УДК 621.372.061

КЛАСИФІКАЦІЯ ОДНОВИМІРНИХ ТА ДВОВИМІРНИХ ОБРАЗІВ ПРИ ДОВІЛЬНОМУ МАСШТАБІ ПРОСТОРОВИХ КООРДИНАТ

С.М. Літвінцев*, І.О. Сушко**, Є.В. Вістизенко, О.І. Рибін**

*ORCID: http://orcid.org/0000-0002-6171-0036
**ORCID: http://orcid.org/0000-0002-3018-2875
***ORCID: http://orcid.org/0000-0003-4443-1075

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

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

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

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

$$M(\mathrm{j}\omega) = \int_0^\infty s(t) t^{-1-\mathrm{j}\omega} \mathrm{d}t ;$$

$$M\left(\mathrm{j}\omega_x, \mathrm{j}\omega_y\right) = \int_0^\infty\int s(x,y) x^{-1-\mathrm{j}\omega_x} y^{-1-\mathrm{j}\omega_y} \mathrm{d}x\mathrm{d}y , \quad (3)$$

для одновимірного та двовимірного сигналів (образів) відповідно.

Вирази (3) зводяться до вигляду

$$M\left(\mathrm{j}\omega\right) = \int_0^\infty s(\ln(t)) \mathrm{e}^{-\mathrm{j}\omega\cdot\ln(t)} \mathrm{d}(\ln(t)) ;$$

$$M\left(\mathrm{j}\omega_x, \mathrm{j}\omega_y\right) = \int_0^\infty\int s\left(\ln(x), \ln(y)\right) \mathrm{e}^{-\mathrm{j}\omega_x \ln(x) - \mathrm{j}\omega_y \ln(y)} \mathrm{d}\ln(x)\mathrm{d}\ln(y) \quad (4)$$

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 розтягненого відносно еталону сигналу та еталону будуть тотожні. Тобто, якщо сигнал $s(t)$ має спектр $M(\mathrm{j}\omega)$, тоді сигнал $s(\alpha t)$ має спектр $M_\alpha(\mathrm{j}\omega) = M(\mathrm{j}\omega)\mathrm{e}^{\mathrm{j}\omega\ln(\alpha)}$. Аналогічно для двовимірних образів $s(x, y)$ та $s(\alpha x, \beta y)$ отримаємо перетворення Мелліна $M(\mathrm{j}\omega_x, \mathrm{j}\omega_y)$ та
$M_{\alpha\beta}(\mathrm{j}\omega_x, \mathrm{j}\omega_y) = M(\mathrm{j}\omega_x, \mathrm{j}\omega_y)\mathrm{e}^{\mathrm{j}\omega_x \ln(\alpha) + \mathrm{j}\omega_y \ln(\beta)}$.

Таким чином, при використанні перетворювання 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 вісь 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 $s\left(\log(x),\log(y)\right)$.
4. Для побудованого масиву знайти одновимірне $F\{s(\log(t))\} = M(\mathrm{j}\omega)$ або двовимірне $F\{s(\log(x),\log(y))\} = M(\mathrm{j}\omega_x, \mathrm{j}\omega_y)$ перетворення Фур'є.
5. Для досліджуваного сигналу виконати пункти (1)…(4) алгоритму та отримати спектри Мелліна досліджуваного сигналу $M_{\text{досл}}(\mathrm{j}\omega)\mathrm{e}^{\mathrm{j}\omega \mathrm{D}}$ або $M_{\text{досл}}(\mathrm{j}\omega_x, \mathrm{j}\omega_y)\mathrm{e}^{\mathrm{j}\omega_x \mathrm{D} + \mathrm{j}\omega_y \mathrm{L}}$.
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.

Приклад

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 того, 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).

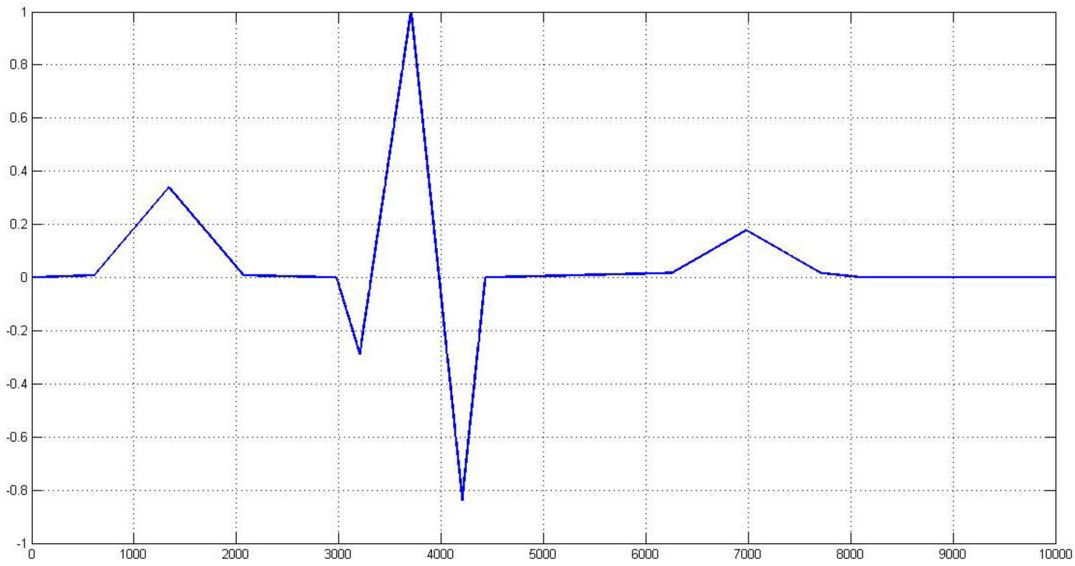

Рис.1

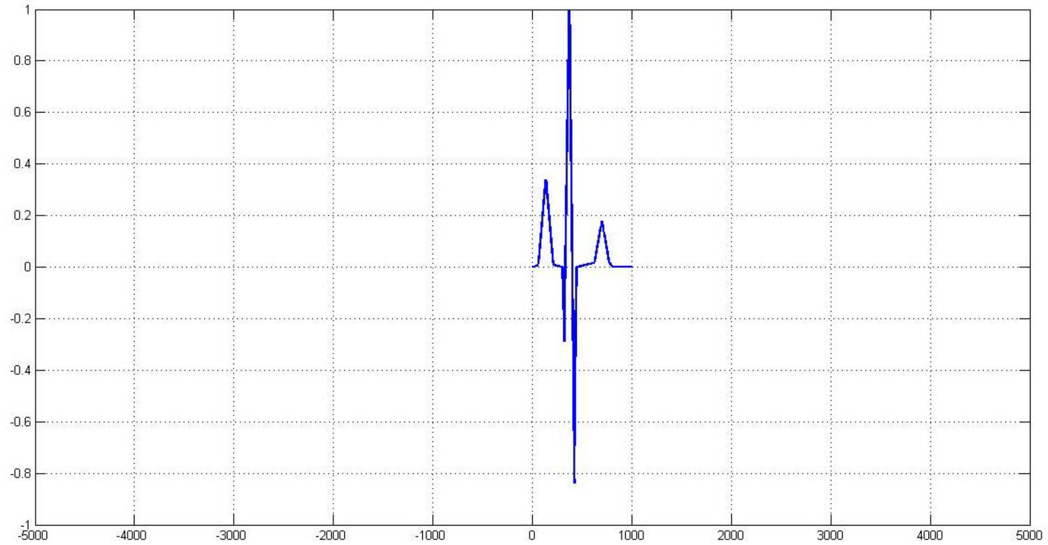

Рис.2

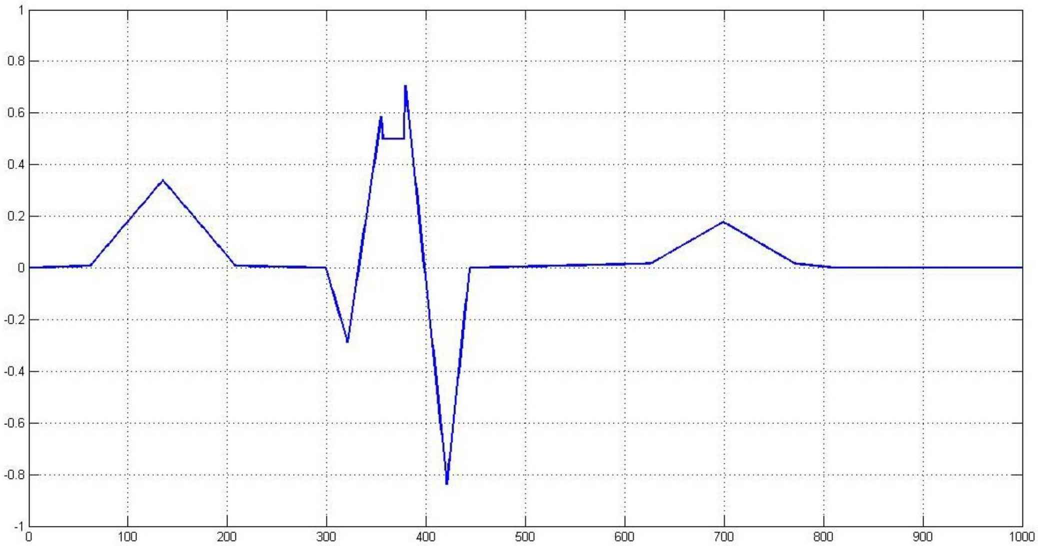

Рис.3

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

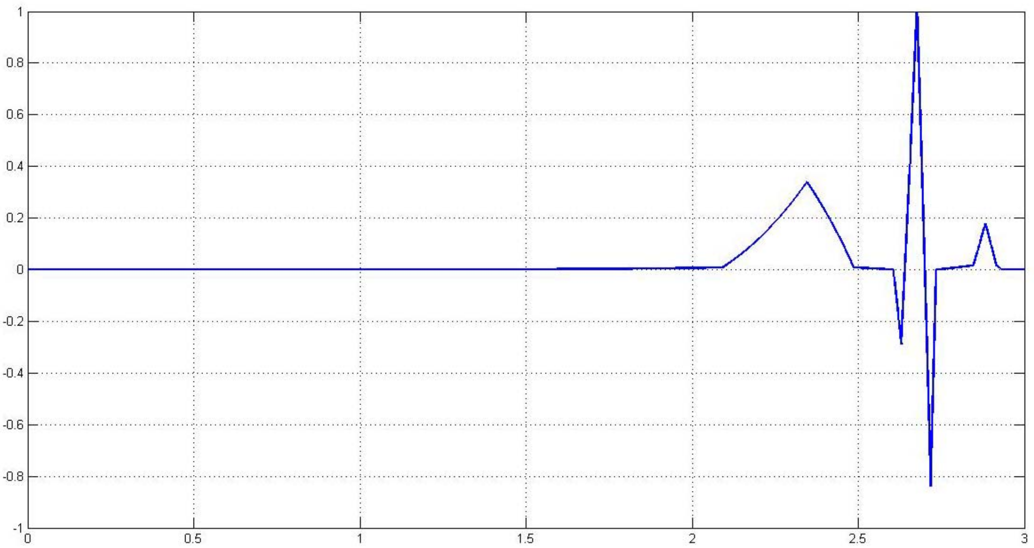

Рис.4

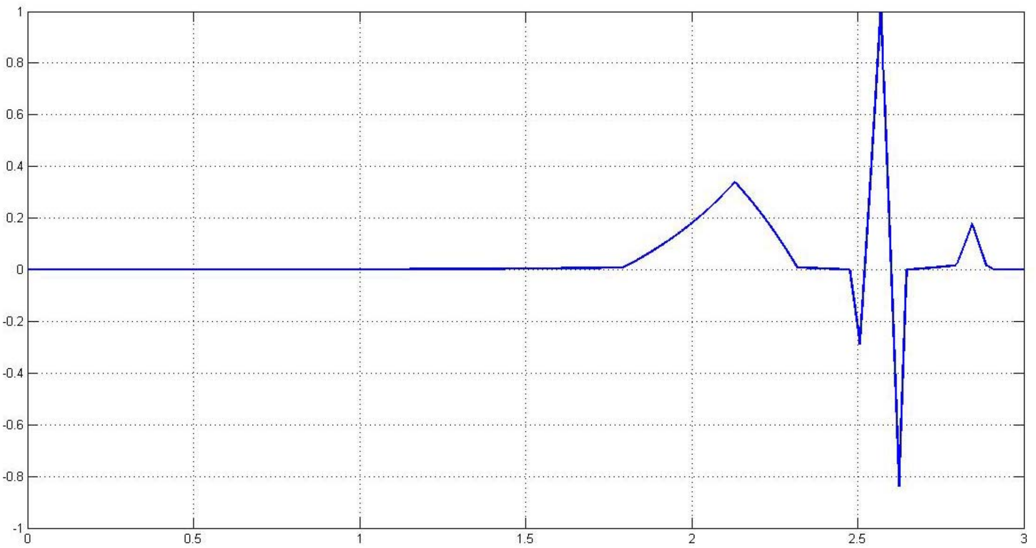

Рис.5

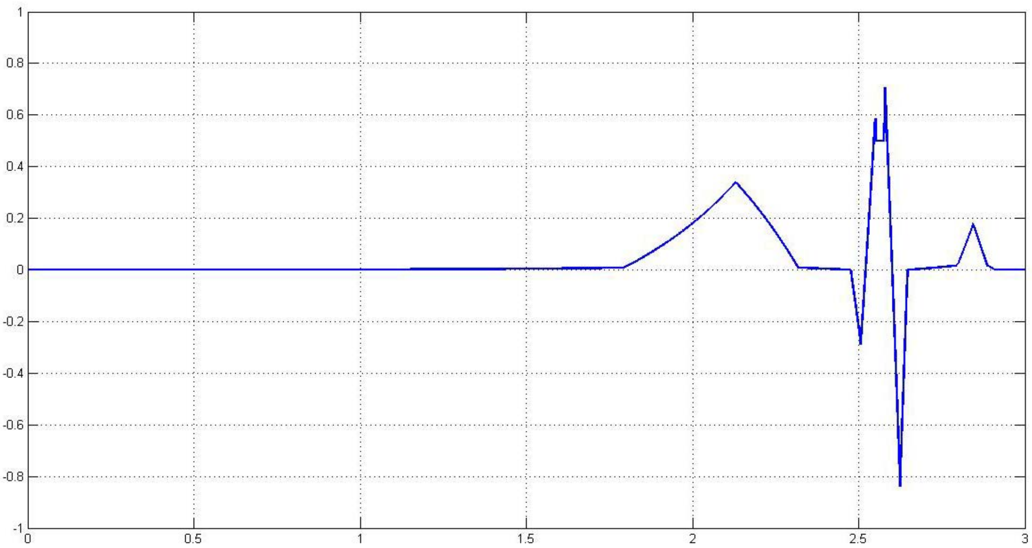

Рис.6

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.

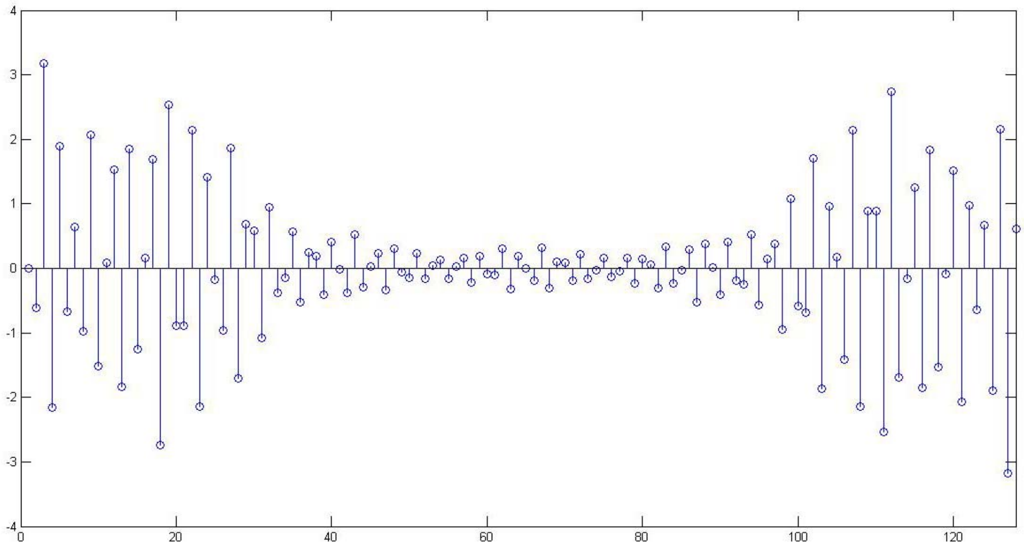

Рис.7

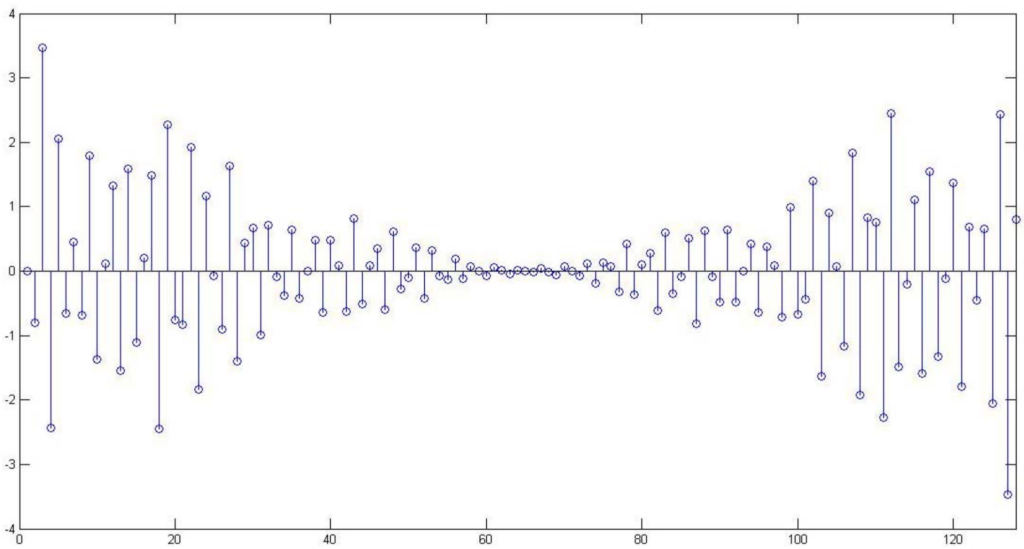

Рис.8

Оцінку збіжності/розбіжності сигналу, прийнятого за еталонний (рис. 1) та сигналів, отриманих з еталонного зміною масштабу аргументу (рис. 2) та зміною 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) дорівнюють 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 достатньо велика для використання цього перетворення в задачах класифікації.
3. Алгоритм перетворення Мелліна достатньо легко реалізується при створенні відповідних класифікаторів.

Література

1. *Абакумов В. Г.* Біомедичні сигнали (генезис, обробка, моніторинг : Навчальній 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. *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. *Рибін О. І.* Розпізнавання голосних звуків «а», «о», «у», «е» української мови / О. І. Рибін, 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 // Радиоэлектроника. — 2004. — Т. 47, № 7. — С. 39–46. — (Изв. вузов).
9. *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.
10. *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.

С.М. Літвінцев, І.О. Сушко, Є.В. Вістизенко, О.І. Рибін, 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.*

С.Н. Литвинцев, И.А. Сушко, Е.В. Вистизенко, А.И. Рыбин. 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.*

Sergii Litvintsev, I.A. Sushko, Ye.V. Vistizenko, O.I. Rybin. Pattern recognition of one- and two-dimensional images for arbitrary scale of spatial coordinates. 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. The results of calculations, which prove using Mellin transform simplicity, are presented. High sensitivity of classifier to parameters changes of the investigated image with respect to the reference image, were obtained.

Keywords: normalization, normal orthogonal transformation, pattern recognition, transform coefficient, Mellin transform.