

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”**

На правах рукопису

НІЖЕБЕЦЬКА Юлія Хамідуллаївна

УДК 621.372.061

**МЕТОД НОРМАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ТА ЙОГО
ЗАСТОСУВАННЯ ДО КЛАСИФІКАЦІЇ СИГНАЛІВ ЗА ФОРМОЮ**

05.12.17 – Радіотехнічні та телевізійні системи

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеню
кандидата технічних наук

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі радіоприймання та оброблення сигналів Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”, Міністерство освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор,
Рибін Олександр Іванович,
НТУУ “КПІ”, зав. кафедри
радіоприймання та оброблення сигналів.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,
Бойко Іван Федорович,
Національний авіаційний університет,
професор кафедри електроніки;

доктор технічних наук,
Нікітенко Юрій Гордійович,
Державне підприємство “Науково-дослідний
інститут радіолокаційних систем “Квант-
Радіолокація”,
головний науковий співробітник.

Захист відбудеться “21” жовтня 2013 року о 15:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д26.002.14 у Національному технічному університеті України “Київський політехнічний інститут” за адресою: 03056, м. Київ-56, проспект Перемоги, 37, корп. 1, ауд. 163.

З дисертацією можна ознайомитися в науково-технічній бібліотеці Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут” за адресою: 03056, м. Київ-56, проспект Перемоги, 37.

Автореферат розісланий “__” _____ 2013р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д26.002.14
д.т.н., професор

Л.О. Уривський.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Широке застосування та інтенсивний розвиток радіотехнічних систем, що обробляють сигнали, носіями важливої інформації в яких є не лише деякі середні чи локальні характеристики, але і їх унікальна форма, вимагають вдосконалення існуючих та створення нових методів класифікації (діагностики). Такими системами, зокрема, є системи захисту інформації, що використовують різноманітні біометричні характеристики людського організму: риси обличчя (2D та 3D портрети), структуру сітківки ока, папілярні лінії пальців, топографію долоні, малюнок вен на зап'ясті, теплову картину, особливості підпису особи; а також системи розпізнавання звуків за фонограмами, різноманітні радіотехнічні, медичні системи тощо.

Відомі методи класифікації сигналів з використанням статистичної інформації вимагають значних витрат для отримання багатовимірних функцій щільності ймовірностей, а математичний апарат таких методів часто є достатньо громіздким і вимагає значних витрат часу для отримання результату.

Для класифікації досліджуваних сигналів за формою найбільш широко використовуються кореляційні методи (зокрема, погоджена фільтрація та методи, основані на критерії максимальної правдоподібності). Класична лінійна погоджена фільтрація є неефективною при аналізі детермінованих сигналів (або їх графоелементів) в пачці з іншими детермінованими сигналами з більшою енергією, а необхідність обернення кореляційної матриці (звичайно погано зумовленої і з різними рангами для різних класів) утруднює створення класифікаторів за критерієм максимальної правдоподібності.

Іншим підходом для класифікації сигналів за формою є використання ортогональних перетворень (так, як оцінюються спотворення синусоїдальних сигналів за допомогою коефіцієнта гармонік). Але довільний еталонний сигнал дуже рідко збігається за формою з будь-якою трансформантою відомого ортогонального перетворення, а отже спектр такого сигналу містить численні складові, за зміною яких класифікацію сигналів проводити складно.

Тому суттєве значення набуває розроблення методів побудови ортогональних перетворень, в яких одна з трансформант співпадає з еталонним сигналом. При класифікації за критерієм максимальної правдоподібності необхідною є модернізація, яка виключить необхідність обернення кореляційної матриці при збереженні позитивних властивостей існуючих методів.

Оскільки при отриманні досліджуваних сигналів вони проходять через певні електричні кола, важливою стає задача розроблення методів аналізу таких кіл з використанням базисів нових ортогональних перетворень (як правило, з дійсним ядром).

Отже розробка методу нормального ортогонального перетворення, який дозволяє зменшити обчислювальні витрати та забезпечити прийнятні показники якості класифікації сигналів за формою, є актуальною науковою задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження, результати яких наведені у дисертаційній роботі, проводилися за тематикою науково-дослідних робіт (НДР) кафедри радіоприймання та оброблення сигналів Національного технічного інституту України "Київський політехнічний інститут", ДНТП "Образний комп'ютер" Міжнародного науково-навчального центру інформаційних технологій та систем НАН та МОН України (№ договору ОК-2008-2), а також НДР "Розробка програмно-

апаратних засобів для інтелектуальної інформаційної технології прискореного визначення динамічного функціонального стану людей за часовими і спектральними параметрами фізіологічних сигналів” (№ 0108U00571).

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є підвищення оперативності класифікації сигналів за формою шляхом розробки методу нормального перетворення.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв’язати наступні **задачі**.

1. Проаналізувати ефективність сучасних методів класифікації сигналів, які базуються на використанні дискретних ортогональних перетворень та критерії максимальної правдоподібності.

2. Розробити метод та процедури створення дискретного ортогонального перетворення, “нормального” відносно тестового сигналу обраного класу, тобто такого перетворення, спектр якого для довільного тестового сигналу містить лише одну ненульову трансформанту.

3. Розробити методіку аналізу проходження тестового сигналу через лінійну систему з використанням кратних перетворень на базі обраного для розв’язання задачі класифікації дискретного ортогонального перетворення.

4. Розробити модифікацію методу класифікації сигналів за критерієм максимальної правдоподібності, яка б не вимагала обернення кореляційної матриці навчальної множини та мала однаковий формат для усіх кореляційних матриць множини класів.

5. Виконати експериментальну перевірку застосування методу нормального перетворення до задачі аутентифікації особи за динамічно введеним підписом.

Об’єктом досліджень є процес класифікації сигналів.

Предметом досліджень є методи та алгоритми класифікації сигналів.

Методи досліджень. Поставлені в роботі задачі розв’язувалися на основі теорії матричних дискретних ортогональних перетворень, теорії ймовірностей, чисельних методів, методів розв’язання лінійних диференціальних рівнянь, згідно з якими проведено дослідження показників ефективності нових методів і алгоритмів.

Наукова новизна отриманих результатів дисертаційної роботи:

- вперше запропоновано метод та алгоритми створення дискретних матричних операторів нормального перетворення, особливістю яких є те, що спектр обраного еталонного сигналу довільної форми містить лише одну ненульову трансформанту, тоді як за вагою інших складових у спектрі можна обчислити ступінь подібності/розбіжності досліджуваного сигналу до еталону;

- запропоновано модифікований метод класифікації сигналів за критерієм максимальної правдоподібності, який не потребує обернення кореляційної матриці навчальної множини та дозволяє виконувати класифікацію незалежно від рангу кореляційної матриці;

- розроблено метод кратних перетворень, який дозволяє аналізувати лінійні системи для оцінювання інтегральних спотворень вхідного сигналу, представленого в базисі нормального перетворення.

Практичне значення отриманих результатів:

- створений класифікатор для аутентифікації особи за динамічно введеним підписом в межах проведеного дослідження забезпечує частоту похибки першого роду на рівні $\nu_1 = 0,02 - 0,03$;

- використання запропонованої модифікації методу максимальної правдоподібності спрощує процедуру створення і навчання класифікатора у

порівнянні з класичним методом, оскільки відпадає необхідність в оберненні зазвичай погано зумовленої кореляційної матриці при створенні класифікатора та відсутня проблема різниці рангів матриць різних класів;

- метод нормального перетворення забезпечує зменшення обчислювальних затрат у $2N$ разів, де N – число відліків досліджуваного сигналу, у порівнянні з методом максимальної правдоподібності;

- метод нормального перетворення при розпізнаванні детермінованих сигналів в пачці з сигналами іншої форми з більшою енергією (у випадках, коли погоджений фільтр дає невірний результат) забезпечує необхідні показники класифікації;

- розроблена методика кратних перетворень дозволяє проводити аналіз лінійних систем з використанням ортогональних перетворень з дійсним ядром (зокрема нормального перетворення) та немінімальних формул обчислення похідної, які дозволяють зменшити похибку аналізу лінійних систем на 3...10% без зменшення кроку дискретизації.

Результати дисертаційної роботи включені у матеріали НДР кафедри РОС НТУУ “КПІ” та впроваджені при виконанні ДНТП “Образний комп’ютер” Міжнародного науково-навчального центру інформаційних технологій та систем НАН та МОН України, а також в навчальний процес радіотехнічного факультету.

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота є результатом самостійних наукових досліджень. У друкованих працях, виконаних разом із співавторами, автору належать усі нові наукові результати, представлені у дисертації.

Апробація результатів дисертації. Основні результати доповідались та обговорювались на 9 науково-технічних конференціях: “Радіоелектроніка у ХХІ столітті” (НТУУ “КПІ”, м. Київ) у 2008, 2009, 2010 рр.; “Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій” IV Міжнародна науково-практична конференція (м. Запоріжжя, 24-26 квітня 2008 р.); 3-й Международный радиоэлектронный форум “Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития” (м. Харків, 22-24 жовтня 2008 р.); 5-та Міжнародна молодіжна науково-технічна конференція “Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций “РТ-2009” (м. Севастополь, 20-25 квітня 2009 р.); Xth International Conference TCSEET’2010 “Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science” (Lviv – Slavske, February 23-27, 2010); V Міжнародний науково-технічний симпозиум (МНТС) “Нові технології в телекомунікаціях” ДУІКТ-КАРПАТИ’2012 (м. Вишків, 17-21 січня 2012 р.); Міжнародна науково-технічна конференція “Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи (теорія, практика, історія, освіта)” (м. Київ, 22-29 лютого 2012 р.).

Публікації. За темою дисертаційної роботи було опубліковано 29 статей та тез конференції, з них 18 у наукових виданнях, що входять до фахових ВАК (2 – без співавторів), 1 стаття у науково-технічному збірнику та 10 публікацій тез доповідей на наукових конференціях (3 – без співавторів).

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 94 найменувань, 8 додатків. Робота містить: 76 рисунків, 9 таблиць. Загальний обсяг дисертаційної роботи 135 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

У *вступі* обґрунтовано актуальність дисертаційного дослідження, сформульовано мету і задачі дисертаційної роботи, визначено наукову новизну і практичне значення роботи, наведено дані про особистий внесок здобувача, впровадження результатів, їх апробацію та публікації.

У *першому розділі* наведено основні поняття теорії розпізнавання сигналів.

Розглянуто основні ознакові методи класифікації сигналів. При використанні ознакових методів опис досліджуваних об'єктів відбувається за допомогою векторів їх ознак. Ознакові методи класифікації поділяються на два класи: детерміністські та статистичні. Статистичні методи класифікації дозволяють врахувати випадкові зміщення досліджуваного вектору ознак. Але для застосування цих методів треба мати надзвичайно велику кількість апріорної інформації, одержання якої є громіздкою процедурою, потребує значної кількості експериментів та багато часу. Це є основним їх недоліком і зумовлює складність використання таких методів на практиці. Оскільки всі сигнали мають випадкову складову, то необхідно використовувати статистичні характеристики при класифікації сигналів, але прагнути до зменшення обчислювальних затрат на оцінки апріорних ймовірнісних характеристик.

Одним з найважливіших кроків проектування класифікатора є моделювання досліджуваного сигналу вибором ознак, що здійснюють у декілька етапів: 1) призначення ознакових змінних; 2) селекція ознак; 3) екстракція ознак. Селекція і екстракція ознак сучасними математичними методами дозволяє значно прискорити процес створення класифікатора. Вибір ознак нерозривно пов'язаний з вибором координатного базису, в якому ці ознаки представлено. Вдалий вибір ортогонального перетворення для представлення ознак може призвести до значного скорочення кількості ознакових змінних. Це визначає необхідність побудови нових ортогональних перетворень, зручних для розв'язання задачі класифікації.

У *другому розділі* розроблено метод побудови нормального дискретного ортогонального перетворення. Для нормального перетворення одна із трансформант збігається з наперед заданим дискретним сигналом довільної форми, а, отже, спектр такого перетворення містить лише одну ненульову складову. Наявність відхилень у формі досліджуваного сигналу порівняно до форми еталону деякого класу призводить до появи інших трансформант, за вагою яких можна оцінити ступінь подібності (чи розбіжності) цих сигналів, тобто провести класифікацію.

Ідею нормального перетворення проілюструємо на матричному операторі 4-го порядку, виходячи з міркувань простоти та наочності ілюстрації ідеї.

Нехай еталонний сигнал $x(t)$ представлено на періоді чотирма еквідистантними відліками

$$\bar{X} = [x_1, x_2, x_3, x_4]^T,$$

де T – знак транспонування.

На першому кроці створимо матрицю $\overline{\overline{W}}_1$ дискретного ортогонального перетворення у вигляді

$$\overline{\overline{W}}_1 = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & 0 & 0 \\ -x_2 & x_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & x_3 & x_4 \\ 0 & 0 & -x_4 & x_3 \end{bmatrix}.$$

Добуток матриці $\overline{\overline{W_1}}$ на стовпець \overline{X} дасть проріджений спектр першого кроку перетворення

$$\overline{\overline{W_1}} \cdot \overline{X} = \overline{X_1} = [(x_1^2 + x_2^2), 0, (x_3^2 + x_4^2), 0]^T.$$

Для забезпечення ортогональності результуючого перетворення пронормуємо матрицю $\overline{\overline{W_1}}$, для чого кожен рядок матриці $\overline{\overline{W_1}}$ поділимо на нормуючі коефіцієнти $a_1 = \sqrt{x_1^2 + x_2^2}$, $a_2 = \sqrt{x_3^2 + x_4^2}$ та отримаємо

$$\overline{\overline{W_{1N}}} = \begin{bmatrix} x_1/a_1 & x_2/a_1 & 0 & 0 \\ -x_2/a_1 & x_1/a_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & x_3/a_2 & x_4/a_2 \\ 0 & 0 & -x_4/a_2 & x_3/a_2 \end{bmatrix}.$$

Тоді

$$\overline{\overline{W_{1N}}}^T \cdot \overline{\overline{W_{1N}}} = \overline{\overline{E}},$$

де $\overline{\overline{E}}$ – одинична матриця, та $\overline{\overline{W_{1N}}}^{-1} = \overline{\overline{W_{1N}}}^T$.

Знайдемо добуток

$$\overline{\overline{W_{1N}}} \cdot \overline{X} = \overline{X_{1N}} = [a_1, 0, a_2, 0]^T.$$

Матриця $\overline{\overline{W_2}}$ другого кроку перетворення може бути записана двома способами

$$\overline{\overline{W_{2a}}} = \begin{bmatrix} a_1 & 0 & a_2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -a_2 & 0 & a_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad \overline{\overline{W_{2b}}} = \begin{bmatrix} a_1 & 0 & a_2 & 0 \\ 0 & a_1 & 0 & a_2 \\ -a_2 & 0 & a_1 & 0 \\ 0 & -a_2 & 0 & a_1 \end{bmatrix}. \quad (1)$$

При цьому в обох випадках добуток

$$\overline{\overline{W_2}} \cdot \overline{X_{1N}} = \overline{X_2} = [\sqrt{a_1^2 + a_2^2}, 0, 0, 0]^T.$$

Таким чином, спектр сумарного перетворення буде мати лише одну складову.

Знайдемо добуток

$$\overline{\overline{W_{2a}}} \cdot \overline{\overline{W_{2a}}}^T = \text{Diag}\{[(a_1^2 + a_2^2), 1, (a_1^2 + a_2^2), 1]\}^T$$

та пронормуємо матрицю $\overline{\overline{W_2}}$ коефіцієнтом $b = \sqrt{a_1^2 + a_2^2}$.

Добуток матриць

$$\overline{\overline{W_{2N}}} \cdot \overline{\overline{W_{1N}}} = \overline{\overline{W_{N\Sigma}}} \quad (2)$$

дасть шукане результуюче нормальне перетворення. Добуток

$$\overline{\overline{W_{N\Sigma}}} \cdot \overline{X} = \overline{X_\Sigma} \quad (3)$$

дає спектр, який містить тільки одну ненульову трансформанту у вигляді

$$\overline{X_\xi} = [(x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + x_4^2)/b, 0, 0, 0]^T.$$

Описану методику легко поширити на матрицю $\overline{\overline{W_{N\Sigma}}}$ будь-якого формату $N=2^n$, n – ціле число.

Розроблено алгоритм безпосереднього формування дискретного

матричного оператора нормального перетворення, який значно спрощує процедуру створення оператора, легко програмується внаслідок формалізації, дозволяє уникнути накопичення операційної похибки, як це має місце при покроковому формуванні матричного оператора.

Застосування для оцінки подібності сигналів коефіцієнтів трансформант

$$k_{mp} = \sqrt{\sum_{i=2}^N x_{\xi i}^2} / \sqrt{x_{\xi 1}^2} \quad (4)$$

чи оберненої до нього величини – гостроти спектру нормального перетворення

$$\Gamma = 1/k_{mp}$$

дозволило ввести чисельну міру оцінки такої подібності. Це може бути використано при класифікації та погодженій фільтрації сигналів.

Методика застосування нормального перетворення для класифікації сигналів за їх формою передбачає наступні кроки:

1. Отримати навчальну виборку з K сигналів класу ω . Виконати їх попередню обробку.

2. Обчислити еталонний сигнал – математичне очікування сигналів з навчальної виборки

$$\bar{M} = M(\bar{X}) = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K \bar{X}_i.$$

3. На базі еталонного сигналу \bar{M} побудувати матрицю нормального перетворення $\bar{W}_{\Sigma N}$.

4. Для кожного сигналу \bar{X}_i з навчальної виборки обчислити спектр, а потім коефіцієнт трансформант в області нормального перетворення $\bar{W}_{\Sigma N}$

$$\bar{X}_{\xi i} = \bar{W}_{\Sigma N} \cdot \bar{X}_i,$$

$$k_{mpi} = \sqrt{\sum_{n=2}^N x_{\xi i n}^2} / \sqrt{x_{\xi i 1}^2}.$$

5. Обчислити порогове значення коефіцієнту трансформант як, наприклад

$$k_{nor} = \max(k_{mpi}).$$

6. Отримати досліджуваний сигнал \bar{X}' , виконати його передобробку.

7. Для перевірки належності досліджуваного сигналу \bar{X}' до класу ω обчислити для нього коефіцієнт трансформант в області перетворення $\bar{W}_{\Sigma N}$

$$\bar{X}'_{\xi} = \bar{W}_{\Sigma N} \cdot \bar{X}',$$

$$k'_{mp} = \sqrt{\sum_{n=2}^N x'_{\xi n}^2} / \sqrt{x'_{\xi 1}^2}.$$

8. По коефіцієнту трансформант k'_{mp} зробити висновок про належність досліджуваного сигналу \bar{X}' до класу ω

якщо $k'_{mp} \leq k_{nor}$, то $\bar{X}' \in \omega$; якщо $k'_{mp} > k_{nor}$, то $\bar{X}' \notin \omega$.

Метод класифікації, що базується на побудові дискретного нормального перетворення є простим, надійним та чутливим до змін графоелементів.

Як приклад застосування нормального перетворення розглянемо математичне очікування періоду пульсової хвилі людини до паління (рис. 1 а),

зведена до одиничної величини розмаху та представлена у форматі $N=32$. Спектр еталонного сигналу наведено на рис. 1 б.

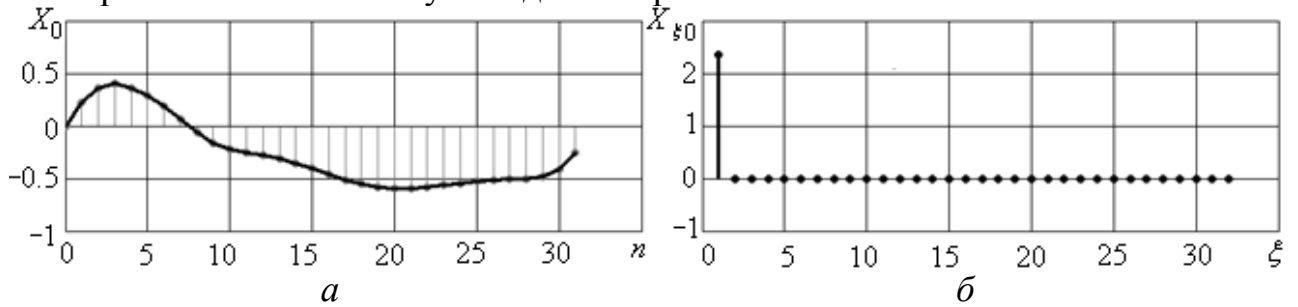


Рис. 1.

На рис. 2 наведено окремо взятий період пульсової хвилі людини відразу після паління (рис. 2 а) та період пульсової хвилі людини через 5 хвилин після паління (рис. 2 б), представлені у форматі $N=32$.

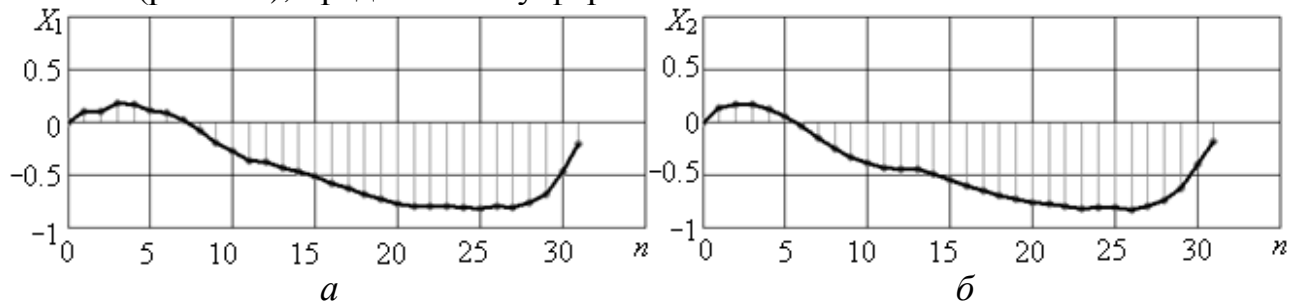


Рис. 2.

Їх спектри нормального перетворення наведено на рис. 3 а та б.

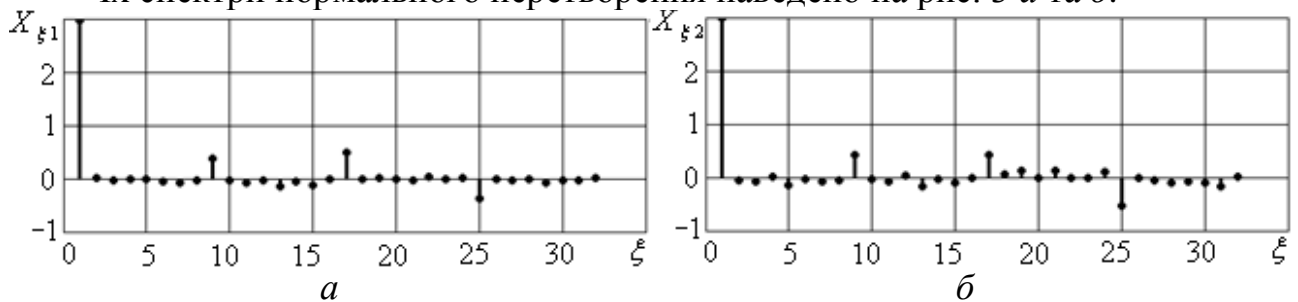


Рис. 3.

Запропоновано декілька підходів до створення оператора комплексного нормального перетворення для випадку комплексного вхідного сигналу.

Запропонований підхід по створенню нормального перетворення поширено і на багатовимірний дискретний сигнал. Визначення двовимірного нормального перетворення можна записати як вираз у матричній формі

$$\overline{\overline{X}}_{\xi\xi} = \overline{\overline{W}}_{\Sigma N1} \cdot \overline{\overline{X}} \cdot \overline{\overline{W}}_{\Sigma N2},$$

де $\overline{\overline{X}}_{\xi\xi}$ – спектр сигналу $\overline{\overline{X}}$ в області двовимірного нормального перетворення, яке передбачає нормалізацію по стовпцям, що здійснюється матричним оператором $\overline{\overline{W}}_{\Sigma N1}$ та по рядкам, що здійснюється оператором $\overline{\overline{W}}_{\Sigma N2}$. В загальному випадку для деякого досліджуваного сигналу $N_x \neq N_y$, де $N_x = 2^n$, $N_y = 2^m$, n і m – цілі додатні числа.

Оскільки при отриманні досліджуваних сигналів вони проходять через певні електричні кола, в роботі розроблено методику аналізу лінійних кіл з використанням нормального перетворення.

Теорема про диференціювання для нормального перетворення має складніший, ніж для перетворення Фур'є, вигляд

якщо $\overline{X} \div \overline{X}_\xi$, тоді $\overline{X}_{dt} \div \overline{W}_{\Sigma N} \overline{D}_H \overline{X}_\xi^T$,

де \overline{X}_ξ – спектр дискретизованого вхідного сигналу \overline{X} , $\overline{W}_{\Sigma N}$ – матричний оператор нормального перетворення, \overline{D}_H – нормована матриця похідних.

Систему диференціальних рівнянь виду

$$a_m \frac{d^m y(t)}{dt^m} + \dots + a_1 \frac{dy(t)}{dt} + a_0 y(t) = b_n \frac{d^n x(t)}{dt^n} + \dots + b_1 \frac{dx(t)}{dt} + b_0 x(t)$$

можна привести до узагальненого матричного рівняння

$$\overline{A}_\Sigma \overline{Y}_\xi = \overline{B}_\Sigma \overline{X}_\xi,$$

звідки спектр нормального перетворення розв'язку має вигляд

$$\overline{Y}_\xi = \left(\overline{A}_\Sigma\right)^{-1} \cdot \overline{B}_\Sigma \cdot \overline{X}_\xi. \quad (5)$$

Для спрощення обчислень було запропоновано використовувати розклад матриці \overline{A} на власні значення (які визначаються за аналітичними формулами) та власні вектори

$$\overline{A} = \overline{\Pi} \cdot \overline{\lambda} \cdot \overline{\Pi}^T. \quad (6)$$

Рівняння (5) із врахуванням (6) можна звести до наступного виду

$$\overline{Y}_\xi = \overline{\Pi} \cdot \overline{K}(\lambda) \cdot \overline{\Pi}^T \cdot \overline{X}_\xi,$$

де $\overline{K}(\lambda)$ – діагональна матриця дискретних функцій системи, що пов'язує спектри реакції \overline{Y}_ξ та впливу \overline{X}_ξ , i -й елемент діагоналі якої має вигляд

$$K(\lambda_i) = \frac{a_m \cdot (\lambda_i)^m + a_{m-1} \cdot (\lambda_i)^{m-1} + \dots + a_1 \cdot \lambda_i + a_0}{b_n \cdot (\lambda_i)^n + b_{n-1} \cdot (\lambda_i)^{n-1} + \dots + b_1 \cdot \lambda_i + b_0},$$

де $K(\lambda_i)$ може бути отримано заміною в операторному виразі функції системи $K(p)$ змінного p на дискретне значення λ_i .

Алгоритм розв'язання диференціального рівняння в базисі нормального перетворення має наступний вигляд:

1. Знайти спектр трансформант нормального дискретного ортогонального перетворення $\overline{W}_{\Sigma N} \overline{X}_\xi = \overline{W}_{\Sigma N} \overline{X}_t$.

2. Знайти кратне перетворення $\overline{\Pi}$ одержаного вхідного спектру

$$\overline{X}_{\xi\xi} = \overline{\Pi} \overline{X}_\xi^T.$$

3. Для функції кола $K(p)$, що пов'язує реакцію \overline{Y}_t і дію \overline{X}_t (реакцію $\overline{Y}_{\xi\xi}$ і дію $\overline{X}_{\xi\xi}$) замінити $p \rightarrow \lambda_i$ і обчислити спектральні складові кратного перетворення $\overline{Y}_{\xi\xi}$ реакції $y_{\xi\xi i} = x_{\xi\xi i} K(\lambda_i)$.

3. Знайти зворотне кратне перетворення $\overline{Y}_\xi = \overline{\Pi} \overline{Y}_{\xi\xi}$. Якщо це потрібно, знайти реакцію в натуральних координатах $\overline{Y}_t = \overline{W}_{\Sigma N} \overline{Y}_\xi$.

Підвищення точності нормального перетворення для аналізу лінійних систем можна досягнути використовуючи більш точні (ніж розділена різниця двох відліків сигналу) немінімальні формули різницевого рівнянь.

Такі немінімальні формули при врахуванні трьох точок відліків сигналу мають вигляд

$$dx/dt \rightarrow [3x(k) - 4x(k-1) + x(k-2)]/2; \quad (7 \text{ а})$$

$$dx/dt \rightarrow [x(k) - x(k-1)]/2; \quad (7 \text{ б})$$

$$dx/dt \rightarrow [-x(k+2) + 4x(k+1) + 3x(k)]/2; \quad (7 \text{ в})$$

для чотирьох точок:

$$dx/dt \rightarrow [2x(k+3) - 9x(k+1) + 18x(k+1) - 11x(k)]/6; \quad (8 \text{ а})$$

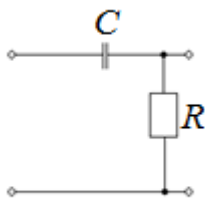
$$dx/dt \rightarrow [-x(k+2) + 6x(k+1) - 3x(k) - 2x(k-1)]/2; \quad (8 \text{ б})$$

$$dx/dt \rightarrow [2x(k+1) + 3x(k) - 6x(k-1) + x(k-2)]/2; \quad (8 \text{ в})$$

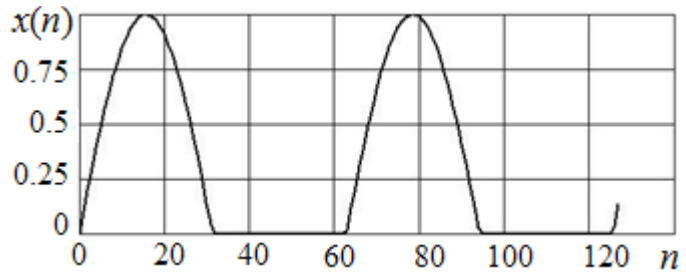
$$dx/dt \rightarrow [11x(k) - 18x(k-1) + 9x(k-2) - 2x(k-3)]. \quad (8 \text{ г})$$

Особливості теореми про диференціювання будуть залежати тільки від використаного різницевого рівняння і не залежати від виду перетворення, за яким відбувається аналіз.

Нехай на вхід кола рис. 4 а надходить обмежене знизу гармонічне коливання (рис. 4 б)



а



б

Рис. 4.

Коефіцієнт передачі кола при нормованих значеннях параметрів

$$K(p) = \frac{p}{1+p}, \text{ або } K(\lambda_n) = \frac{\lambda_n}{1+\lambda_n}.$$

На рис.5 наведено реакцію кола (а) при обчисленні похідної за формулами розділеної різниці (крива 1), (7 а) та (7 в) (криві 2 та 3) та реакцію кола (б) при застосуванні розділеної різниці, (8 а) та (8 б) (криві 4 та 5).

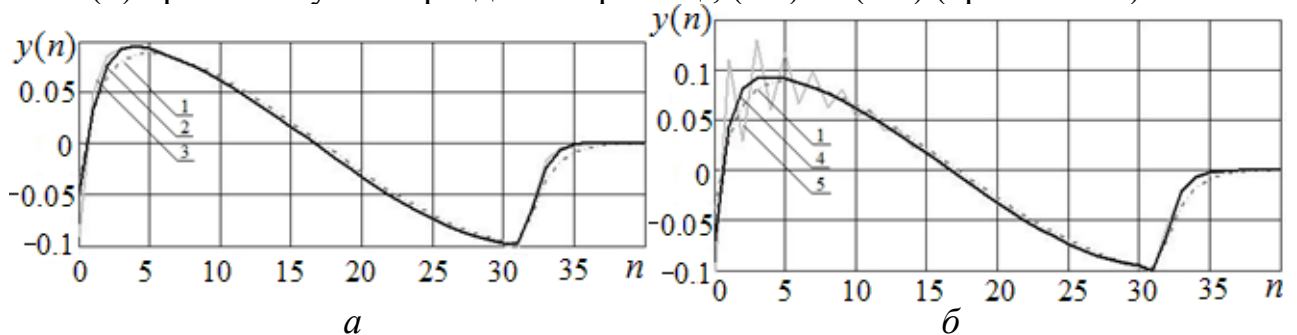


Рис. 5.

Запропоновано процедуру аналізу подібності і розбіжності реакції лінійної системи до еталонного сигналу за допомогою нормального перетворення.

Для нормального перетворення сигналу \bar{X}_t обчислення реакції кола можна виконати за виразом

$$\bar{Y}_t = \bar{W}_{\Sigma N_x}^T \bar{\Pi}^* \bar{K}(\lambda) \bar{\Pi}^T \bar{W}_{\Sigma N_x} \bar{X}_t. \quad (9)$$

Якщо тепер у вираз (9) підставити

$$\bar{X}_\xi = \bar{W}_{\Sigma N_x} \bar{X}_t \text{ та } \bar{Y}_\xi = \bar{W}_{\Sigma N_y} \bar{Y}_t,$$

де $\bar{W}_{\Sigma N_y}$ – дискретний оператор нормального перетворення, але вже для реакції \bar{Y}_t на еталонну дію \bar{X}_t , одержимо

$$\bar{Y}_\xi = \bar{W}_{\Sigma N y} \bar{W}_{\Sigma N x}^T \bar{\Pi}^* \bar{K}(\lambda) \bar{\Pi}^T \bar{X}_\xi \quad (10)$$

Позначивши в (10)

$$\bar{W}_{\Sigma N 1} = \bar{W}_{\Sigma N y} \bar{W}_{\Sigma N x}^T \bar{\Pi}^* \quad \text{та} \quad \bar{W}_{\Sigma N 2} = \bar{\Pi}^T,$$

отримаємо вираз для нормальних перетворень вхідного та вихідного сигналів системи з коефіцієнтом передачі $K(\lambda)$

$$\bar{Y}_\xi = \bar{W}_{\Sigma N 1} \bar{K}(\lambda) \bar{W}_{\Sigma N 2} \bar{X}_\xi. \quad (11)$$

При цьому, якщо на вхід еталонної лінійної системи подається еталонний сигнал, то на виході такої системи отримаємо еталонний сигнал, спектр якого \bar{Y}_ξ містить також лише одну ненульову трансформанту. Відхилення вхідного сигналу \bar{X}_t від еталонного дадуть спектр з іншими ненульовими трансформантами спектру \bar{X}_ξ . Ступінь спотворення вхідного сигналу можна оцінити за коефіцієнтом трансформант спектру \bar{X}_ξ , а вихідного – за коефіцієнтом трансформант спектру \bar{Y}_ξ . За виразом (11) можна оцінювати ступінь спотворення вихідного сигналу при наявності розкиду параметрів компонентів системи.

Нехай коло рис. 6 а має нормовані параметри $g_1 = g_2 = 1$; $C_1 = C = 1$; $C_2 = 2C = 2$. Коефіцієнт передачі напруги такого кола має вигляд

$$K_{31}(\lambda) = (2\lambda^2 + 2\lambda + 1) / (2\lambda^2 + 4\lambda + 1).$$

Для еталонного сигналу рис. 6 б спектри як вхідного, так і вихідного сигналів мають лише перші трансформанти.

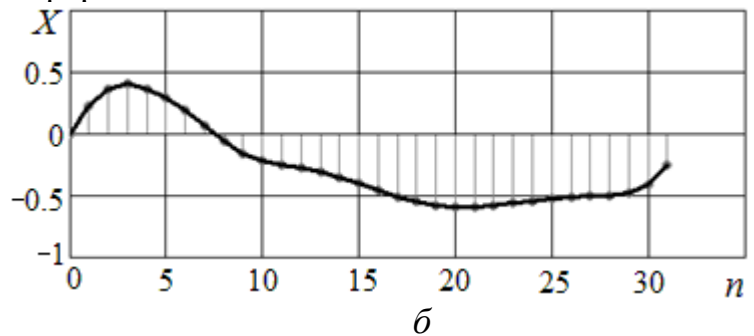
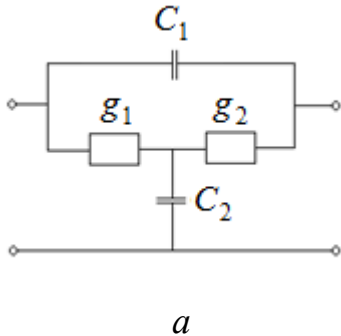


Рис. 6.

Ясно, що в разі відхилень “вхідного сигналу” \bar{X}_ξ від еталону, спектр \bar{Y}_ξ буде мати ненульові трансформанти з номерами, відмінними від одиниці. Так, для функції кола $K_{31}(\lambda)$ при розкиді параметрів кола на +10% та на -10% коефіцієнти трансформант спектру вихідного сигналу становлять відповідно (рис.7) $k_{m p y}^+ = 0,068$, $k_{m p y}^- = 0,113$.

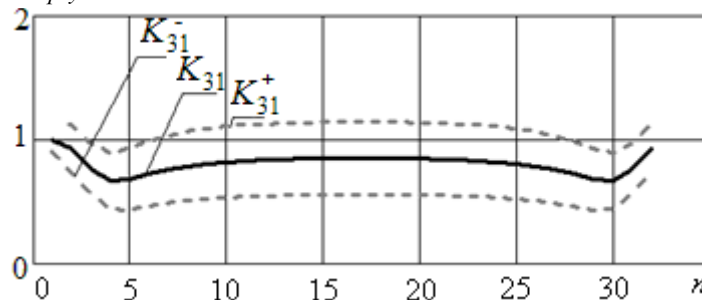


Рис. 7.

У *третьому розділі* проведено порівняння нормальної та класичної погодженої фільтрації.

Сигнал $y(t)$ на виході класичного лінійного погодженого фільтра має вигляд кореляційної функції вхідного сигналу

$$y(t) = a \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau) s(t - t_0 + \tau) d\tau,$$

де $s(t)$ – еталонний сигнал, $x(t)$ – сигнал на вході погодженого фільтру, t_0 – час спостереження.

Трансформанта x_{ξ_1} спектру нормального перетворення завжди обчислюється як

$$x_{\xi_1} = \left(\sum_{i=1}^N s_i \cdot x_i \right) / \left(\sum_{i=1}^N s_i^2 \right)^{1/2}, \quad (12)$$

де x_i , s_i – дискретні відліки досліджуваного та еталонного сигналу відповідно.

Максимум такої кореляційної функції для дискретного еталонного сигналу \bar{S} має вигляд

$$y(t_0) = \sum_{i=1}^N s_i^2. \quad (13 \text{ а})$$

При цьому амплітуда першої трансформанти (12) нормального перетворення еталонного сигналу в момент спостереження t_0 має вигляд

$$x_{\xi_1} = \left(\sum_{i=1}^N s_i^2 \right) / \left(\sum_{i=1}^N s_i^2 \right)^{1/2}. \quad (13 \text{ б})$$

Тобто, при реєстрації відомого сигналу нормальний погоджений фільтр працює (для першої трансформанти) так само, як лінійний погоджений фільтр.

З порівняння (13 а) і (13 б) видно, що перша трансформанта нормального перетворення співпадає з максимальним значенням автокореляційної функції еталонного сигналу.

Отже, можна розглядати часову залежність досліджуваного сигналу у вікні значень першої трансформанти нормального перетворення, яка співпадає з еталонним сигналом, тоді нормальний фільтр можна використовувати як фільтр класичний лінійний погоджений. Але у випадку нормальної фільтрації використовується додаткова інформація про спотворення досліджуваного сигналу, яку несуть інші складові спектру. Згідно із виразом (4), нормальний фільтр є нелінійним.

Відмінність полягає в цільовому призначенні нормального (багатоканального) і погодженого (одноканального) фільтрів. Нормальний фільтр визначає відстань між еталонним і досліджуваним сигналами, тоді як погоджений фільтр реєструє сигнал, подібний до еталонного і замаскований шумом.

Крім того, класичний погоджений фільтр не дозволяє реєструвати сигнали заданої форми в послідовності інших детермінованих сигналів, якщо їх енергія у вікні, відповідному тривалості еталонного сигналу, перевищує енергію сигналу, подібного до еталонного. Нормальна фільтрація дозволяє в пачці детермінованих сигналів як зареєструвати наявність сигналу, близького до еталонного, так і визначити міру подібності цих сигналів.

У *четвертому розділі* апарат нормального перетворення застосовано до розв'язання задачі аутентифікації особи за динамічно введеним підписом.

Динаміка підпису людини відбиває психофізичні підсвідомі властивості рухів особи, що значно ускладнює підроблення і, як результат, доступ для інформаційних систем несанкціонованих осіб.

Проведено розробку алгоритму аналізу ступеня спотворення динамічних траєкторій розкладу підпису людини по двох координатних осях $x(t)$, $y(t)$ у часі за допомогою формування і використання нормальних перетворень математичних очікувань цих траєкторій.

Розклад i -го підпису особи у часі по координатам $x(t)$, $y(t)$ тієї самої особи може значно відрізнятися, тому пронормуємо усі траєкторії у декілька етапів:

1) Перехід до рівномірного кроку дискретизації шляхом застосування інтерполяції та подальшої дискретизації. Довжина траєкторій в часі зводиться до $N=128$ відліків;

2) Приведення реалізацій до однієї початкової точки;

3) Нормування траєкторій за величиною розмаху, після якої величина розмаху компонент зводиться до одиниці.

В процесі реєстрації користувачеві пропонується ввести $R=20$ підписів, які являтимуть собою навчальну виборку для системи аутентифікації і, після нормування реалізацій їх компонент, дозволять отримати математичні очікування відповідних реалізацій, що надалі будуть використовуватися системою аутентифікації як еталонні сигнали.

На базі еталонних сигналів \overline{M}_x та \overline{M}_y формуються дві матриці нормального перетворення відповідно $\overline{\overline{W}}_{\Sigma N x}$ та $\overline{\overline{W}}_{\Sigma N y}$ згідно алгоритму, описаному в другому розділі роботи.

Для всіх реалізацій компонент динамічно введених підписів, отриманих під час реєстрації, обчислюються їх спектри нормального перетворення

$$\overline{X}_\xi = \overline{\overline{W}}_{\Sigma N x} \cdot \overline{X}_{ni}; \quad \overline{Y}_\xi = \overline{\overline{W}}_{\Sigma N y} \cdot \overline{Y}_{ni},$$

а потім коефіцієнти трансформант

$$k_{mp xi} = \sqrt{\sum_{n=2}^N x_{\xi in}^2 / \sqrt{x_{\xi i1}^2}}; \quad k_{mp yi} = \sqrt{\sum_{n=2}^N y_{\xi in}^2 / \sqrt{y_{\xi i1}^2}},$$

де $i = \overline{1, R}$.

Порогове значення коефіцієнту трансформант кожної компоненти визначається як максимальне з коефіцієнтів трансформант нормального перетворення реалізацій підписів з навчальної виборки

$$k_{nor x} = \max(k_{mp xi}); \quad k_{nor y} = \max(k_{mp yi}).$$

При здійсненні спроби отримання доступу до інформаційної системи користувач вводить свій login та динамічний підпис, що тепер являє собою тестовий сигнал. Кожна компонента тестового сигналу піддається нормалізації. Для \overline{X}'_n та \overline{Y}'_n знаходяться значення коефіцієнтів трансформант $k'_{mp x}$ та $k'_{mp y}$ в області нормального перетворення згідно заявленого login-y.

При не перевищенні порогових значень коефіцієнтів трансформант

$$k'_{mp x} \leq k_{nor x}; \quad k'_{mp y} \leq k_{nor y}$$

приймається рішення про відповідність підпису особі. В цьому разі нормований підпис доповнює вибірку, що зберігається у базі даних, корегуються математичні очікування компонент, а відтак і матриці нормального перетворення та порогові значення коефіцієнтів трансформант.

Для проведення експерименту використовувався графічний планшет моделі Genius WizardPen; для отримання динамічного підпису і його подальшої обробки на основі представленого алгоритму було розроблено спеціальне програмне забезпечення із використанням мови С# та програмного середовища Matlab.

На рис. 8 представлені реалізації статичних підписів осіб A і B . Нормовані компоненти (проекції на координатні осі \bar{X}_A та \bar{Y}_A) динамічних підписів особи A , отримані після попередньої обробки, та їх математичні очікування наведено на рис. 9.

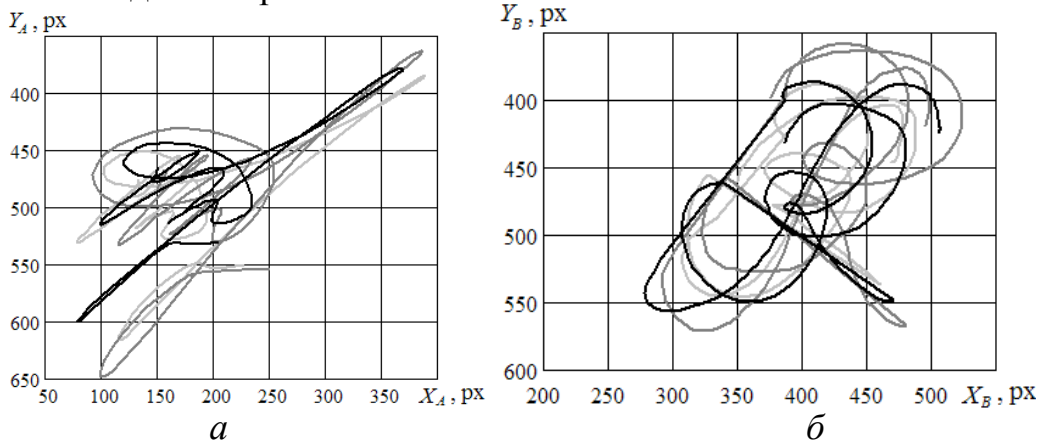


Рис. 8.

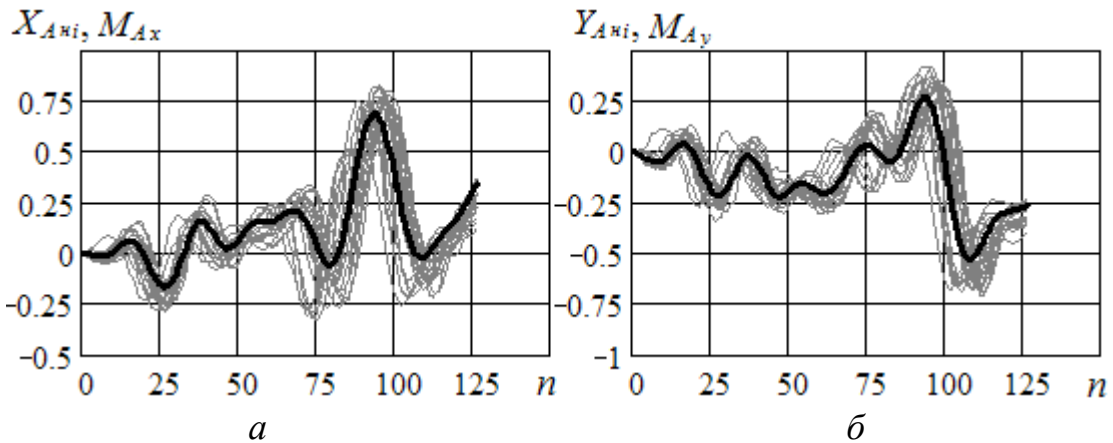


Рис. 9.

Приклад спектрів реалізацій нормованих компонент підписів осіб A і B в області перетворення $W_{\Sigma N_{Ax}}$ приведено на рис. 10.

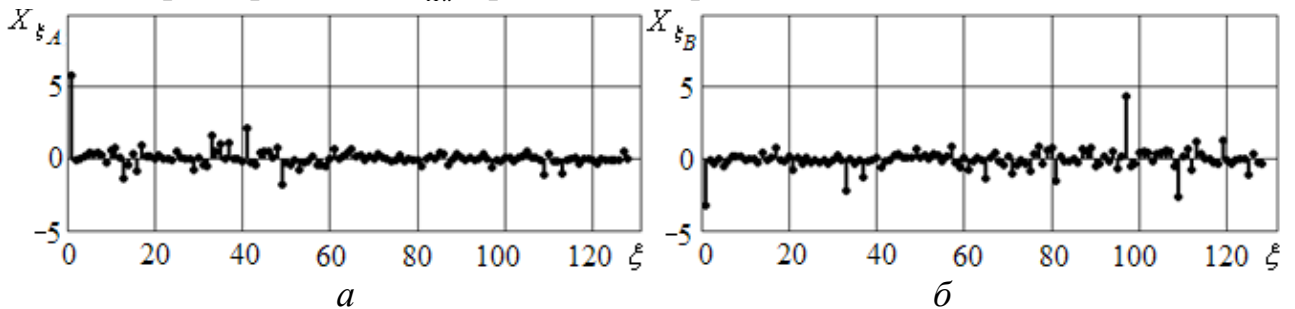


Рис. 10.

В результаті проведення обчислень були отримані показники роботи запропонованого алгоритму аутентифікації особи за динамічним підписом: частота правильного розпізнавання $\nu_{IP} = 0,98$, частота похибки I-го роду (нерозпізнання підпису людини, що має право доступу) $\nu_I = 0,02$.

Для аналізу показників роботи методу нормального перетворення, до тієї самої задачі розпізнавання динамічно введеного підпису був застосований метод максимальної правдоподібності. Але при створенні класифікатора за методом максимальної правдоподібності виникає необхідність обернення зазвичай погано зумовленої кореляційної матриці навчальної множини. Модифікація методу, запропонована в роботі, дозволяє уникнути цього недоліку.

Якщо при застосуванні методу оцінки умовної ймовірності належності даного вектора відліків досліджуваного сигналу \tilde{X} заданому класу ω_i закон щільності ймовірності випадкових величин заздалегідь невідомий, зазвичай обчислюють дискримінантне число

$$D = (\tilde{X} - \overline{M}_{\omega_i})^T \overline{Cor}^{-1}(\overline{X})(\tilde{X} - \overline{M}_{\omega_i}), \quad (14)$$

по якому визначають належність сигналу \tilde{X} заданому класу ω_i , де $\overline{Cor}(\overline{X})$ – кореляційна матриця сигналів \overline{X} класу ω_i ; \overline{M}_{ω_i} – математичне очікування вектора ознак \overline{X} сигналів класу ω_i .

Для того, щоб проблему обернення матриці \overline{Cor} обійти, скористаємося прийомом, який призведе до модифікації методу (14).

З виразу розкладу матриці \overline{Cor} на власні значення і власні вектори $\overline{Cor}(\overline{X}) = \overline{\Pi}_{\omega_i} \overline{\lambda}_{\omega_i} \overline{\Pi}_{\omega_i}^T$ можна записати

$$\overline{\Pi}_{\omega_i}^T \overline{Cor}(\overline{X}) \overline{\Pi}_{\omega_i} = \overline{\lambda}_{\omega_i}.$$

Якщо тепер для досліджуваного сигналу \tilde{X} отримати матрицю "миттєвої" кореляції

$$C\tilde{or} = [\tilde{X} - \overline{M}_{\omega_i}]^T [\tilde{X} - \overline{M}_{\omega_i}],$$

то в разі приналежності сигналу \tilde{X} класу ω_i добуток

$$\overline{\Pi}_{\omega_i}^T C\tilde{or}(\overline{X}) \overline{\Pi}_{\omega_i} = \tilde{\lambda}_{\omega_i}$$

буде мало відрізнятися від діагональної матриці $\overline{\lambda}_{\omega_i}$. Норму $\|\cdot\|$ відхилення необхідно визначити для усіх елементів матриць

$$\delta = \|\overline{\lambda}_{\omega_i} - \tilde{\lambda}_{\omega_i}\|. \quad (15)$$

В процесі навчання класифікатора (8) на навчальній множині знову слід обчислити граничні значення дискримінантних чисел $\delta_2 > \delta_1$, таких, що якщо $\delta < \delta_1$, то досліджуваний сигнал \tilde{X} належить класу ω_i і якщо $\delta > \delta_2$, то не належить.

При застосуванні запропонованої модифікації методу максимальної правдоподібності до того самого прикладу розпізнавання підписів осіб A і B було отримано $\nu_I < 0,01$ для обох класів ω_A та ω_B .

Модифікований метод максимальної правдоподібності є більш точним, однак метод нормального перетворення є більш економічним з точки зору обчислювальних ресурсів: для модифікованого методу максимальної правдоподібності обчислювальні затрати B процесу класифікації (кількість операцій множення трьох матриць – миттєвої кореляції та власних векторів класу) складає $B = 2N^3$, в той час, як для нормального класифікатора $B = N^2$

(обчислення нормального спектра досліджуваного сигналу), де N – число відліків досліджуваного сигналу.

У *додатках* приведено трансформанти оператора нормального перетворення першого та другого виду для еталонного сигналу – математичного очікування періоду пульсової хвилі людини в нормальному стані; подано текст програм для системи аутентифікації особи за динамічно введеним підписом; приведено результати обчислення коефіцієнтів трансформант при аутентифікації особи за динамічно введеним підписом із застосуванням нормальної фільтрації компонент підпису; приведено результати обчислення дискримінантних чисел при аутентифікації особи за динамічно введеним підписом із застосуванням модифікованого методу найбільшої правдоподібності; надано акти впровадження результатів дисертаційної роботи в розробки за ДНТП “Образний комп’ютер” та в навчальний процес радіотехнічного факультету.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі проведена розробка методики класифікації сигналів на базі нормального ортогонального перетворення, для якого одна із трансформант збігається із заданим дискретним сигналом довільної форми; розроблено метод класифікації сигналів за критерієм максимальної правдоподібності, який не вимагає обернення кореляційної матриці навчальної множини; розроблено методику аналізу проходження тестового сигналу через лінійну систему з використанням кратних перетворень.

Основні результати дисертаційної роботи:

1. Розроблено новий метод нормального дискретного ортогонального перетворення та процедура класифікації сигналів на його основі. Головною особливістю запропонованого методу є те, що одна із трансформант збігається із заданим дискретним сигналом довільної форми, а, отже, спектр обраного еталонного сигналу довільної форми містить лише одну ненульову складову при співпадінні досліджуваного сигналу з тестовим, тоді як поява інших складових у спектрі свідчить про їх відмінності.

Реалізація запропонованого методу нормалізації дозволяє створювати нові дискретні ортогональні перетворення з трансформантами, зручними для аналізу сигналів певних класів.

2. Метод нормального перетворення поширено на випадок комплексного та двовимірного вхідного сигналу: розроблено алгоритми відповідно комплексного та двовимірного нормального перетворення.

3. Алгоритм безпосереднього формування матричного оператора нормального перетворення дозволяє за один крок сформувати матрицю оператора, що усуває накопичення операційної похибки у порівнянні з покроковим алгоритмом формування.

4. Запропонована методика кратного нормального перетворення дозволяє чисельно оцінювати інтегральне спотворення, викликане випадковими відхиленнями вхідного сигналу, чи лінійні спотворення, викликані статистичним розкидом параметрів компонентів лінійного кола.

5. Розроблена методика кратних перетворень дозволяє проводити аналіз лінійних систем з використанням ортогональних перетворень з дійсним ядром (зокрема нормального перетворення) та немінімальних формул обчислення похідної, які дозволяють збільшити точність обчислень лінійних

систем на 3...10% без зменшення кроку дискретизації.

6. Метод нормального перетворення при розпізнаванні детермінованих сигналів в пачці з сигналами іншої форми з більшою енергією (у випадках, коли погоджений фільтр дає невірний результат) забезпечує необхідні показники класифікації

7. Розроблено нову модифікацію методу класифікації за критерієм максимальної правдоподібності, яка дозволяє уникнути процедури обернення кореляційної матриці і забезпечити однакові порядки кореляційних матриць для всіх класів класифікатора при збереженні еквідистантного кроку дискретизації.

8. Метод нормального перетворення є більш економічним з точки зору обчислювальних ресурсів у порівнянні з методом максимальної правдоподібності: обчислювальні затрати (розраховані як кількість операцій множення) зменшується у $2N$ разів, де N – число відліків досліджуваного сигналу.

Модифікований метод класифікації за критерієм максимальної правдоподібності має більшу чутливість та надійність, ніж метод, оснований на нормальних ортогональних перетвореннях, що дозволяє враховувати більш тонкі відмінності між досліджуваними сигналами. При апробації обох методів на задачі розпізнавання динамічного підпису частота похибки першого роду в межах проведеного досліджу $\nu_I = 0,02 - 0,03$ для нормального перетворення та $\nu_I < 0,01$ для модифікованого методу максимальної правдоподібності.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ З ТЕМИ ДИСЕРТАЦІЇ

1. *Рибін О.І., Ніжебецька Ю.Х., Ткачук А.П., Шарпан О.Б.* Нормальне дискретне ортогональне перетворення сигналу довільної форми // Наукові вісті НТУУ “КПІ”. – 2008. – № 4. – с.34 – 40.

2. *Рибін О.І., Ніжебецька Ю.Х.* Нормальне дискретне ортогональне перетворення // Вісник НТУУ “КПІ”. Серія Радіотехніка. Радіоапаратуробудування. – 2008. – Вип. 37. – с.8 – 15.

3. *Рибін О.І., Ніжебецька Ю.Х.* Алгоритм формування матричного оператора дискретного нормального перетворення // Вісник НТУУ “КПІ”. Серія Радіотехніка. Радіоапаратуробудування. – 2008. – Вип. 37. – с.19 – 27.

4. *Ніжебецька Ю.Х., Рибін О.І., Якубенко О.А.* Комплексне дискретне нормальне ортогональне перетворення // Вісник НТУУ “КПІ”. Сер. Радіотехніка. Радіоапаратуробудування. – 2009. – Вип. 38. – с.5 – 11.

5. *Ильцова Ю.Х., Шарпан О.Б.* Анализ линейных систем в области преобразования *RTF* при неминимальных разностных уравнениях // Вісник НТУУ “КПІ”. – Серія Радіотехніка. Радіоапаратуробудування. – 2007. – Вип. 35.

6. *Ніжебецька Ю.Х., Рибін О.І., Шарпан О.Б.* Підвищення точності ортогональних перетворень для аналізу лінійних систем // Наукові Вісті НТУУ “КПІ”. – 2008. – №5.

7. *Рибін О.І., Ніжебецька Ю.Х., Наталенко С.С.* Дослідження властивостей перетворення *RTF* // “Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій” тези доповідей IV Міжнародної науково-практичної конференції. – м. Запоріжжя. – 24 – 26 квітня 2008 р.

8. *Ніжебецька Ю.Х., Наталенко С.С.* Аналіз лінійних систем використанням перетворення *RTF* // 3-й Международный радиоэлектронный

форум «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития». – Том 4. Актуальные проблемы биомедицины. – м. Харків. – 22 – 24 жовтня 2008 р.

9. *Рибін О.І., Ніжебецька Ю.Х., Рибіна І.О.* Аналіз лінійних систем з використанням кратних перетворень // Вісник НТУУ “КПІ”. – Серія Радіотехніка. Радіоапаратуробудування. – 2010. – Випуск 40.

10. *Ніжебецька Ю.Х., Рибіна О.І.* Аутентифікація особи за динамічно введеним підписом з використанням нормального перетворення // Радіоелектроніка в ХХІ столітті. Матеріали ІІІ наук.-техн. конф. Київ, НТУУ “КПІ”, РТФ. – 2009. – с.24 – 26.

11. *Ніжебецька Ю.Х.* Застосування нормального перетворення до аутентифікації особи за динамічно введеним підписом. Матеріали 5-ої міжнародної молодіжної науково-технічної конференції “Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций “РТ-2009”. – м. Севастополь. – 20 – 25 квітня 2009 р.

12. *Рибін О.І., Ніжебецька Ю.Х., Пляцко Н.С.* Класифікація стану судинної системи за графоелементами пульсової хвилі // Вісник НТУУ “КПІ”. – Серія Радіотехніка. Радіоапаратуробудування. – 2008. – Випуск 36.

13. *Ніжебецька Ю.Х., Рибін О.І., Шарпан О.Б.* Класифікація сигналів в базисі ортогональних перетворень вісник ЖДТУ №2 (45), Житомир, 2008.

14. *Кузьменко О.М., Ніжебецька Ю.Х., Рибіна І.О.* Застосування кореляційної матриці до розв’язання задачі аутентифікації особи за динамічно введеним підписом // Вісник НТУУ “КПІ”. – Серія Радіотехніка. Радіоапаратуробудування. – 2009. – Випуск 39.

15. *Кузьменко О.М., Ніжебецька Ю.Х.* Метод аутентифікації, що ґрунтується на ортогональному розкладі кореляційної матриці. Матеріали ІІІ науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених “Радіоелектроніка у ХХІ столітті”. – м. Київ. – 2 – 3 квітня 2009 р.

16. *Рибіна І.О., Кузьменко О.М., Ніжебецька Ю.Х., Вівчарик О.Я.* Застосування кратного нормального перетворення до аналізу ступеню спотворення сигналу при проходженні через лінійну систему. Матеріали ІV науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених “Радіоелектроніка у ХХІ столітті”. – м. Київ. – 22 – 23 квітня 2010 р.

17. *Ніжебецька Ю.Х., Рибіна І.О.* Порівняння погодженого класичного лінійного та нормального фільтрів. Матеріали ІV науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених “Радіоелектроніка у ХХІ столітті”. – м. Київ. – 22 – 23 квітня 2010 р.

18. *Рибін О.І., Ніжебецька Ю.Х., Луцків А.М.* Аутентифікація особи за динамічно введеним підписом з використанням нормального перетворення // Вісник НТУУ “КПІ”. – Серія Радіотехніка. Радіоапаратуробудування. – 2010. – Випуск 40.

19. *Рыбин А.И., Нижбецкая Ю.Х.* Анализ подобия и различия образов с использованием нормального ортогонального преобразования // Радиоэлектроника. – 2010. – №3. – с. 58 – 64. (Изв. внеш. учеб. заведений).

20. *Rybina I., Nizhebetska Y.* Authentication of person with dynamically entered signature using of normal orthogonal discrete transformation // Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science. Proceedings of the Xth International Conference TCESSET’2010. – February 23 – 27, 2010, Lviv – Slavske, Ukraine.

21. *Рибін О.І., Наталенко С.С., Ніжебецька Ю.Х.* Властивості перетворення *RTF* // *Радіоелектроніка, інформатика, управління.* – м. Запоріжжя. – 2010. – №1. – с. 93 – 97.
22. *Ніжебецька Ю.Х.* Класифікація сигналів при застосуванні нормального ортогонального перетворення // V Міжнародний науково-технічний симпозиум (МНТС) “Нові технології в телекомунікаціях” ДУІКТ-КАРПАТИ '2012. – м. Вишків. – 17 – 21 січня 2012 р.
23. *Ніжебецька Ю.Х.* Застосування нормального перетворення до аналізу лінійних систем. Матеріали міжнародної науково-технічної конференції “Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи (теорія, практика, історія, освіта)”. – м. Київ. – 22 – 29 лютого 2012 р.
24. *Ніжебецька Ю.Х.* Класифікація сигналів при застосуванні нормального ортогонального перетворення // *Вісник НТУУ “КПІ”.* – Серія Радіотехніка. Радіоапаратуробудування. – 2011 – Випуск 47. – с.58 – 70.
25. *Ніжебецька Ю.Х.* Застосування нормального перетворення до аналізу лінійних систем // *Вісник НТУУ “КПІ”.* – Серія Радіотехніка. Радіоапаратуробудування. – 2012 – Випуск 48. – с.38 – 47.
26. *Рибін О.І., Ніжебецька Ю.Х., Рибіна І.О.* Погоджена фільтрація: класичний лінійний та нормальний фільтри // *Вісник НТУУ “КПІ”.* – Серія Радіотехніка. Радіоапаратуробудування. – 2010. – Випуск 41. – с. 5 – 12.
27. *Рибіна І.О., Кузьменко О.М., Ніжебецька Ю.Х., Вівчарик О.Я.* Аналіз подібності та розбіжності реакції лінійної системи до еталонного сигналу за допомогою нормального перетворення // *Вісник НТУУ “КПІ”.* – Серія Радіотехніка. Радіоапаратуробудування. – 2010. – Випуск 41. – с. 25 – 29.
28. *Рибін О.І., Рибіна І.О., Ніжебецька Ю.Х.* Порівняння методів нормальної фільтрації та ортогонального розкладу кореляційної матриці // *Вісник НТУУ “КПІ”.* – Серія Радіотехніка. Радіоапаратуробудування. – 2010. – Випуск 42. – с. 5 – 11.
29. *Рыбин А.И., Нижобецкая Ю.Х., Кузьменко О.Н., Рибина И.А.* Анализ подобия и различия образов. Модифицированный метод на базе корреляционной матрицы // *Радиоэлектроника.* – 2010. – №10. – с. 29 – 37. (Изв. внеш. учеб. заведений).

АНОТАЦІЯ

Ніжебецька Юлія Хамідуллаївна. Метод нормального перетворення та його застосування до класифікації сигналів за формою. – Рукопис.

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.17 – Радіотехнічні та телевізійні системи. – Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”, Україна, Київ, 2013.

В роботі запропоновано метод дискретного ортогонального нормального перетворення, що призначений для класифікації сигналів за формою, способи побудови його оператора (покроковий алгоритм та алгоритм безпосереднього формування) та алгоритм оцінки ступеню спотворення досліджуваного сигналу за коефіцієнтом трансформант. Метод поширено на випадок комплексного та двовимірного вхідного сигналу. Запропоновано методику аналізу проходження сигналу через лінійні системи при використанні кратних ортогональних перетворень. Проведено порівняння методів лінійної погодженої та нормальної

фільтрації.

Нормальне перетворення застосоване до розв'язання задачі аутентифікації особи за динамічно введеним підписом. Результати методу нормальної фільтрації компонент підпису порівняно з результатами вдосконаленого в дисертаційній роботі методу класифікації за максимальною правдоподібністю.

Ключові слова: дискретне нормальне ортогональне перетворення, коефіцієнт трансформант, нормальна фільтрація, аутентифікація за динамічним підписом, кореляційна матриця, класифікація, кратне перетворення.

АННОТАЦИЯ

Нижебецкая Юлия Хамидуллаевна. Метод нормального преобразования и его использование при классификации сигналов по форме. – Рукопись.

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.12.17 – Радиотехнические и телевизионные системы. – Национальный технический университет Украины “Киевский политехнический институт”, Украина, Киев, 2013.

В работе предложен метод дискретного ортогонального нормального преобразования, который предназначен для классификации сигналов по форме, способы построения его операторов (пошаговый алгоритм и алгоритм непосредственного формирования) и алгоритм оценки степени искажения исследуемого сигнала по коэффициенту трансформант. Метод распространён на случай комплексного и двумерного входного сигнала. Предложена методика анализа прохождения сигнала через линейные системы при использовании кратных ортогональных преобразований. Проведено сравнение методов линейной согласованной и нормальной фильтрации.

Нормальное преобразование применено к решению задачи аутентификации личности по динамически введённой подписи. Результаты метода нормальной фильтрации компонент подписи сравнены с результатами усовершенствованного в дисертационной работе метода классификации по максимальному правдоподобию.

Ключевые слова: дискретное нормальное ортогональное преобразование, коэффициент трансформант, нормальная фильтрация, аутентификация по динамической подписи, корреляционная матрица, классификация, кратное преобразование.

SUMMARY

Nizhebetska Iuliia. Method of normal transformation and its application for classification of signals by form. – Manuscript.

Thesis for a candidate of technical sciences degree in specialty 05.12.17 – Radiotechnical and television systems. – National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”, Ukraine, Kyiv, 2013.

The method of discrete orthogonal normal transformation, which is purposed for classification of signals by their form, methods of construction of it's operators (step-by-step algorithm and algorithm of the direct forming) and algorithm of the estimation of degree of the test signal distortion by the coefficient of transforms are

offered. A method is expanded on case of complex and two-dimensional input signal. The method of analysis of signal passing through the linear systems at the use of multiple orthogonal transformations is offered. Comparison of methods of the linear matched filtering and normal filtering is performed.

Normal transformation is applied to the task of authentication of person by the dynamically entered signature. Results of signature components normal filtering is compared with the results of method of classification by the maximum likelihood, improved in dissertation.

Keywords: discrete normal orthogonal transformation, coefficient of transforms, normal filtering, authentication by the dynamically entered signature, correlation matrix, classification, multiple transformation.