, № 2. – С. 77–80. – Режим доступа : <http://radio.kpi.ua/article/view/S0021347008020106>.

10. Рибін О. І. Нормальне дискретне ортогональне перетворення / О.І. Рибін, Ю.Х. Ніжебецька // Вісник НТУУ «КПІ». Серія Радіотехніка. Радіоапаратобудування. – 2008.

**References**

1. Abakumov V. H. and Rybin O. I. (2001) Biomedychni syhnaly: henezys, obrobka, monitorynh [Biomedical signals: genesis, treatment, monitoring]. Kyiv, Nora-Print, 516 p.
2. Prodeus A. N. and Zakhrabova E. N. (1998) Ekspertnye otsenki v meditsine [Expert assessments in medicine]. Kiev, VEK Publ., 320 p.
3. Didkovskii V. S. and Didkovskaya M. V. (2008) Akusticheskaya ekspertiza kanalov rechevoi kommunikatsii [Acoustic Examination of Verbal Communication Channels]. Kiev, Imeks-LTD, 420 p.
4. Rybin O. I., Sharpan O. B. and Danilevska V. H. (2006) Diahnostychni mozhlyvosti ortohonalnykh peretvoren koreliatsiinykh matryts pulsovykh khvyl [Diagnostic possibilities of orthogonal transformation of pulse wave correlation matrix]. Naukovi visti NTUU KPI, No 2, pp. 12–17.
5. Rybin O. I., Sharpan O. B. and Horiunova A. V. (2006) Mozhlyvosti diahnostyky stanu sudynnoi systemy pry zobrazhenni pulsohramy na fazovii ploschyni [Features diagnosis of the vascular system condition on pulsegram in phase plane]. Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh, No 2, pp. 125–128.
6. Melnyk, A. D. and Rybin, O. I. (2009) Recognition of vowel sounds “a” “o” “u” “e” of the ukrainian language. Naukovi visti NTUU KPI, No. 1, pp. 20-25.
7. Nizhebetska Iu. Kh., Rybin O. I. and Sharpan O. B. (2008) Klasyfikatsiia syhnaliv v bazysi ortohonalnykh peretvoren koreliatsiinoi matrytsi [Classification of signals in basis of orthogonal transformation of the correlation matrix]. Visnyk ZhDTU, No 45, pp. 85–89.
8. Rybin A. I. (2004) Normalization of discrete orthogonal transforms by test signal. Radioelectron. Commun. Syst. Vol. 47, No. 7, pp. 30-36.
9. Rybin, A. I.; Melnyk A. D. (2008) Matched normalized signal filtering. Radioelectron. Commun. Syst., Vol. 51, No. 2, pp. 112-114. DOI:.
10. Rybin, A. I.; Nizhebetska, Y. Kh. (2008) Normal discrete orthogonal transformation. Visn. NTUU KPI, Ser. Radiotekh. Radioaparatabuduv., no. 37, pp. 8-15 (in Ukrainian).

*Литвінцев С. М., Сушко І. О., Вістизенко Є. В., Рибін О. І. Класифікація одновимірних та двовимірних образів при довільному масштабі просторових координат. Показано можливість використання перетворення Мелліна при класифікації образів на базі їх нормалізації або нормального перетворення при зміні масштабу аргументів досліджуваних образів відносно еталонного образу. Наведено приклад обчислень, який показав простоту застосування перетворення Мелліна. Отримана достатньо висока чутливість класифікатора до змін параметрів графоелементів досліджуваного образу відносно еталона.*

**Ключові слова:** нормалізація; нормальне ортогональне перетворення; класифікація образів; коефіцієнт трансформант; перетворення Мелліна

*Литвинцев С. Н., Сушко И. А., Вистизенко Е. В., Рыбин А. И. Классификация одномерных и двумерных образов при произвольном масштабе пространственных координат. Показана возможность использования преобразования Меллина при классификации образов на базе их нормализации или нормального преобразования при изменении масштаба аргументов исследуемых образов относительно эталонного образа. Приведен пример вычислений, показавший простоту применения преобразования Меллина. Получена достаточно высокая чувствительность классификатора к изменениям параметров исследуемого образа относительно эталона.*



**Ключевые слова:** нормализация; нормальное ортогональное преобразование; классификация образов; коэффициент трансформант; преобразование Меллина

Litvintsev S., Sushko I. A., Vistyzenko Y. V., Rybin A. I. **Pattern recognition of 1-D and 2-D images for arbitrary scale of spatial coordinates.**

Introduction. Possible methods of pattern recognition are described. Transform coefficient, allowing numerically to evaluate the difference between the test and reference signal is proposed. In this case, the reference signal is selected by researcher independently, which gives more freedom.

Theoretical positions. The possibility of Mellin transform using for pattern classification of images based on their normalization or normalized transformation when scale of studied images is differ from a reference image, is considered. A similar of Fourier and Mellin transforms is proved.

Classification algorithm. Proposed algorithm can be used when change of scale arguments of the signals is presented. This algorithm has a clear structure that allows implement it in hardware with minimal effort.

Examples. Examples of the Mellin transform using for different distortion types of the test signal are considered. The test signals have time scale and distorted form changing. The obtained sensitivity value of classifier to parameters changes of the investigated image with respect to the reference image was sufficient to get a stable work of this unit.

Conclusions. The main advantages of the Mellin transform using for recognizing signals at different scales are presented is conclusions.

**Keywords:** normalization; normal orthogonal transformation; pattern recognition; transform coefficient; Mellin transform