УДК 004.056.5: 655.25
DOI: 10.15587/1729-4061.2019.154862

Виявлення закономірностей параметрів *ATEB*-Габора при фільтрації біометричних зображень

М. А. Назаркевич, О. Я. Різник, В. В. Самотий, У. Ю. Дзелендзяк

Розроблено новий метод фільтрації біометричних зображень на основі Ateb-Габора. Метод базується на загальновідомому фільтрі Габора та дозволяє перебудовувати зображення із чіткішими контурами. Тому даний метод має застосування до біометричних зображень, де створення чітких контурів є особливо актуальне. При фільтрації Габором відбувається реконструкція зображення шляхом множення гармонійної функції на функцію Гауса. Ateb-функції є узагальненням елементарної тригонометрії, і, відповідно, володіють більшою функціональністю. Фільтрування Ateb-Gabor дозволяє змінювати інтенсивність всього зображення, а також інтенсивність у певних діапазонах, і таким чином зробити певні ділянки зображення контраснішими. Ateb-функції змінюються від двох раціональних параметрів, а це, в свою чергу, дає можливість гнучкіше керувати фільтрацією. Досліджено властивості Ateb-функції, а також можливості зміни амплітуди функції, частоти коливань на фільтр Ateb-Габора. Показано розвинення фільтрації на основі двовимірного Ateb-Габору. Ці залежності проаналізовані та зроблені відповідні експерименти. Здійснено визначення співвідношень між частотою та шириною фільтра Ateb-Габора, що дозволило виконувати фільтри для знаходження країв об'єктів з різними частотами та розмірами. Розроблено відповідне програмне забезпечення для фільтрації за допомогою python без використання сторонніх бібліотек, зв'язаних з обробкою зображень. Відбитки пальців відфільтровані за допомогою розробленого фільтра Ateb-Габора. Показано ефективність його використання, яке полягає у більшій кількості варіантів фільтрації опрацьованих зображень. Результати численних експериментів демонструють успішне виділення країв на зображенні на основі отриманих в роботі параметрів фільтра Ateb-Габора

Ключові слова: *фільтр Габора, Ateb-функції, біометрична система, обробка зображень, відхилення гаусівського ядра*

1. Вступ

З розвитком інформаційних технологій, біометрика широко проникла в наш побут. Системи біометричної ідентифікації потребують постійного вдосконалення, адже працюють ще досить повільно та часто дають невірний результат. На сьогоднішній день розроблено нові методи аналізу відбитків пальців, які сканують безконтактно. Як результат цього з'явилися професійні системи для розпізнавання. Використовуючи технології обробки «великих даних», сучасні системи спостереження і контролю доступу все точніше ідентифікують окремо взяті фрагменти біометрики.

НЕ ЯВЛЯЕТСЯ ПЕРЕВОДНЫМ

За даними International Biometric Group, частка систем розпізнавання за відбитками пальців становить 52 % від всіх використовуваних у світі біометричних систем [1].

У задачах розпізнавання питання фільтрації зображень є актуальним, оскільки не завжди розпізнавання приводить до визначених результатів та є якісним. У задачах розпізнавання біометричних даних програма повинна видавати результат через певні проміжки часу [2].

При скануванні біометричних даних на зображенні можуть бути присутні шуми, які спотворюють результати розпізнавання. Випадковий шум проявляється у вигляді хаотичних гранулярностей або розташованих чужорідних точок на зображенні. Найпомітніший такий шум на темних областях зображень, оскільки відношення “сигнал/шум” на них буде набагато менше, ніж на світлих ділянках. Будь-яке отримане зображення має ряд недоліків: недостатня різкість зображень, розмитість зображення або деяких деталей. Залежно від типів спотворень розроблено різні методи фільтрації зображень, які застосовуються в конкретних ситуаціях, і забезпечують різну якість відновлення. Використання фільтра в тій чи іншій ситуації залежить і від виду шуму. Найпоширеніший імпульсний шум. У разі впливу імпульсної перешкоди на зображення спостерігаються білі або чорні поміхи, що хаотично розкидані по зображенню. Шум при цьому може розташовуватися не по всьому зображенні, а перешкоди виглядають ізольованими контрастними точками. Сьогодні розроблено велику кількість методів усунення шумів. Кожен окремий метод застосовується для усунення певного типу шуму. Складність знаходження точних рішень породжує різні варіанти наближених методів.

Одним з відомих методів фільтрації є фільтр Габора. Він застосовується при лінійній фільтрації та дозволяє покращити якість перетвореного зображення. Додатково можуть бути використані операції симетрії, антисиметрії та вейвлет-перетворення для зменшення кількості необхідних операцій множення та додавання [3, 4].

Проте на неопрацьованому зображенні через шуми, лінії відбитків можуть спотворюватися, що створює помилки в розпізнаванні. Окрім цього ідентифікація має відбуватися швидко і тривати лічені хвилини. Для цього зображення покращують, застосовуючи фільтрацію. При цьому знижується зашумленість зображення. Фільтр Габора на основі *Ateb*-функцій є ефективним для проведення фільтрації, оскільки містить узагальнення тригонометричних функцій [5, 6].

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Усі біометричні системи складаються з двох частин – апаратних засобів та спеціалізованого програмного забезпечення [7]. Проведемо аналіз біометричних систем стосовно програмного забезпечення, яке дозволяє застосувати фільтрацію для біометричних зображень.

До сучасних систем штучного зору в яких використовується фільтрація Габором можна віднести системи Skynet, Hunter, DigiNet [8] та інші. У цих системах важливу роль відіграє якість вхідного зображення, яке можливо покращити, використавши алгоритми, що базуються на фільтрації в частотній чи

ТОЛЬКО ДЛЯ ОЗНАЙОМЛЕННЯ

просторовій областях, регулюванні контрасності та яскравості. Дуже важливо за допомогою апаратних засобів дістати якісне вхідне зображення, яке буде видозмінюватися у процесі фільтрації. Навіть вище перечислені системи не можуть забезпечити стовідсоткове розпізнавання, тому якість фільтрів необхідно покращувати, створюючи нові та модифіковані, а також застосовуючи багатократну фільтрацію.

У [9] аналізується якість розпізнавання та ідентифікаційні властивості при фільтрації 2D Габором у штучних нейронних мережах. Показано, що розпізнавання відбитків пальців є найефективнішим порівняно з розпізнаванням аудіосигналів, вен та біометричних характеристик. Проте штучні нейронні мережі забезпечують невисокі показники ідентифікації. Також недоліком такого методу є потреба у навчанні нейронних мереж, а це збільшує час розпізнавання біометричних зображень. Розпізнавання має тривати кілька секунд, а це стає можливим при одноразовій фільтрації.

У джерелі [10] фільтр Габора застосовується для фільтрації аудіосигналу. Фільтрація застосовується багаторазово, щоб досягти необхідних якісних показників. Проте, вказано, що розпізнавання звичайним фільтром Габора не є ефективним. Необхідно розробляти нові фільтри для забезпечення ідентифікації.

У [11] показано, що якісна обробка біометричних зображень досягається при комплексному застосуванні фільтрації так званим алгоритмом MEA, який грунтується на використанні фільтра Габора, фільтра Лапласа та фільтра Волтера. Фільтрація Габором дозволяє перетворити зображення в частотній та просторовій областях. Таким чином, застосовуючи фільтри Габора до відбитків пальців, реальні виступи структури рядів можуть бути добре видимі. Змінюючи значення параметрів у фільтрі Габора, можна значно покращити якість вхідного зображення. Тому доцільним є комплексне застосування фільтра Лапласа та фільтра Волтера. Це збільшує час на обробку зображення, що також не є бажаним у системі біометричного захисту.

Було проведено дослідження щодо ефективності застосування фільтра Габора серед усіх видів фільтрації. У [12] було встановлено, що при обробці біометричних зображень найчастіше застосовується фільтр Габора на 3–5 % більше ніж інших фільтрів, тому доцільним є розширення варіантів фільтрації вказаним фільтром.

У [13] розглянуто фільтрацію Габором і показано, що для того, щоб зробити біометричне зображення придатним до ідентифікації, необхідно застосувати розроблені власноруч алгоритми та застосувати додатково анізатропну фільтрацію, що є тривалою процедурою. Час, який затрачається на вхід до системи, має тривати лічені секунди, а додаткові види фільтрації збільшують час обробки зображення, що є недопустимим при швидкому вході в систему.

У статті [14] розглядається фільтрація Габором і показано, що при скануванні виникають великі похибки, це призводить до неякісного розпізнавання та ідентифікації. При застосуванні фільтрації Габором, необхідно багаторазове повторення фільтрації та коригування параметрів кута нахилу, масштабу. Тому вдало підібрані параметри можуть значно спростити ідентифікацію та зменши-

Не является передзаданием

ти час опрацювання зображення. А це дає змогу знайти краї об'єктів у зображенні з різними частотами, розмірами та напрямками.

У працях [15, 16] показано, що необхідно проводити ідентифікацію модифікованим фільтром Габора, аби досягти якісних показників розпізнавання та забезпечення мінімального часу на обробку зображення. Для цього необхідно розробляти модифіковані фільтри, які базуються на основі традиційних та забезпечують швидкий час обробки та добру ідентифікацію.

Для вирішення задачі ідентифікації папілом пальців, функція *Ateb*-Габора дає можливість покращити процес ідентифікації. Це забезпечує кращі характеристики, аніж традиційний фільтр Габора. Запропоновано застосувати новий метод фільтрації, який базується на теорії *Ateb*-функцій та фільтрації Габором. Новий метод фільтрації є розширеним методом фільтрації Габора та забезпечує малі показники часу обробки зображення.

3. Ціль і задачі дослідження

Мета дослідження полягає у виявленні закономірностей фільтра *Ateb*-Габора, який грунтується на використанні математичного апарату теорії Ateb-функцій та створює умови для генерації нових швидких варіантів фільтрації. Використання нового фільтра дало можливість значно розширити набори фільтрації для успішного знаходження країв об'єктів у біометричних

Для досягнення мети вирішуються такі завдання:

– виявити закономірності у властивостях одномірного та двомірного фільтра Габора;

– дослідити властивості *Ateb*-функцій для реалізації нових властивостей у фільтрі *Ateb*-Габора;

– провести фільтрацію біометричних зображень та здійснити аналіз їх якості з різними наборами *Ateb*-Габор фільтра для успішного та швидкого знаходження країв об'єктів у біометричних зображеннях.

4. Побудова одномірного та двомірного фільтра Габора

Для побудови одномірного фільтра Габора використовується формула [17]

$$g(z) = e^{(-z^2/2\sigma^2)} \cos(2\Pi\theta z), \qquad (1)$$

де σ – стандартне відхилення гаусівського ядра, яке визначає амплітуду функції, θ – частота коливань, яка визначається як $\theta = 1/T$, де T – період функції $\cos(2\Pi\theta z)$.

ТОЛЬКО ДЛЯ ЧТЕНИЯ

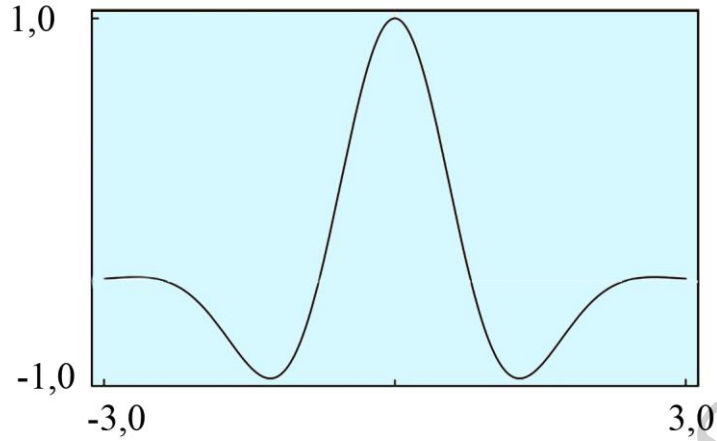

Рис. 1. Побудова одномірного фільтра Габора з параметрами σ=1, θ=1

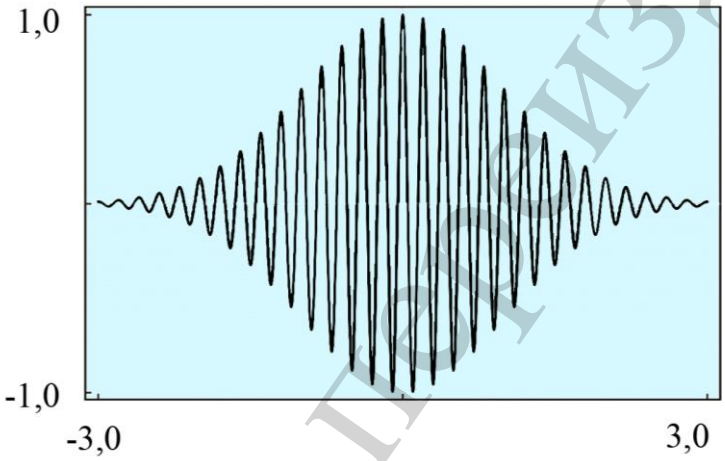

Рис. 2. Побудова одномірного фільтра Габора з параметрами σ=2, θ=5

Чим більше σ, тим форма функції стає пологішою [18], чим менше σ, тим форма функції буде матиме гострий пік, рис. 1.

Описаний показник має властивості нормально розподіленої випадкової величини. Згідно з правилом 3σ, майже всі його значення лежать в проміжку {–3σ; 3σ } [12, 19]. Для обробки сигналу ці значення функції розраховуються в цьому сегменті. Більше того, чим вище значення θ, тим менший його період (рис. 2).

Для фільтрації зображень використовують двовимірний фільтр Габора, який представляє собою гармонійну функціїю, помножену на функцію Гауса. Двомірний фільтр Габора має вигляд

$$G(x, y, \lambda, \theta, \psi, \sigma, \varphi) = \exp\left(\frac{-x'^2 + \varphi^2 y'^2}{2\sigma^2}\right)\cos\left(2\pi\frac{x'}{\lambda} + \psi\right), \qquad (2)$$

де

Не является пособием

$$\begin{cases} x' = x\cos\theta + y\sin\theta, \\ y' = -x\sin\theta + y\cos\theta. \end{cases}$$

У цьому рівнянні λ – довжина хвилі множника-косинуса, θ – частота коливань в градусах, ζ – зсув фаз у градусах, та ψ – коефіцієнт стиснення. Формула (2) представляє собою добуток функції Гауса та періодичної функції, і здійснюється покращення монотонних областей періодичних фрагментів у зображенні [20]. Для застосування фільтрації необхідно знати перераховані вище параметри фільтра Габора. Для відбитків пальців вважають, що періодичність ліній та стандартні відхилення узгоджуються з локальними характеристиками зображення.

Однак лінії відбитків можуть мати різну орієнтацію на різних ділянках зображення, тому необхідно знайти орієнтацію ліній всередині кожного обробленого сегмента. Таким чином, модифікований фільтр буде функцією від трьох параметрів $G(x, y, \theta)$.

Пошук орієнтації ліній сегмента реалізований по алгоритму, який описаний Базеном [21]. Основна ідея алгоритму полягає в тому, що градієнт зображення, який відповідає перепадам від білого до чорного, буде перпендикулярний лініям на відбитках пальців. Для того, щоб протилежно направлені вектори не компенсували один одного при усередненні, розраховуються так звані квадратурні градієнти [22]. Напрямки усереднюються в кожній області зображення, а потім розраховуються відповідні кути орієнтації ліній відбитків пальців.

5. Побудова та властивості *Ateb*-функцій для фільтрації

Математичний апарат *Ateb*-функцій дав можливість розв'язати аналітичні системи диференціальних рівнянь, що описують суттєво нелінійні процеси у системах з одним ступенем вільності [23].

Розв'яжемо систему диференціальних рівнянь, що описують суттєво нелінійні процеси у системах з одним ступенем вільності.

$$\begin{cases} \dot{x} + \beta y^m = 0, \\ \dot{y} + \alpha y^m = 0, \end{cases} \tag{3}$$

де α, β – деякі дійсні постійні сталі, а,

$$n = \frac{2\theta_1' + 1}{2\theta_1'' + 1}, \tag{4}$$

$$m = \frac{2\theta_2' + 1}{2\theta_2'' + 1}, \quad (\theta_1', \theta_1'', \theta_2', \theta_2'' = 0,1,2,\ldots).$$

Розглянемо випадок, коли

Только для чтения

$$p = \frac{1}{n+1}, \qquad (5)$$
$$q = \frac{1}{m+1},$$

де m і n визначаються формулами (4).

Ateb-функції є оберненням до *Beta*-функцій. Неповна Beta-функція визначена рівністю

$$B_x(p,q) = \int_0^x t^{p-1}(1-t)^{q-1}\mathrm{d}t, \qquad (6)$$

$$B_1(p,q) = \int_0^1 t^{p-1}(1-t)^{q-1}\mathrm{d}t, \qquad (7)$$

де p і q деякі дійсні числа.

Якщо $p>0$, $q>0$, то *Beta*-функція визначена і неперервна, а для інших дійсних значень p, q прямує в нескінченність.

Для всіх x з інтервалу [0,1] функції $B_x(p,q)$ і $B_1(p,q)$ задані формулами (6), (7), є додатними і задовольняють умови [24]

$$0 \le B_x(p,q) \le B_1(p,q),$$

$$B_x(p,q) = B_1(p,q) - B_{1-x}(p,q). \qquad (8)$$

Ateb-функції, що розроблені для значень (5), називають періодичними. Система (3), якщо m, n задовольняє співвідношення (5), описує коливальний рух [25].

Відомо, що *Ateb*-функції є узагальненнями звичайних тригонометричних функцій [25]. Запропоновано узагальнення фільтра Габора на основі періодичних *Ateb*-функцій. Періодичні властивості *Ateb*-cos, необхідні для реалізації вдосконаленого фільтра Габора, відомі та описані в [26]. Форма функції є неперервною кривою з періодом $T = 2\Pi(m,n)$.

Перетин з віссю ω в точках $\left(k+\frac{1}{2}\right)\cdot\Pi(m,n)$, $k = 0, \pm1, \pm2, \ldots$ відбувається під кутом $\gamma = \pm\mathrm{arctg}\left(\frac{2}{m+1}\right)$. Екстремуми досягаються в точках $k\Pi(m,n)$, $k \in \Pi(m,n)$, $k \in Z$ відповідно рівні $(-1)^k$.

З властивості періодичності випливає

$$Ateb\text{-}ca\left[m,n,\Pi(m,n)+\omega\right] = -Ateb\text{-}ca(m,n,\omega),$$

Не является переизданием

$$Ateb\text{-}ca\left[m,n,2\Pi(m,n)-\omega\right]=-Ateb\text{-}ca(m,n,\omega), \tag{9}$$

$$Ateb\text{-}ca\left[m,n,2\Pi(m,n)\ +\ \omega\right]=\ Ateb\text{-}ca(m,n,\omega).$$

Також у [26] доведено, що так введені *Ateb*-функції є періодичними з періодом $2\Pi(m,n)$, де,

$$2\Pi(m,n)=\frac{\Gamma\left(\frac{1}{n+1}\right)\cdot\Gamma\left(\frac{1}{m+1}\right)}{\Gamma\left(\frac{1}{m+1}+\frac{1}{n+1}\right)}. \tag{10}$$

У формулі (10) $\Gamma\left(\frac{1}{n+1}\right)$, $\Gamma\left(\frac{1}{m+1}\right)$, $\Gamma\left(\frac{1}{m+1}+\frac{1}{n+1}\right)$ – Gamma-функція.

Властивості для синусу, який використовується для побудови уявної складової фільтру Габора аналогічні.

В (3) період $2\Pi(m,n)$ є розрахований для різних значень параметрів *m* і *n* [27], які наведені в табл. 1.

Таблиця 1
Обчислення періоду $2\Pi(m,n)$ *Ateb-ca*(m,n)

m	*n*	$2\Pi(m,n)$
0.1	1	4.24284
0.5	1	5.17422
1	1	6.28318
2	1	8.41309
3	1	10.4882
4	1	12.5373
5	1	14.5719

Властивості для *Ateb-sa*, які використовуються для побудови уявної складової фільтра Габора, схожі.

На рис. 3 показано *Ateb-sa* , *Ateb-ca* з параметрами *m*=1, *n*=1, α=1, β=1. Як видно, з графічного відображення, на рис. 3, це елементарний косинус і синус. Параметри α=1, β=1 з (3) вибрані таким чином, що спотворення форми кривих не відбувається. На рис. 4 показано *Ateb-ca* та *Ateb-sa* з параметрами *m*=7, *n*=7, α=1, β=1. Спостерігаємо пологу форму кривих, функції з цими параметрами, яку добре використовувати для фільтрації. Для наочності на рис. 5. показано ще більш пологішу форму функції *Ateb-ca* та *Ateb-sa* з параметрами *m*=11, *n*=11, α=1, β=1. На рис. 6. показано *Ateb-ca* та *Ateb-sa* з параметрами *m*=3, *n*=3, α=1, β=1. До сих пір було показано *Ateb-ca* та *Ateb-sa* при параметрах *m*=n, а при параметрах *m*≠*n*, *Ateb-ca* і *Ateb-sa* будуть не симетричними, що продемонстровано

ТОЛЬКО ДЛЯ ЧТЕНИЯ

на рис. 7, де *Ateb-ca* та *Ateb-sa* з параметрами *m*=5, *n*=3, α=4, β=2. Рис. 8 демонструє *Ateb-ca* та *Ateb-sa* з параметрами *m*=7, *n*=7, α=4, β=2.

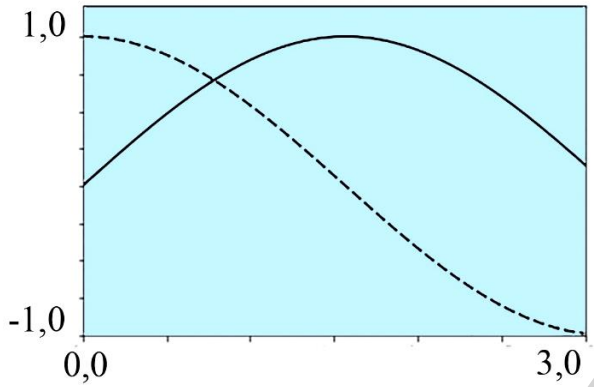

Рис. 3. *Ateb-ca* і *Ateb-sa* з параметрами *m*=1, *n*=1, α=1, β=1

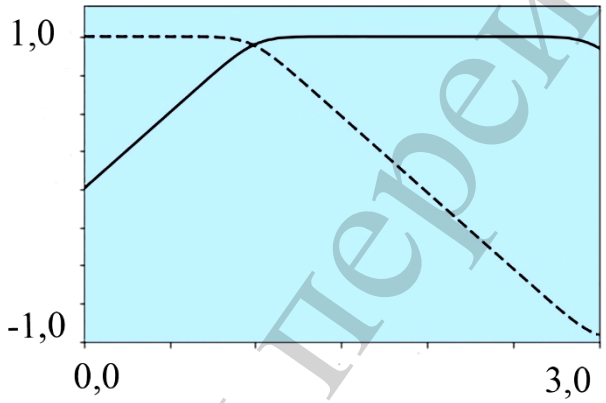

Рис. 4. *Ateb-ca* і *Ateb-sa* з параметрами *m*=7, *n*=7, α=1, β=1

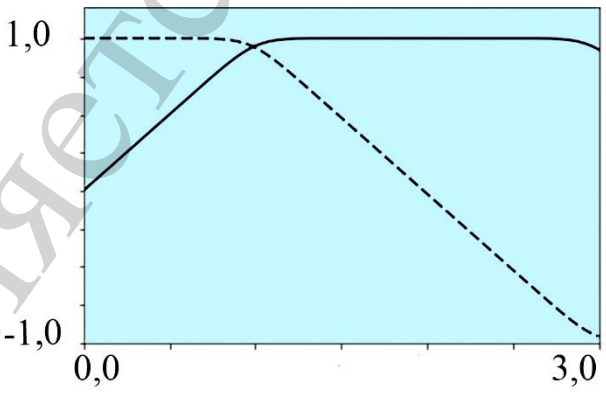

Рис. 5. *Ateb-ca* і *Ateb-sa* з параметрами *m*=11, *n*=11, α=1, β=1

Не является переизданием

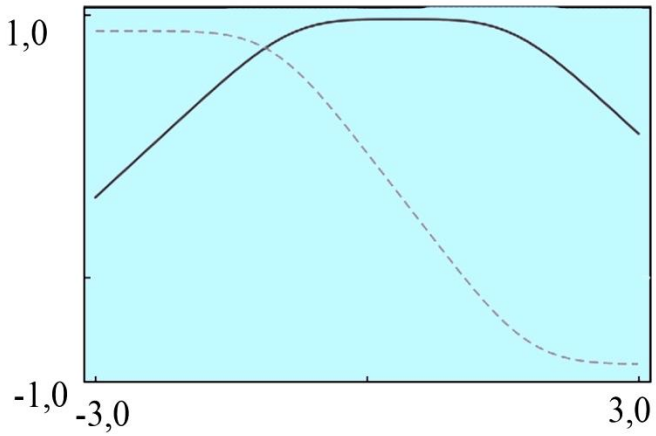

Рис. 6. *Ateb-ca* і *Ateb-sa* з параметрами *m*=3, *n*=3, α=1, β=1

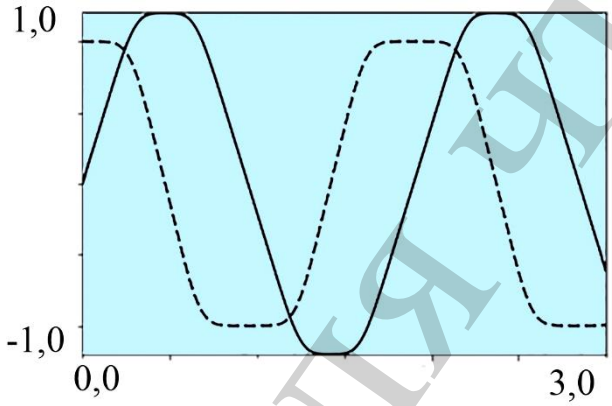

Рис. 7. *Ateb-ca* і *Ateb-sa* з параметрами *m*=5, *n*=3, α=4, β=2

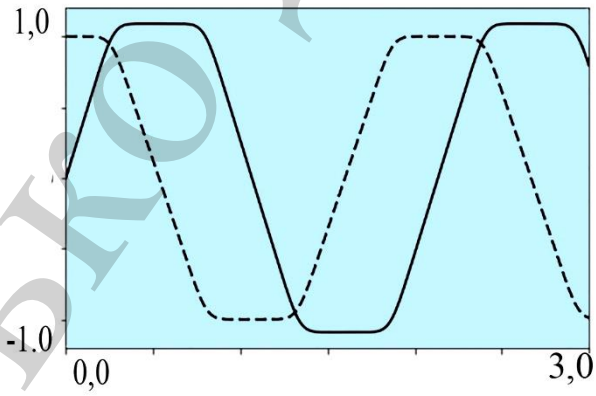

Рис. 8. *Ateb-ca* і *Ateb-sa* з параметрами *m*=7, *n*=7, α=4, β=2

Розв’язано диференціальні рівняння зі степеневою нелінійністю, які подано у (3). Показано графічні розв’язки з різними параметрами *m* і *n*, які задовольняють умови (4), (5), та є періодичними. Показано, що розв’язки диференціальних рівнянь зі степеневою нелінійністю набувають значень, які показано на рис. 3–8. Зауважимо, що це значно розширює апарат тригонометричних функ-

ТОЛЬКО ДЛЯ ЧТЕНИЯ

цій і тому вважаємо актуальним дане дослідження при застосуванні у фільтрації зображень. При застосуванні математичного апарату *Ateb*-функцій до фільтрації зображень можна значно розширити керуючі впливи на зміну градаційних характеристик зображення.

6. Розроблення одномірного та двомірного фільтру *Ateb*-Габора

Врахувавши вище вказані властивості фільтра Габора та *Ateb*-функцій, побудуємо узагальнений одномірний фільтр Габора на основі *Ateb*-функцій. Він матиме вигляд

$$Ateb\text{-}G(m,n,\omega)=\exp\left(-\frac{\omega^2}{2\sigma^2}\right)\cdot Ateb\text{-}ca(m,n,2\Pi,\theta,\omega), \qquad (11)$$

де σ стандартне відхилення гаусівського ядра, яке визначає амплітуду функції, ω – частота коливань, яка визначається як $\theta=\frac{1}{T}$, де $T(m, n)$ – період функції $Ateb\text{-}ca(m,n,2\Pi,\theta,\omega)$.

Графічне представлення узагальненого фільтру Габора показано на рис. 9 та 10. На відміну від загальновідомого фільтра Габора, фільтрація на основі *Ateb*-функцій має більше керуючих дій за рахунок параметрів *m* та *n*, які можуть приймати раціональні числа. Ці керуючі дії і покажемо у цьому дослідженні. У випадку $m=n=1$ *Ateb-Gabor* стає еквівалентним фільтру Габора. Оскільки функція *Ateb-Gabor* (*Ateb-G*) є рівною і симетричною, значення *Ateb-G* (1, 0.1) будуть ідентичними для *Ateb-G* (0.1, 0).

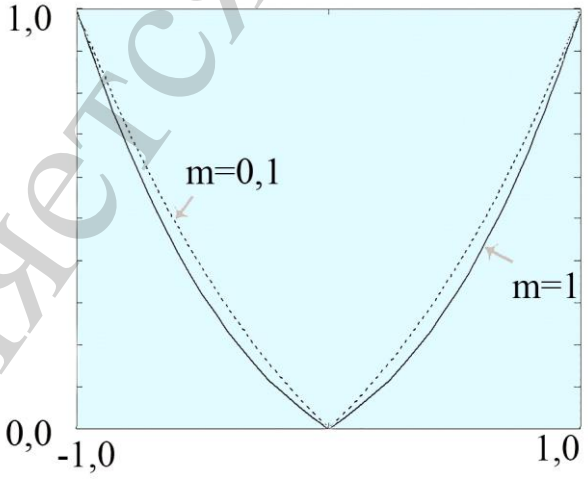

Рис. 9. Графічне представлення *Ateb*-G з параметрами *m*=0.1 та *m*=1 при *n*=1, σ=1

Не является первоизданием

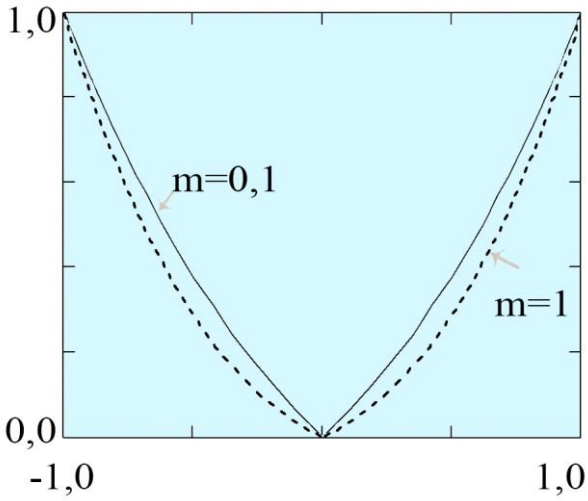

Рис. 10. Графічне представлення *Ateb-G* з параметрами *m*=0.1, *m*=1, при *n*=1, σ=3

На основі фільтра *Ateb*-Габора можна здійснити фільтрацію зображень з великою кількістю гребенів. Це може забезпечити кращі характеристики, аніж відомий фільтр Габора. Одномірний фільтр Габора на основі *Ateb*-функцій дає можливість отримати більшу кількість пологих форм, що видно з рис. 3–6. Таким чином можна реалізувати фільтрацію з більшим спектром кривих та більшим набором керуючих параметрів. Зокрема чотири параметри для фільтра *Ateb*-Габора – *m*, *n*, σ, θ на противагу двом для відомого раніше фільтра Габора – σ, θ.

Фільтрація двомірного Ateb-Габора виконується за формулою:

$$Ateb\text{-}G\left(x, y, \lambda, \theta, \psi, \sigma, \xi\right) = \exp\left(-\frac{x'^2 + \psi \cdot y'^2}{2\sigma^2}\right) Ateb\text{-}ca\left(\frac{2\Pi \cdot x'}{\lambda} + \xi\right). \qquad (12)$$

$$\begin{cases} x' = x \cdot \cos(\theta) + y \cdot \sin(\theta), \\ y' = -x \cdot \sin(\theta) + y \cdot \cos(\theta), \end{cases}$$

де λ – довжина хвилі множника-косинуса, θ – орієнтація нормалі паралельних смуг, ξ – зсув фаз, ψ – коефіцієнт стиснення.

Реалізація такого фільтру показана на рис. 11. Можна помітити, що при наявності параметрів *m, n* менше одниці, фільтр буде мати форму з багатьма "штрихами". При *m, n* більше одиниці, чорних штрихів як правило є два. Фільтр виконаний з параметром σ=1, стандартного відхилення гаусівського ядра.

ТОЛЬКО ДЛЯ ЧТЕНИЯ

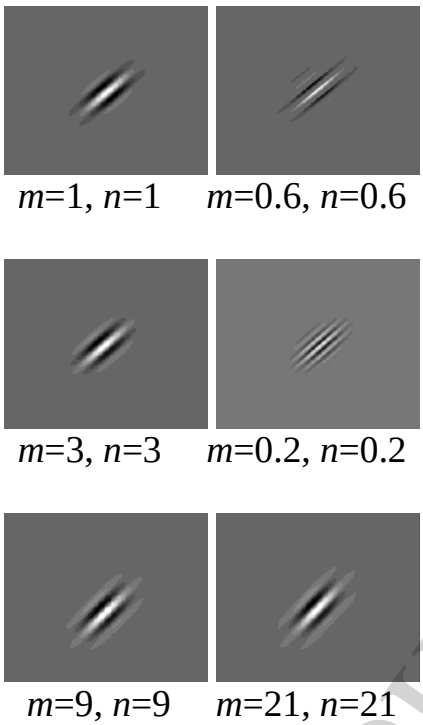

Рис. 11. *Ateb*-Gabor фільтр з параметрами *m*, *n* і $\sigma=1$

Показано розвинення фільтрації на основі двомірного *Ateb*-Габору. На рисунку 11 представлено фільтрацію *Ateb*-Габором. Зокрема перший рисунок з параметрами *m*=*n*=1 демонструє класичний фільтр Габора. На рис. 12 показано *Ateb*-Габор фільтр з параметрами *m*=0.2, *n*=0.2 та зі зміною кута θ=0, П/4, П/2, *З*П/4 та ψ=0, 0.1, 0.2, 0.6.

Розроблення даного фільтру дало можливість збільшити кількість наборів фільтрації більше ніж на 500 одиниць. Такий підхід дав можливість здійснити фільтрацію стосовно орієнтації папілом пальців конкретної ділянки зображення з врахуванням повороту та масштабу.

Не является переизданием

θ=0, ψ=0 θ=Π/4, ψ=0

θ=Π/2, ψ=0 θ=3Π/4, ψ=0

θ=0, ψ=0.1 θ=Π/4, ψ=0.1

θ=Π/2, ψ=0.1 θ=3Π/4, ψ=0.1

θ=0, ψ=0.2 θ=Π/4, ψ=0.2

θ=Π/2, ψ=0.2 θ=3Π/4, ψ=0.2

θ=0, ψ=0.6 θ=Π/4, ψ=0.6

θ=Π/2, ψ=0.6 θ=3Π/4, ψ=0.6

Рис. 12. Графічне представлення *Ateb-G* з параметрами *m*=0.2, *n*=0.2

ТОЛЬКО ДЛЯ ЧТЕНИЯ

7. Опрацювання зображення з застосуванням фільтра *Ateb* -Габора

Обробка зображення фільтром *Ateb*-Gabor досягається шляхом усереднення значень зображення в певній області в кожній точці. Рисунок для фільтрації має *v* і *w* пікселів відповідно до рядків та стовпців, а також поточних пікселів та *i*, *j*, які будуть змінені в результаті фільтрації. Відповідно, використання фільтра *Ateb*-Габор буде,

$$Ateb\text{-}I'(x,y)=\frac{1}{\sigma^2}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}I\left(x-\frac{n}{2}+i,y-\frac{m}{2}+j\right)Ateb\text{-}G(x,y,\lambda,\theta,\psi,\sigma,\zeta), \quad (13)$$

де *Ateb-I'*(*x*,*y*) – інтенсивність вхідного зображення в точці (*x*, *y*), $I'(x,y)$ – інтенсивність нового зображення в точці (*x*, *y*), *G*(*i*, *j*) – значення функції *Ateb*-Габора $x\in[1, v]$, $y\in[1, w]$.

Для використання фільтра *Ateb*-Габора необхідно знати значення наступних величин з формули (12):

1) направлення фільтра;

2) частоту синусоїдальної хвилі θ;

3) стандартне відхилення гаусівського ядра σ.

Частотна характеристика фільтра визначається з локальної частоти ω виступів, напрямок визначається локальною орієнтацією. Значення σ задаються при реалізації алгоритму. Чим більше будуть ці значення, тим більше фільтр буде стійкий до шумів. Проте при цьому буде вноситися більше спотворень, створюючи неіснуючі виступи і западини. Якщо вибрати значення σ низькими, фільтр не вноситиме спотворень, але його фільтруюча здатність знизиться. Це призведе до неефективного усунення шумів. Тому при підборі значень σ намагаються знайти компроміс між ефективністю фільтра і відсутністю внесених фільтром спотворень. Як правило ці параметри підбираються емпіричним шляхом [28].

При дослідженні папілом пальців є такі особливості [29, 30]. Для кожного відбитка пальця можна визначити два типи ознак – глобальні та локальні [31]. Глобальні ознаки можна побачити неозброєним оком. Локальні ознаки –. це особливості напрямку папілярних ліній, які є унікальними для кожного відбитка [32, 33]. Виділення пов'язано з тим, що лінії відбитків пальців не є прямими. Вони часто зламані, розгалужені, змінюють напрямок і мають розриви. Точки, в яких лінії закінчуються, розгалужуються або змінюють напрямок називають мінуціями [33]. Ці точки забезпечують унікальну інформацію про відбиток пальця при ідентифікації особистості. Кожен відбиток містить до 70 мінуцій [33].

Здійснено визначення співвідношень між частотою та шириною фільтра *Ateb*-Габора, що дозволило автоматично виконувати фільтри для знаходження країв об'єктів з різними частотами, розмірами та напрямками. Запропоновано спосіб видалення середньої складової фільтра *Ateb*-Габора, що дозволяє знизити величину середнього фільтра до нуля, не деформуючи фільтр. Результати численних експериментів демонструють успішне виділення країв на зображенні на основі отриманих в роботі параметрів фільтра *Ateb*-Габора.

Не является пособием

Нижче наведено фрагмент коду, який обчислює значення *Ateb*-функцій. У роботах [25–27] було використано чисельні методи для обчислення *Ateb-ca*. У даному дослідженні застосовано *odeint* з бібліотеки *Python scipy*. Результати фільтра *Ateb*-Габор, який фільтрує відбитки пальців, показані на рис. 13.

```
#calculating of the Ateb-functions
#based on the solution of the differential equation

alpha = -1
betha = 1

n = 1
m = 1
P = period(m, n)
num = 100000;
def model(z,t):
dxdt = -alpha* z[1]**n #pow(z[1],n)
dydt = -betha*z[0]**m
dzdt = [dxdt,dydt]
return dzdt

# initial condition
z0 = [0,1]

# time points
t = np.linspace(0,P, num)

# solve ODE
z = odeint(model,z0,t)
#z consistst of the ca values
```

На рис. 13 представлено фільтрацію *Ateb*-Gabor з різними параметрами *m* and *n*. Проводячи дослідження, можна зробити висновок, що при *m*=*n*=3 та *m*=*n*=7 дають найкращі результати фільтрації.

Результати фільтрації, які показані на рис. 13, виконані у Pyton 3 без використання сторонніх бібліотек, зв’язаних з обробкою зображень. Програма є прототипом робочої версії без оптимізації алгоритму по часу роботи програми. Алгоритм може бути прискорений шляхом використання розкладів в ряди Фур’є при виконанні операції згортки, а також при паралельній обробці окремих сегментів зображення.

Только для чтения

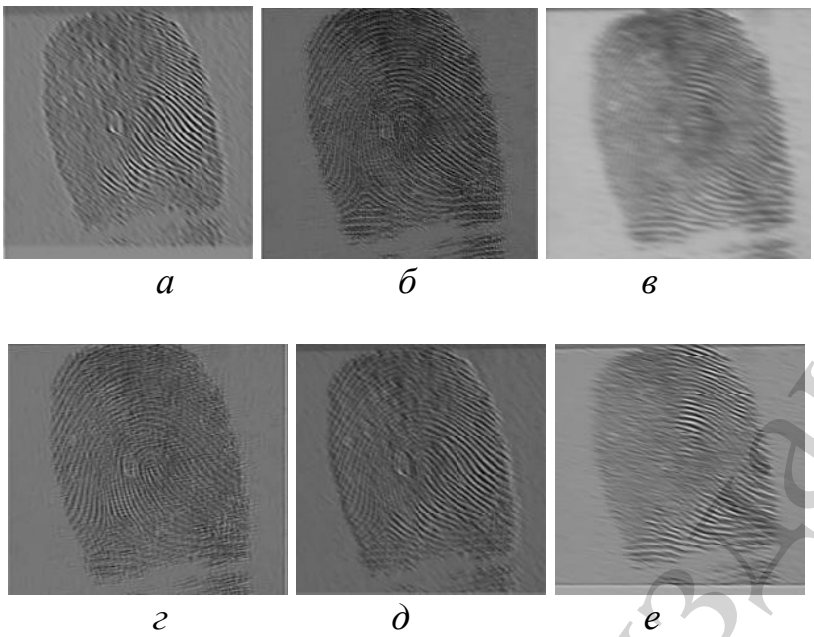

Рис. 13. Результати фільтрації *Ateb*-Gabor фільтром з різними параметрами: *а* – *m*=1.2, *n*=5, *б* – *m*=11, *n*=11, *в* – *m*=41, *n*=41, *г* – *m*=3, *n*=3, *д* – *m*=7, *n*=7, *е* – *m*=1, *n*=1

8. Обговорення результатів дослідження ефективності нового фільтра *Ateb*-Габора

Показано, що новий фільтр Ateb-Габора володіє значно більшою функціональністю, оскільки базується на новому математичному апараті, який розширює елементарні тригонометричні функції. Це дало змогу збільшити кількість варіантів використання видозмінених зображень. Таким чином, новий метод фільтрації дозволить провести ідентифікацію у біометричних зображеннях та забезпечить кращі показники якості. Це дасть змогу використовувати фільтрацію один раз, уникнувши багаторазової фільтрації, що скоротить час опрацювання біометричних зображенн.

Виявлено закономірності у властивостях одномірного фільтра Ateb-Габора, які полягають у введенні раціональних параметрів *m* та *n* та використанні періодичної Ateb-функції, що є перевагою розробленого способу фільтрації.

У дослідженні реалізовано спосіб генерації нових швидких варіантів фільтрації, які грунтуються на розширенні наборів фільтрації, що дає змогу ефективніше знайти краї об’єктів у біометричних зображеннях. А в результаті виконати ідентифікацію та розпізнавання біометричних зображень.

Дане дослідження можна використовувати при розпізнаванні біометричних зображень. Застосування нового фільтра Ateb-Габора дає можливість здійснювати фільтрацію з врахуванням повороту та масштабу папілом пальців конкретної ділянки зображення. У дослідженні здійснено фільтрацію з параметрами *m*=*n* і зовсім невирішеним завданням є проведення фільтрації *m*≠*n*, і якого впливу при цьому зазнають біометричні зображення.

Недоліком вважаємо, що не здійснювалося обчислення складності алгоритму фільтрації *Ateb*-Габора. Також не приведено часових досліджень фільтрації

Не является переизданием

розробленим фільтром та порівняння з часом фільтрації традиційним фільтром Габора. Такі дослідження вимагають великих ресурсозатрат та можуть бути розвинені у нових роботах. Невирішеними питаннями залишилися розроблення пошуку ефективних алгоритмів зміни напрямку орієнтації фільтра *Ateb*-Габора стосовно напрямку папілярних ліній біометричного зображення для побудови векторного формату зображення.

Розвитком даного дослідження вважаємо виправлення вказаних недоліків, після чого фільтр Ateb-Габора набуде універсальності та багатоварінтності, після чого можна обгрунтувати рекомендації щодо його застосування.

Дане дослідження є корисне у побудові систем розпізнавання біометричних зображень, які набули швидкого розвитку останнім часом і є актуальні. У майбутньому планується здійснити аналіз зображення при фільтрації з параметрами *Ateb*-Габора, де $m \neq n$ та виконати ідентифікацію.

9. Висновки

1. Виявлено закономірності у властивостях фільтра *Ateb*-Габора. Вони полягають у тому, що даний фільтр базується на математичному апараті Ateb-функцій та функції Габора. Ateb-функції дають змогу отримати значення розв'язків диференціальних рівнянь зі степеневою нелінійністю і залежать від двох раціональних параметрів *m* та *n*. Фільтр *Ateb*-Габора завдяки цим параметрам набуває нових характеристик при фільтрації. Зміна параметрів *m* і *n* забезпечує нові значення періоду *Ateb*-Габора, що дає можливість розширити кількість наборів фільтрації. Це дало можливість проводити одноразову фільтрацію, уникнувши багаторазового фільтрування і дозволяє значно скоротити час обробки біометричного зображення.

2. Побудовано та досліджено властивості Ateb-функцій. Досліджено, що Ateb-функції є узагальненням тригонометричних функцій. Обчислено період Ateb-функцій для періодичної функції. Виявлено закономірності в одномірному та двомірному фільтрі *Ateb*-Габора. Фільтрація *Ateb*-Габором дала можливість отримати більшу кількість пологих форм та значно збільшити кількість наборів фільтрації. Розроблення даного фільтру дало можливість збільшити кількість наборів фільтрації більше ніж на 500 одиниць. Фільтрація двомірним фільтром *Ateb*-Габора проводилась з врахуванням орієнтації повороту та масштабу папілом пальців конкретної ділянки зображення.

3. Здійснено визначення співвідношень між частотою та шириною фільтра *Ateb*-Габора, що дозволило здійснювати фільтрацію для знаходження країв об'єктів з різними частотами, розмірами та напрямками. Результати численних експериментів демонструють успішне виділення країв на зображенні на основі отриманих в роботі параметрів фільтра *Ateb*-Габора.

Література

1. Biometrics Market and Industry Report 2009–2014 // International Biometric Group. 2007.

2. Handbook of Fingerprint Recognition / Maltoni D., Maio D., Jain A. K., Prabhakar S. Springer, 2009. 494 p. doi: https://doi.org/10.1007/978-1-84882-254-2

Только для чтения

3. Lee T. S. Image representation using 2D Gabor wavelets // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1996. Vol. 18, Issue 10. P. 959–971. doi: https://doi.org/10.1109/34.541406

4. Sebe N. Image retrieval using wavelet-based salient points // Journal of Electronic Imaging. 2001. Vol. 10, Issue 4. P. 835. doi: https://doi.org/ 10.1117/ 1.1406945

5. Data protection based on encryption using Ateb-functions / Nazarkevych M., Oliarnyk R., Troyan O., Nazarkevych H. // 2016 XIth International Scientific and Technical Conference Computer Sciences and Information Technologies (CSIT). 2016. doi: https://doi.org/10.1109/stc-csit.2016.7589861

6. Senik P. M. Inversion of the incomplete beta function // Ukrainian Mathematical Journal. 1970. Vol. 21, Issue 3. P. 271–278. doi: https://doi.org/ 10.1007/ bf01085368

7. Sree Vidya B., Chandra E. Multimodal biometric hashkey cryptography based authentication and encryption for advanced security in cloud // Biomedical Research. 2018. doi: https://doi.org/10.4066/biomedicalresearch.29-17-1766

8. Russell S. J., Norvig P. Artificial intelligence: a modern approach. Malaysia; Pearson Education Limited, 2016.

9. Meitram R., Choudhary P. Palm Vein Recognition Based on 2D Gabor Filter and Artificial Neural Network // Journal of Advances in Information Technology. 2018. Vol. 9, Issue 3. P. 68–72. doi: https://doi.org/10.12720/jait.9.3.68-72

10. Akin C., Kacar U., Kirci M. A Multi-Biometrics for Twins Identification Based Speech and Ear // arXiv. 2018. URL: https://arxiv.org/ftp/arxiv/ papers/1801/ 1801.09056.pdf

11. Arif A., Li T., Cheng C.-H. Blurred fingerprint image enhancement: algorithm analysis and performance evaluation // Signal, Image and Video Processing. 2017. Vol. 12, Issue 4. P. 767–774. doi: https://doi.org/10.1007/s11760-017-1218-0

12. Andrew A. M. Handbook of fingerprint recognition, by Davide Maltoni, Dario Maio, Anil K. Jain and Salil Probhakar, Springer, New York, 2003, hardback, xii + 348 pp., with DVD-ROM, ISBN 0-387-95431-7 (£46.00) // Robotica. 2004. Vol. 22, Issue 5. P. 587–588. doi: https://doi.org/10.1017/s026357470422094x

13. Gottschlich C. Curved-Region-Based Ridge Frequency Estimation and Curved Gabor Filters for Fingerprint Image Enhancement // IEEE Transactions on Image Processing. 2012. Vol. 21, Issue 4. P. 2220–2227. doi: https://doi.org/ 10.1109/tip.2011.2170696

14. Gopi K. Fingerprint Recognition Using Gabor Filter And Frequency Domain Filtering // IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering. 2012. Vol. 2, Issue 6. P. 17–21. doi: https://doi.org/10.9790/2834-0261721

15. Adaptive Fingerprint Image Enhancement With Emphasis on Preprocessing of Data / Bartunek J. S., Nilsson M., Sallberg B., Claesson I. // IEEE Transactions on Image Processing. 2013. Vol. 22, Issue 2. P. 644–656. doi: https:// doi.org/10.1109/tip.2012.2220373

Не является публикацией

16. Orthogonal curved-line Gabor filter for fast fingerprint enhancement / Mei Y., Chen S., Zhou Y., Zhao B. // Electronics Letters. 2014. Vol. 50, Issue 3. P. 175–177. doi: https://doi.org/10.1049/el.2013.2619

17. Kassis M., El-Sana J. Scribble Based Interactive Page Layout Segmentation Using Gabor Filter // 2016 15th International Conference on Frontiers in Handwriting Recognition (ICFHR). 2016. doi: https://doi.org/10.1109/icfhr.2016.0016

18. Jones J. P., Palmer L. A. An evaluation of the two-dimensional Gabor filter model of simple receptive fields in cat striate cortex // Journal of Neurophysiology. 1987. Vol. 58, Issue 6. P. 1233–1258. doi: https://doi.org/10.1152/ jn.1987.58.6.1233

19. Grigorescu S. E., Petkov N., Kruizinga P. Comparison of texture features based on Gabor filters // IEEE Transactions on Image Processing. 2002. Vol. 11, Issue 10. P. 1160–1167. doi: https://doi.org/10.1109/tip.2002.804262

20. Ali M. A. M., Tahir N. M. Half iris Gabor based iris recognition // 2014 IEEE 10th International Colloquium on Signal Processing and its Applications. 2014. doi: https://doi.org/10.1109/cspa.2014.6805765

21. Bazen A. M., Gerez S. H. Fingerprint matching by thin-plate spline modelling of elastic deformations // Pattern Recognition. 2003. Vol. 36, Issue 8. P. 1859–1867. doi: https://doi.org/10.1016/s0031-3203(03)00036-0

22. Petrovic V. S., Xydeas C. S. Gradient-Based Multiresolution Image Fusion // IEEE Transactions on Image Processing. 2004. Vol. 13, Issue 2. P. 228–237. di: https://doi.org/10.1109/tip.2004.823821

23. Struble R. A. Nonlinear differential equations. Courier Dover Publications, 2018. 288 p.

24. Сеник П. М., Возный А. М. Численное обращение одного класса неполной Beta-функции // Математическая физика. 1973. № 14. С. 160–164.

25. Gricik V. V., Nazarkevich M. A. Mathematical models algorythms and computation of Ateb-functions // Dopovidi NAN Ukraini Seriji A. 2007. Issue 12. P. 37–43.

26. Nazarkevych M., Hladets A. Development of software package for the encryption of electronic documents means Ateb-functions // Bulletin of the Lviv Polytechnic National University, Computer Science and Information Technology. 2009. Issue 638. P. 55–61.

27. The method of encryption based on Ateb-functions / Nazarkevych M., Oliiarnyk R., Nazarkevych H., Kramarenko O., Onyshschenko I. // 2016 IEEE First International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP). 2016. doi: https://doi.org/10.1109/dsmp.2016.7583523

28. Handbook of fingerprint recognition / Maltoni D., Maio D., Jain A. K., Prabhakar S. Springer, 2009. doi: https://doi.org/10.1007/978-1-84882-254-2

29. Handbook of Fingerprint Recognition / Maltoni D., Maio D., Jain A. K., Prabhakar S. Springer, 2003.

30. Fingerprint matching using minutiae and texture features // Proceedings 2001 International Conference on Image Processing (Cat. No.01CH37205). 2002. doi: https://doi.org/10.1109/icip.2001.958106

Только для чтения

31. Impact of artificial "gummy" fingers on fingerprint systems / Matsumoto T., Matsumoto H., Yamada K., Hoshino S. // Optical Security and Counterfeit Deterrence Techniques IV. 2002. doi: https://doi.org/10.1117/12.462719

32. Model of stegosystem images on the basis of pseudonoise codes / Riznik O., Yurchak I., Vdovenko E., Korchagina A. // In Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH), 2010 Proceedings of VIth International Conference. 2010.

33. Fries M., Fischbach R., Houdeau D. U.S. Pat. No. 6.347.040. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office, 2002.

Не является переизданием