



DOI 10.28925/2663-4023.2019.4.7284

УДК 004.056.5: 655.25

**Назаркевич Марія Андріївна**

доктор технічних наук, професор

професор кафедри інформаційних технологій видавничої справи

Національний університет "Львівська політехніка", Львів, Україна

OrcID 0000-0002-6528-9867

*mariia.a.nazarkevych@lpnu.ua***Возний Ярослав Васильович**

аспірант

Національний університет "Львівська політехніка", Львів, Україна

OrcID ID 0000-0002-5481-9973

*voznuyy@outlook.com***Троян Оксана Анатоліївна**

асистент

Національний університет "Львівська політехніка", Львів, Україна

OrcID ID 0000-0003-4857-8613

*troyan.oxana@gmail.com*

## УЗАГАЛЬНЕННЯ ФІЛЬТРІВ ГАБОРА НА ОСНОВІ АТЕВ-ФУНКЦІЙ

**Анотація.** При фільтрації зображень намагаються досягти збільшення чіткості. Існує велика кількість фільтрів, яка дозволяє наблизити зображення з чіткими границями. Окрім цього при оцифруванні зображень присутні шуми. Одним з найрозповсюджених видів фільтрації є фільтр Габора. Він дозволяє відновити зображення із виділенням контурів в деякій частоті. Його ядро виглядає як елементи базиса Фур'є, яка помножена на гауссіану. Широке застосування фільтрів Габора для фільтрації обумовлено тим, що він дає сильну реакцію у тих точках зображення, де є компонент із локальними особливостями частоти в просторі та орієнтації. Запропоновано використовувати фільтр Ateb-Габора, який значно розширює загальновідомий фільтр Габора. Фільтр Ateb-Габора поєднує всі властивості гармонічної функції, яка множить на гауссіану. У якості гармонічних функцій запропоновано вжити Ateb-функції, які значно розширюють дію тригонометрії. Розроблений фільтр застосовано до зображень. Фільтр Ateb-габора залежить від частоти і напрямків квазіперіодичної структури зображення. Зазвичай, для спрощення завдання розраховується середня частота зображення. Вона є незмінною в кожній точці. Приведено фільтрацію зображень на основі узагальненого фільтру Ateb-Габора. Досліджено вплив параметрів фільтрації на зображеннях. Досліджено властивості періодичних Ateb-функцій. Обчислено значення періоду, від яких залежать результати фільтрації. Фільтрація Ateb-Габором дала змогу забезпечити ширші результати, ніж класичний фільтр Габора. Одномірний фільтр Габора на основі Ateb-функцій дає можливість отримати більш пологі чи більш опуклі форми функції на максимумі, що викладено у даному дослідженні. Таким чином можна реалізувати фільтрацію із більшим спектром кривих. Це дає можливість швидкої ідентифікації, оскільки розроблено універсальніший вид фільтрації.

**Ключові слова:** фільтрація, фільтр Габора, фур'є перетворення.



## 1. ВСТУП

У будь-якій системі мультимедіа використовується передача зображень. При передачі, оцифруванні чи стисненні, якість зображення може погіршитися. Це може проявлятися при виникненні шуму. Шумозаглушення використовують для поліпшення візуального сприйняття. В медицині шумозаглушення використовують для збільшення чіткості зображення на рентгенівських знімках. Також шумозаглушення використовують для попередньої обробки для наступного розпізнавання.

Джерела шуму можуть бути різними. Це - неякісне обладнання для створення фото, погані умови зйомки чи недостатні розміри матриці фотоапарата. При скануванні шуми виникають при влученні сторонніх часток пилу на оригінал. Також шуми виникають при невірних параметрах сканування. У випадку, коли зображення було отримано за допомогою оцифрування на ньому, також присутній шум.

Будь-які спотворення, перешкоди, шуми погіршують візуальне сприйняття та ускладнюють автоматичну обробку. Наявність шумів негативно впливає на естетичну якість зображення. Ослаблення дій перешкод досягається фільтрацією. Під фільтрацією розуміють операцію, у результаті якої є зображення, отримане того ж розміру, як і вхідне, з певними перетвореннями.

За допомогою автоматичного аналізу можна суттєво підвищити якість зображень. Аналізу існуючих методів розпізнавання об'єктів та вдосконалення методу фільтрації зображень присвячено багато досліджень [1].

У цій роботі досліджуються методи фільтрації зображень, що дозволяють знижувати дію шумів і перешкод, а також розширюються найбільш ефективні методи фільтрації. Найпростіший метод фільтрації - це бінаризація по порозу. Для формату RGB зображень і зображень у градаціях сірого порогом є значення кольору.

До розв'язку задачі зменшення шуму, проводиться дослідження методів фільтрації, що дозволяють зменшити вплив спотворень на зображення. Під фільтрами розуміють правила, відповідно до яких здійснюється фільтрація.

Найпростіший варіант фільтрації полягає у присвоєнні центральному пікселю нового значення, яке є середньоарифметичним усіх його сусідніх пікселів, значення яких відрізняється від значення центрального не більше, ніж на деякий поріг. До таких фільтрів належать круговий усереднюючий фільтр, гаусівський фільтр, гаусівська фільтрація, медіанна фільтрація, вінерівська фільтрація і т.п [2].

## 2. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Методи розпізнавання зображень, в яких ознаками є яскравості окремих контрастів, часто не враховують взаємне розміщення цих контрастів. Перспективним виявився метод, який заснований на використанні фільтру Габора.

Відомо одномірний та двомірний фільтр Габора. Запропоновано узагальнений фільтр Габора на основі Ateb-функцій, який розширить можливості фільтрації. За допомогою фільтра Ateb-Габора можна здійснювати фільтрацію зі змінною площиною та контрастністю та методом зміни.

### 3. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Однією з найважливіших етапів обробки біометричної інформації є попередня обробка зображень. У багатьох випадках інформативнішими є геометричні характеристики межі об'єктів цих зображень – краї, які служать важливими ознаками для класифікації зображених об'єктів і сприйняття зображення в цілому [3].

Фільтрація зображень є актуальним завданням, оскільки стосується реконструкції зображення шляхом зміни інтенсивності пікселів. Знаходження зміни інтенсивності таким способом, аби контури зображення були би чіткими з виділенням інформаційних ознак розглядається в працях [4].

Відомо, що для зменшення крайових спотворень застосовують різні способи фільтрації [5, 6]. Перший з них передбачає виділення матриці пікселів зображення з наступним порівнянням параметрів кожного пікселя матриці з параметрами сусідніх пікселів. При цьому використовуються кілька компараторів за результатами роботи яких коректують параметри даного пікселя. При використанні другого способу фільтрація автоматично застосовується до пікселів чорно-білого динамічного зображення. При цьому кутова орієнтація матриці коефіцієнтів анізотропного фільтра [7], визначається як вагова функція пікселів. Актуальність обговорюваного питання обумовлюється недоліком приведених способів, тобто неможливістю контролю користувачем величини згладжування зображення та фіксована кількість напрямків анізотропної фільтрації, що не дозволяє у достатньому ступені поліпшити якість зображення [8].

Для виділення контурів об'єктів на зображенні розроблено багато різних методів, які класифікують як: методи високочастотної фільтрації; методи просторового диференціювання; методи функціональної апроксимації [9]. Проте контури виділяються недостатньо ефективно.

Одержують розмиті перепади інтенсивності зображень при дискретизації та оптичних обмеженнях та при невизначеності елементів системи. Причому ступінь розфокусування визначається якістю системи реєстрації, кроком дискретизації та умовами освітлення, при яких зображення було отримане.

На практиці, як правило, використовують прості в реалізації способи відновлення, які є наближеними при будь-яких характеристиках сигналу. Найчастіше використовують відновлення за допомогою поліноміальної інтерполяції [10], при якій вхідне зображення та відновлене збігаються у вузлах інтерполяції. При цьому вузлами є центри пікселів з відповідним значенням інтенсивності. У випадку використання простих типів інтерполяції, наприклад, несиметричної або симетричної, відновлення виконується з великою похибкою.

### 4. ОДНОМІРНИЙ ФІЛЬТР ГАБОРА

Наявність алгоритму швидкого перетворення Фур'є для комп'ютерних систем дозволяє перенести оброблення зображень від маніпуляцій з числовими значеннями яскравості окремих пікселів до оброблення сигналу, що отримується після проведення швидкого перетворення Фур'є над зображенням. Можливість представлення зображення у вигляді Фур'є-образу дає можливість застосувати фільтри, що застосовуються в обробленні сигналів. Дослідження ефективності частотних фільтрів в обробленні зображень дасть цінну інформацію про особливості їх застосування.

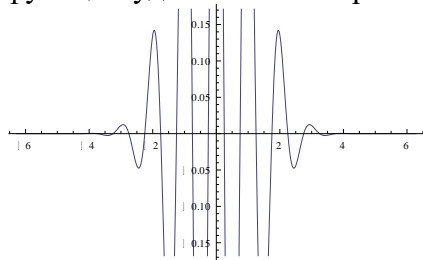
Одним зі складностей перетворення Фур'є є те, що значення коефіцієнта Фур'є залежать від цілого зображення. Для обчислення значення Фур'є-образу окремого вектора, використовуються усі пікселі зображення. Це є незручний спосіб роботи із зображенням, оскільки втрачається інформація в просторі. Якщо розмірковувати в термінах просторових частот, які визначені тільки локально, то це явище можна рахувати зміною вмістимого зображення при переміщенні по ньому. Так, в деякому вікні навколо точки, вузькі полоси виглядають з високою просторовою частотою, а широкі полоси – навпаки, з низькою просторовою частотою [11]. Цих недоліків не мають фільтри Габора. Їх ядра виглядають як елементи базиса Фур'є, що помножені на гауссіани[12]. Таким чином фільтри Габора дають сильну реакцію у тих точках зображення, де є компонент із локальними особливостями частоти в просторі та орієнтації.

Для побудови одномірного фільтра Габора використовується формула:

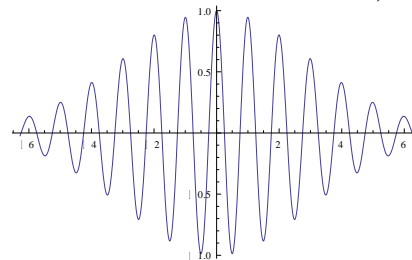
$$g(z) = e^{-\frac{z^2}{2\sigma^2}} \cos(2\pi\theta z), \quad (1)$$

де  $\sigma$  – стандартне відхилення гаусівського ядра, яке визначає амплітуду функції,  $\omega$  – частота коливань, яка визначається як  $\omega = \frac{1}{T}$ , де  $T$  – період функції  $\cos(2\pi\omega z)$ .

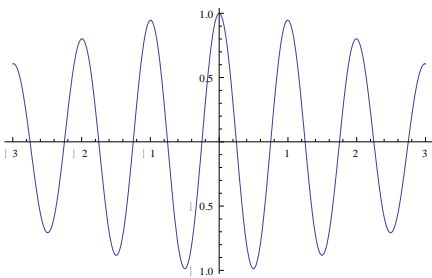
Чи більше  $\sigma$  – тим форма функції стає пологішою, чим менше  $\sigma$  – тим форма функції буде матиме гострий пік, див. рис. 1. Чим більше значення  $\sigma\omega$ ,  $\theta$



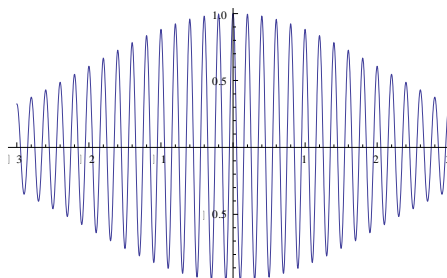
Одномірний фільтр Габора з параметрами  $\sigma = 1$ ,  $\theta = 1$



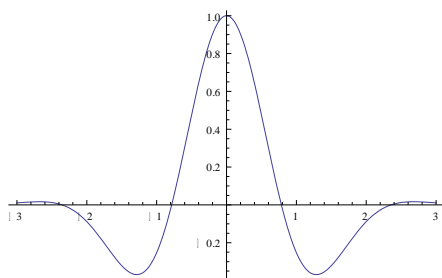
Одномірний фільтр Габора з параметрами  $\sigma = 1$ ,  $\theta = 5$



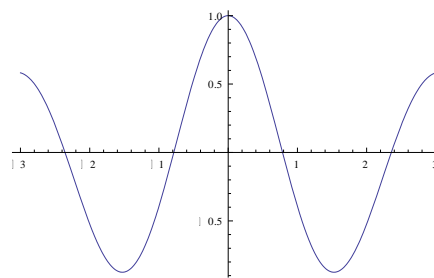
Одномірний фільтр Габора з параметрами  $\sigma = -3$ ,  $\theta = 1$



Одномірний фільтр Габора з параметрами  $\sigma = 2$ ,  $\theta = 5$



Одномірний фільтр Габора з параметрами  $\sigma = 1$ ,  $\theta = 1/\pi$



Одномірний фільтр Габора з параметрами  $\sigma = 5$ ,  $\theta = 1/\pi$

Рис 1. Графічне представлення одномірного фільтру Габора з певними параметрами

## 5. ФІЛЬТРАЦІЯ ЗОБРАЖЕНЬ

З формули (1) видно, що фільтр залежить від частоти і напрямків квазіперіодичної структури зображення. Зазвичай, для спрощення завдання розраховується середня частота зображення. Вона є незмінною в кожній точці.

Для побудови поля напрямків може застосовуватися кілька способів, найбільш швидким з яких є диференціальний метод. Він дозволяє побудувати чотирьохградіційне поле напрямків.

Таким чином, маючи частоту і чотири напрямки, попередньо будуються 4 фільтри Габора по одному на кожен з напрямків. Після чого в кожній точці зображення відбувається згортка фільтра із зображенням по певній галузі, що дає вихідне значення нового зображення.

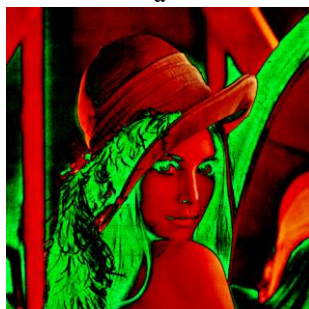
Візьмемо тестове зображення і застосуємо до нього одномірний фільтр Габора з такими ж параметрами, які представлені на рис. 1.

Як бачимо на рисунку 2а та 2в, фільтрація добре проведена у зеленому каналі, синій канал став непомітним і багато дрібних деталей є втрачено. Якщо порівнювати між собою рис. 2а та 2в, то 2в рисунок виглядає інформативнішим. Найкращими результатами фільтрації є на рис. 2б та 2г. Спостерігається перетворення зображення на дрібніші частинки. Це досягається вибором частоти коливань  $\omega = 5$ . На рис. 2а та 2в, коли фільтрація відбувається лише з перетворенням одного максимуму функції, отримуємо зображення з характеристиками, які подібні до негативу.

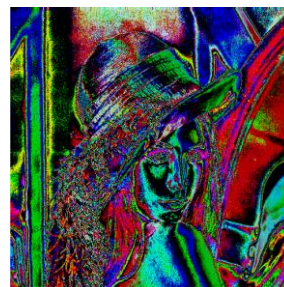


Одномірний фільтр Габора з параметрами  $\sigma = 1, \theta = 1$

а

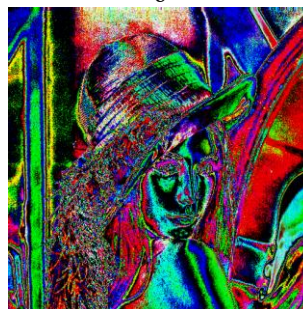


Одномірний фільтр Габора з



Одномірний фільтр Габора з параметрами  $\sigma = 1, \theta = 5$

б



Одномірний фільтр Габора з

параметрами  $\sigma = -3, \theta = 1$

параметрами  $\sigma = 2, \theta = 5$



Одномірний фільтр Габора з параметрами  $\sigma = 1, \theta = 1/\pi$

Д



Одномірний фільтр Габора з параметрами  $\sigma = 5, \theta = 1/\pi$

Е

*Рис 2. Фільтрація зображення одномірним фільтром Габора з відповідними параметрами*

Таким чином, підбираючи коефіцієнти  $\sigma$  та  $\theta$  можна покращити результати фільтрації.

У цьому дослідженні запропоновано розширити можливості фільтру Габора, вводячи математичний апарат Атеб-функцій.

## 5. ВЛАСТИВОСТІ АТЕВ-ФУНКЦІЙ

Запропоновано узагальнення для фільтру Габора на основі періодичної Атеб-функцій [13]. Атеб-косинус-функція  $y = ca(m, n, \omega)$ . Опишемо властивості періодичного Атеб-косинусу, які важливі для реалізації вдосконаленого фільтру Габора. Форма функції є неперервною кривою з періодом  $T = 2\Pi(m, n)$ . Перетин з

віссю  $\omega$  в точках  $(k + \frac{1}{2}) \cdot \Pi(m, n), k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$  відбувається під кутом

$\gamma = \pm \arctg \frac{2}{m+1}$ . Екстремуми досягаються в точках  $k\Pi(m, n), k \in Z$  і відповідно рівні

$(-1)^k$ .

Функція  $ca(m, n, \omega)$  має область визначення  $(-\infty; +\infty)$  та множину значень  $[-1; +1]$ .

З властивості періодичності випливає:

$$ca[m, n, \Pi(m, n) + \omega] = -ca(m, n, \omega)$$

$$ca[m, n, 2\Pi(m, n) - \omega] = -ca(m, n, \omega)$$

$$ca[m, n, 2\Pi(m, n) + \omega] = ca(m, n, \omega).$$

Таблиця 1.

**Значення  $\Pi(m, n)$  для Атеб-функцій**

$2\Pi(1, 0.5)=5,17422$	$2\Pi(0.1, 1)=4,40209$
$2\Pi(1, 1/3)=4.79256$	$2\Pi(1, 1)= 6.28319$
$2\Pi(1, 1/4)= 4.59857$	$2\Pi(5, 1)= 14.5719$
$2\Pi(1, 1/5)=4,48101$	$2\Pi(10, 1)= 24.6569$
$2\Pi(1, 1/6)=4,40209$	$2\Pi(10, 0.1)= 22.3019$

## 6. УЗАГАЛЬНЕННЯ ДЛЯ ОДНОМІРНОГО ФІЛЬТРУ ГАБОРА

Врахувавши вище вказані властивості, отримуємо узагальнений одномірний фільтр Габора на основі Атеб-функцій. Він матиме вигляд:

$$g(m, n, \omega) = e^{-\frac{\omega^2}{2\sigma^2}} \text{ca}(m, n, 2\Pi, \theta, \omega)$$

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

Графічне представлення узагальненого фільтру Габора показано на рис.3

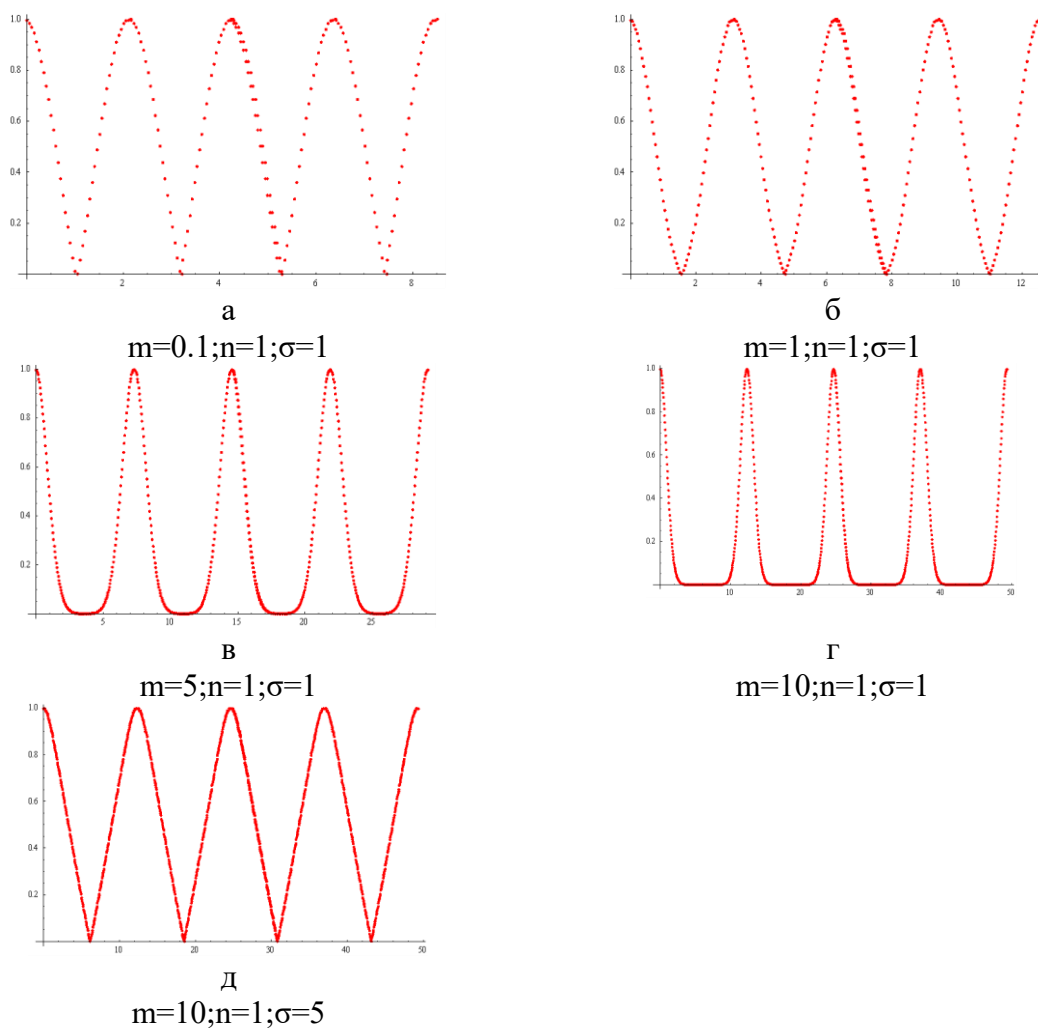


Рис 3. Графічне представлення узагальненого одномірного фільтру Габора з певними параметрами  $a - m=0.1; n=1; \sigma=1;$ ;  $b - m=1; n=1; \sigma=1;$ ;  $v - m=5; n=1; \sigma=1;$ ;  $z - m=10; n=1; \sigma=5$

На основі узагальненого фільтру Габора на основі Ateb-функцій можна здійснити фільтрацію зображень з великою кількістю гребенів. Це може забезпечити кращі характеристики, аніж одномірний фільтр Габора. Одномірний фільтр Габора на основі Ateb-функцій дає можливість отримати більш пологі чи більш опуклі форми функції на максимумі, що видно із рис. 3. Таким чином можна реалізувати фільтрацію із більшим спектром кривих.

## 7 ЗАСТОСУВАННЯ УЗАГАЛЬНеноГО ФІЛЬТРУ ГАБОРА ДО ЗОБРАЖЕНЬ

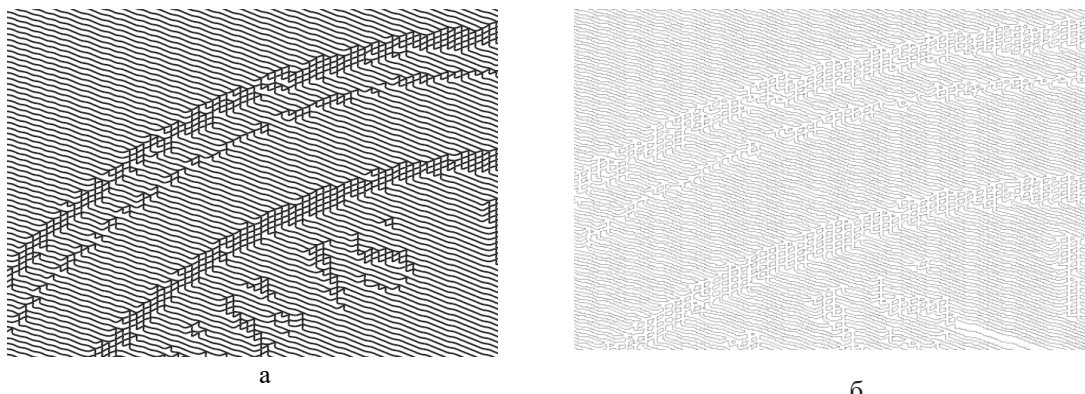


Рис.4 а - зображення перед фільтрацією, б – зображення з фільтрацією на основі одномірного фільтру Габора з параметрами  $m=5; n=1; \sigma=1$

Як видно з рис.4 – зображення, яке відфільтроване на основі узагальненого фільтру Габора залишаються дрібні деталі. Реалізація даної фільтрації застосовується для трасування та векторизації біометричних зображень [14].

## 8. ДВОМІРНИЙ ФІЛЬТР ГАБОРА

Фільтр Габора - лінійний електронний фільтр, імпульсна перехідна характеристика якого визначається у вигляді гармонічної функції, помноженої на функцію Гауса [15]. Через властивість відповідності згортки в частотній області множенню у часовій області, перетворення Фур'є імпульсної передавальної характеристики фільтру Габора є згортокою перетворень Фур'є гармонічної функції і функції Гауса

$$g(x, y, \sigma, \psi, \lambda) = e^{-\frac{x'^2 + yy'^2}{2\sigma^2}} \cos\left(2\pi \frac{x'}{\lambda} + \psi\right) \quad (2)$$

де

$$\begin{aligned} x' &= x \cos \theta + y \sin \theta \\ y' &= -x \sin \theta + y \cos \theta \end{aligned} \quad (3)$$

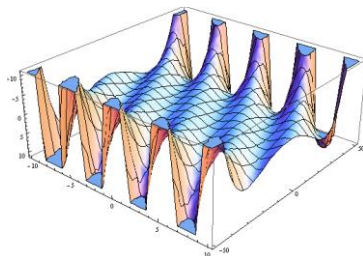


У цьому рівнянні являє собою довжину хвилі множника-косинуса, визначає орієнтацію нормалі паралельних смуг функції Габора в градусах,  $\psi$  - зсув фаз у градусах  $i$  - коефіцієнт стиснення, що характеризує еліптичність функції Габора [16].

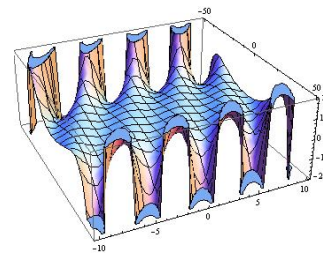
Нижче подано графічне представлення двомірного фільтру Габора. Графіки побудовані на основі коду, який реалізовано у Wolfram Mathematica:

```
Plot3D[{Exp[(x*Cos[θ]+y*Sin[θ])^2+φ^2*(-x*Sin[θ]+y*Cos[θ])^2]/(2*σ*σ)]*Cos[2*Pi*(x*Cos[θ]+y*Sin[θ])/λ+ψ]}, {x, -50, 50}, {y, -10, 10}, RegionFunction->Function[{x, y, z}, -80 < Exp[(x*Cos[θ]+y*Sin[θ])^2+φ^2*(-x*Sin[θ]+y*Cos[θ])^2]/(2*σ*σ)]*Cos[2*Pi*(x*Cos[θ]+y*Sin[θ])/λ+ψ] < 80]}
```

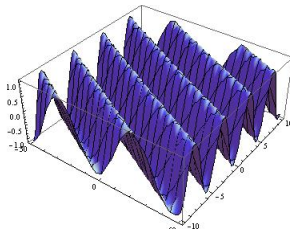
Результати графічної побудови показані на рис. 5.



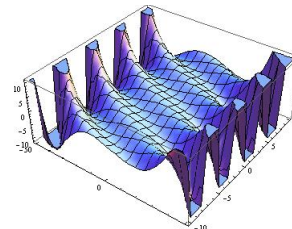
a)  $u=0.1; v=0.95; \sigma=60; \phi=10; \psi=0.5;$   
 $\lambda=5$



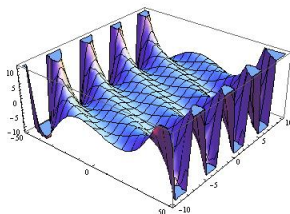
b)  $u=0.1; v=0.95; \sigma=60; \phi=8; \psi=0.5;$   
 $\lambda=5$



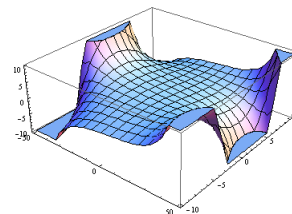
c)  $u=0.1; v=0.95; \sigma=60; \phi=80; \psi=0.5;$   
 $\lambda=5$



d)  $u=0.1; v=0.95; \sigma=1; \phi=10; \psi=0.5;$   
 $\lambda=5$



e)  $u=0.1; v=0.95; \sigma=1; \phi=10; \psi=0.5; \lambda=5$



f)  $u=0.1; v=0.95; \sigma=1; \phi=10; \psi=0.5;$   
 $\lambda=20$

Рис. 5. Графічне представлення двомірного фільтру Габора з певними параметрами

Підбираючи параметри відхилення гаусівського ядра  $\sigma$  - отримуємо різну амплітуду функції [17, 18]. Зокрема, на рис. с)  $\sigma = 80$  бачимо чіткі гребені. Змінюючи  $\psi$  - зсуваються гребені функції,  $\phi$  - параметр стиснення  $\lambda$  - довжина хвилі [19, 20].

Зміна довжини хвилі особливо помітна на рис. е. На рис. ф)  $\lambda=20$ , а на всіх решта рисунках  $\lambda=5$ .

## 9. ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для ефективної обробки зображень використовується фільтрація, в тому числі метод фільтрів Габора, який дозволяє в результаті змінити зображення з більш чіткими контурами. Запропоновано новий фільтр - Ateb-Габора. Його реалізація забезпечить більшу кількість можливостей зміни чіткості і яскравості зображення. Ateb-функції є узагальненням елементарної тригонометрії і, відповідно, мають більшу функціональність для гармонійних функцій.

У майбутніх дослідженнях планується дану фільтрацію застосувати до обробки відбитків пальців у системах біометричного захисту. Це дасть можливість швидше проводити розпізнавання, оскільки застосується більш універсальний вид фільтрації.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Lin, Z., Kahrilas, P. J., Xiao, Y., Nicodème, F., Gonsalves, N., Hirano, I., & Pandolfino, J. E. (2013). Functional luminal imaging probe topography: an improved method for characterizing esophageal distensibility in eosinophilic esophagitis. *Therapeutic advances in gastroenterology*, 6(2), 97-107.
- [2] Tomasi, C., & Manduchi, R. (1998, January). Bilateral filtering for gray and color images. In *null* (p. 839). IEEE.
- [3] Xu, Y., Weaver, J. B., Healy, D. M., & Lu, J. (1994). Wavelet transform domain filters: a spatially selective noise filtration technique. *IEEE transactions on image processing*, 3(6), 747-758.
- [4] Dey, T. K., Shi, D., & Wang, Y. (2019). SimBa: An Efficient Tool for Approximating Rips-filtration Persistence via Simplicial Batch Collapse. *Journal of Experimental Algorithmics (JEA)*, 24(1), 1-5.
- [5] Xu, Y., Weaver, J. B., Healy, D. M., & Lu, J. (1994). Wavelet transform domain filters: a spatially selective noise filtration technique. *IEEE transactions on image processing*, 3(6), 747-758.
- [6] Lalitha, Y. S., & Latte, M. V. (2011). A novel approach noise filtration for MRI image sample in medical image processing. *International Journal of Computer Science and Communication*, 2(2), 359-363.
- [7] Yamanaka, A., Maeda, Y., & Sasaki, K. (2019). Ensemble Kalman filter-based data assimilation for three-dimensional multi-phase-field model: Estimation of anisotropic grain boundary properties. *Materials & Design*, 165, 107577.
- [8] Schilling, A., Knittel, G., & Strasser, W. (1996). Texram: A smart memory for texturing. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 16(3), 32-41.
- [9] Caselles, V., Kimmel, R., & Sapiro, G. (1995, June). Geodesic active contours. In *Proceedings of IEEE international conference on computer vision* (pp. 694-699). IEEE.
- [10] Liu, Y. X., Yang, C. N., Wu, C. M., Sun, Q. D., & Bi, W. (2019). Threshold changeable secret image sharing scheme based on interpolation polynomial. *Multimedia Tools and Applications*, 1-15.
- [11] Sherlock, B. G., Monro, D. M., & Millard, K. (1994). Fingerprint enhancement by directional Fourier filtering. *IEE Proceedings-Vision, Image and Signal Processing*, 141(2), 87-94.
- [12] Andrysiak, T., & Choraś, M. (2005). Image retrieval based on hierarchical Gabor filters. *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science*, 15, 471-480.
- [13] Грицик, В. В., та Назаркевич, М. А. (2007). Математичні моделі алгоритмів і реалізація Ateb-функцій. *Доповіді Національної академії наук України*, (12), 37-42.
- [14] Nazarkevych, M., Kynash, Y., Oliarnyk, R., Klyujnyk, I., & Nazarkevych, H. (2017, May). Application perfected wave tracing algorithm. In *2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)* (pp. 1011-1014). IEEE.
- [15] Andrysiak, T., & Choraś, M. (2005). Image retrieval based on hierarchical Gabor filters. *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science*, 15, 471-480.



- [16] Nazarkevych, M., Yavourivskiy, B., & Klyuynyk, I. (2015, February). Editing raster images and digital rating with software. In *The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics* (pp. 439-441). IEEE.
- [17] Nazarkevych, M., Oliarnyk, R., & Dmytruk, S. (2017, September). An images filtration using the Ateb-Gabor method. In *2017 12th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT)* (Vol. 1, pp. 208-211). IEEE.
- [18] Nazarkevych, M., Buriachok, V., Lotoshynska, N., & Dmytryk, S. (2018, September). Research of Ateb-Gabor Filter in Biometric Protection Systems. In *2018 IEEE 13th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT)* (Vol. 1, pp. 310-313). IEEE.
- [19] Nazarkevych, M., Oliarnyk, R., Troyan, O., & Nazarkevych, H. (2016, September). Data protection based on encryption using Ateb-functions. In *2016 XIth International Scientific and Technical Conference Computer Sciences and Information Technologies (CSIT)* (pp. 30-32). IEEE.
- [20] М. Назаркевич та Я. Возний, МЕТОД ЗАХИСТУ МАТЕРІАЛЬНИХ НОСІВ ІНФОРМАЦІЇ ЛАТЕНТНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ, *Кібербезпека: освіта, наука, техніка*, том 3, номер 3, стор 27-41. <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2019.3.2741>

**Nazarkevych Mariya**

doctor of Technical Sciences, Professor

Professor of the Department of Information Technology Publishing

National University "Lviv Polytechnic", Lviv, Ukraine

OrcID 0000-0002-6528-9867

*mariia.a.nazarkevych@lpnu.ua***Voznyi Yaroslav**

postgraduate

National University "Lviv Polytechnic", Lviv, Ukraine

OrcID 0000-0002-5481-9973

*voznyyy@outlook.com***Troyan Oksana**

assistant

National University "Lviv Polytechnic", Lviv, Ukraine

OrcID 0000-0003-4857-8613

*troyan.oxana@gmail.com***GENERALIZING GABOR FILTERS BASED ON ATEB-FUNCTIONS**

**Abstract.** Image filtering attempts to achieve greater resolution. There is a large number of filters that allows you to bring images with clear borders. In addition, noise is present when digitizing images. One of the most common types of filtering is the Gabor filter. It allows you to restore the image with the contour allocation at a certain frequency. Its core looks like elements of the Fourier basis, which is multiplied by Gaussian. The widespread use of Gabor filters for filtration is due to the fact that it gives a strong response at those points of the image where there is a component with local features of frequency in space and orientation. It is proposed to use the Ateb-Gabor filter, which greatly expands the well-known Gabor filter. The Ateb-Gabor filter combines all the properties of a harmonic function, which is multiplied by Gaussian. As a harmonic function, it is proposed to use the Ateb-functions that greatly extend the trigonometric effect. The developed filter is applied to the images. The Ateb-Gabor filter depends on the frequency and directions of the quasiperiodic structure of the image. Usually, to simplify the task, the average image frequency is calculated. It is unchanged at every point. Filtration of images is based on the generalized Ateb-Gabor filter. Influence of filtering parameters on images is investigated. The properties of periodic Ateb-functions are investigated. The value of the period from which the filtering results depend on is calculated. Ateb-Gabor filtering allowed for wider results than the classic Gabor filter. The one-dimensional Gabor filter based on the Ateb-functions gives the possibility to obtain more lenient or more convex forms of function at the maximum described in this study. In this way, filtration with a large spectrum of curves can be realized. This provides quick identification, since a more versatile kind of filtering has been developed.

**Keywords:** filtering, Gabor filter, Fourier transform.

**REFERENCES**

- [1] Lin, Z., Kahrilas, P. J., Xiao, Y., Nicodème, F., Gonsalves, N., Hirano, I., & Pandolfino, J. E. (2013). Functional luminal imaging probe topography: an improved method for characterizing esophageal distensibility in eosinophilic esophagitis. *Therapeutic advances in gastroenterology*, 6(2), 97-107.
- [2] Tomasi, C., & Manduchi, R. (1998, January). Bilateral filtering for gray and color images. In *null* (p. 839). IEEE.
- [3] Xu, Y., Weaver, J. B., Healy, D. M., & Lu, J. (1994). Wavelet transform domain filters: a spatially selective noise filtration technique. *IEEE transactions on image processing*, 3(6), 747-758.



- [4] Dey, T. K., Shi, D., & Wang, Y. (2019). SimBa: An Efficient Tool for Approximating Rips-filtration Persistence via Simplicial Batch Collapse. *Journal of Experimental Algorithmics (JEA)*, 24(1), 1-5.
- [5] Xu, Y., Weaver, J. B., Healy, D. M., & Lu, J. (1994). Wavelet transform domain filters: a spatially selective noise filtration technique. *IEEE transactions on image processing*, 3(6), 747-758.
- [6] Lalitha, Y. S., & Latte, M. V. (2011). A novel approach noise filtration for MRI image sample in medical image processing. *International Journal of Computer Science and Communication*, 2(2), 359-363.
- [7] Yamanaka, A., Maeda, Y., & Sasaki, K. (2019). Ensemble Kalman filter-based data assimilation for three-dimensional multi-phase-field model: Estimation of anisotropic grain boundary properties. *Materials & Design*, 165, 107577.
- [8] Schilling, A., Knittel, G., & Strasser, W. (1996). Texram: A smart memory for texturing. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 16(3), 32-41.
- [9] Caselles, V., Kimmel, R., & Sapiro, G. (1995, June). Geodesic active contours. In Proceedings of IEEE international conference on computer vision (pp. 694-699). IEEE.
- [10] Liu, Y. X., Yang, C. N., Wu, C. M., Sun, Q. D., & Bi, W. (2019). Threshold changeable secret image sharing scheme based on interpolation polynomial. *Multimedia Tools and Applications*, 1-15.
- [11] Sherlock, B. G., Monro, D. M., & Millard, K. (1994). Fingerprint enhancement by directional Fourier filtering. *IEE Proceedings-Vision, Image and Signal Processing*, 141(2), 87-94.
- [12] Andrysiak, T., & Choraś, M. (2005). Image retrieval based on hierarchical Gabor filters. *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science*, 15, 471-480.
- [13] Gritsik, V. V., and Nazarkevich, M. A. (2007). Matematichni modeli algoritmu I realizatsiya Atebfunktsiy. *Dopovidi Natsionalnoyi akademiyi nauk Ukrainy*, (12), 37-42.
- [14] Nazarkevych, M., Kynash, Y., Oliarnyk, R., Klyujnyk, I., & Nazarkevych, H. (2017, May). Application perfected wave tracing algorithm. In 2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON) (pp. 1011-1014). IEEE.
- [15] Andrysiak, T., & Choraś, M. (2005). Image retrieval based on hierarchical Gabor filters. *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science*, 15, 471-480.
- [16] Nazarkevych, M., Yavourivskiy, B., & Klyuynyk, I. (2015, February). Editing raster images and digital rating with software. In *The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics* (pp. 439-441). IEEE.
- [17] Nazarkevych, M., Oliarnyk, R., & Dmytruk, S. (2017, September). An images filtration using the Ateb-Gabor method. In *2017 12th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT)*(Vol. 1, pp. 208-211). IEEE.
- [18] Nazarkevych, M., Buriachok, V., Lotoshynska, N., & Dmytryk, S. (2018, September). Research of Ateb-Gabor Filter in Biometric Protection Systems. In *2018 IEEE 13th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT)* (Vol. 1, pp. 310-313). IEEE.
- [19] Nazarkevych, M., Oliarnyk, R., Troyan, O., & Nazarkevych, H. (2016, September). Data protection based on encryption using Ateb-functions. In *2016 XIth International Scientific and Technical Conference Computer Sciences and Information Technologies (CSIT)* (pp. 30-32). IEEE.
- [20] M. Nazarkevych and Y. Voznyi, "METHOD OF PROTECTION OF MATERIAL INFORMATION CARRIED OUT BY LATENT ELEMENTS", *Cybersecurity: Education, Science, Technique*, vol. 3, no. 3, pp. 27-41. <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2019.3.2741>

