

©2014 р. І.М. Фодчук, Я.В. Луцик, Ю.Т. Роман

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, Чернівці

## ОБРОБКА ТА РЕКОНСТРУКЦІЯ Х-ХВИЛЬОВИХ ТОМОГРАФІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ СЛАБОРОЗСПОЮЮЧИХ ОБ'ЄКТІВ

Досліджено сучасні можливості використання математичних числових методів обробки та реконструкції спотворених томограм. Описані переваги та недоліки цих методів та визначені можливі області їх використання.

**Ключові слова:** комп'ютерна томографія, Х-хвильові зображення, цифрова обробка.

Исследованы современные возможности использования математических числовых методов обработки и реконструкции искаженных томограм. Описанные преимущества и недостатки этих методов и определены возможные области их использования.

**Ключевые слова:** компьютерная томография, рентгеновские изображения, цифровая обработка.

In this article the possibility of using modern mathematical and digital processing techniques and reconstruction of distorted tomograms is given. The advantages and disadvantages of these methods and identify possible areas of use are determined.

**Keywords:** computed tomography, X-ray images, digital processing.

Використання цифрової обробки та математичної реконструкції у комп'ютерній томографії останнім часом стає все актуальніше. Покращення якості Х-хвильових зображень при діагностиці у Х-хвильовій томографії дає можливість більш ефективно використовувати томограми, збільшити інформативність, яку несуть відповідні і знімки [1,2].

Створено цілий ряд методів, які дозволяють реконструювати та обробляти томографічні зображення. До таких методів відносяться математичні методи: метод перетворення Фур'є (ПФ) (метод інверсної фільтрації), метод псевдоінверсної фільтрації, метод ПФ з регуляцією за Тихоновим, метод фільтрації за Вінером тощо. Однак такі методи мають певні недоліки: вони є нестійкими та сингулярними, а їхні розв'язки – некоректними; інтенсивний розвиток технічного обладнання та програмного забезпечення призводить до удосконалення математичних методів та ефективного використання їх в сучасних умовах. Також аналіз та збільшення сучасних методів обробки зображень дозволить нам якісніше проводити діагностику біологічних об'єктів. Це

відкриває ще більші перспективи використання обчислювальних та математичних методів у Х-хвильовій томографії [3].

Метою даної роботи є дослідження сучасного стану застосування методів обробки та реконструкції Х-хвильових зображень в комп'ютерній томографії, а також визначення перспективних напрямів їх використання.

### 1. Загальні відомості

Томографічні методи реконструкції зображень застосовуються в радіолокації, оптиці, медицині і фізіології, в хімії, мікробіології, діагностиці плазми, аеродинаміці, геології, радіоастрономії. У сучасній томографії для отримання інформації використовують випромінювання різної фізичної природи: ультразвук, радіо- та оптичні, Х- та  $\gamma$ -хвилі, різні корпускулярні випромінювання тощо [4].

Для кожного виду випромінювання характерні свої специфічні особливості, які проявляються в методах формування вихідних проєкцій і в його апаратурній реалізації. Однак проєкційні дані, які виходять в результаті попередніх спостережень, якими оперують при відновленні зображення, мо-

жуть бути описані дуже схожими математичними залежностями.

В основі реконструктивної обчислювальної томографії (РОТ) лежить теорема проєкції або центрального зрізу (рис.1).

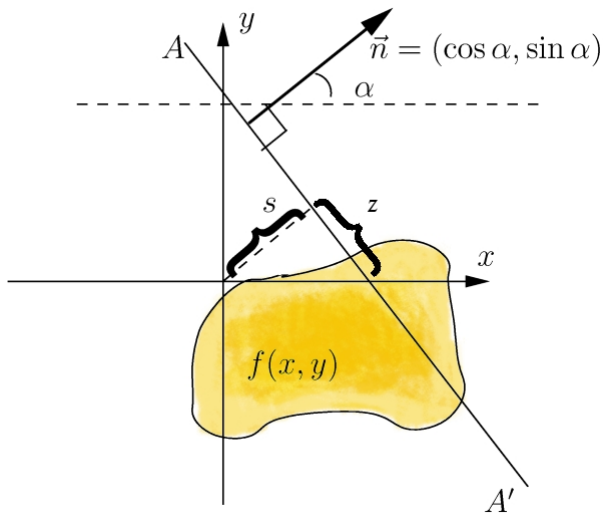


Рис.1. Схема отримання проєкції.

З математичної точки зору всі обчислювальні алгоритми еквівалентні, але кожен з них при реалізації має свої особливості: одні дозволяють зменшити час для отримання зображення, інші більш стійкі до шумів, наявним у вихідних даних, треті в порівнянні з іншими методами дозволяють поліпшити якість зображення [5].

Необхідно вирішувати завдання відновлення зображення за результатами вимірювань параметрів прийнятого радіолокатором сигналів. При фіксованому ракурсі об'єкта приймаючий сигнал можна розглядати як горизонтальну проєкцію шуканого зображення. Існує два основних способи обчислення та отримання відновленого зображення: аналітичні та ітераційні.

## 2. Аналітичні методи реконструкції зображень.

В основі аналітичного підходу лежить двовимірне відновлення Фур'є. До цього підходу належать такі методи: метод зворотного проєктування, зворотна фільтрація згортки, метод вейвлет-фільтрації [6]. Велике значення при реалізації методів зворотного проєктування та методу фільтрації згортки має взаємозв'язок перетворень Ра-

дона і Фур'є. Вони виражаються теоремою про проєкції та перетини, а також іншими проєкційними теоремами. Перевагою методів отримання зображення, заснованих на взаємозв'язку перетворень Радона і Фур'є є можливість аналітично оцінити детальність одержуваного зображення і порівняно невеликий обсяг обчислень. Недоліки пов'язані з нестійкістю методу до перешкод і з поганими можливостями обліку апріорних відомостей про одержуване зображення. До перешкод найбільш стійкий метод з використанням вейвлет-перетворень, але обсяг обчислень стає більшим [7].

При отриманні зображення в ідеальному випадку ми хочемо домогтися повної схожості початкового зображення і відновленого. Однак такий результат отримати неможливо. Наявність необмеженої кількості по-різному орієнтованих проєкцій дозволяє точно відновити саму функцію  $f(x, y)$ . Однак, на практиці зазвичай доводиться мати справу з скінченим числом проєкцій. Тому тільки в окремих випадках можливе отримати точне відновлення. Отже, отримана на практиці в результаті відновлення величина є лише оцінкою шуканої функції. І пояснюється це не тільки скінченим числом проєкцій. По-перше, самі проєкції задаються дискретною інформацією, отриманою з датчиків. Тому ми маємо в своєму розпорядженні лише наближену апроксимацію проєкції. По-друге, обчислення інтегралів, що використовуються в процедурі відновлення, здійснюється чисельними методами, а, отже, з деякою погрешністю. В аналітичних методах розподіл досліджуваного параметра об'єкта описується безперервною функцією  $f(x, y)$ , і передбачається, що процес вимірювання даних і самі дані також є безперервними. Така модель дозволяє сформулювати задачу реконструкції у вигляді інтегрального рівняння щодо невідомої функції  $f(x, y)$ . В основі більшості з них використовуються апарат перетворення Фур'є і перетворення Радона. Перевагами аналітичних алгоритмів є їх стійкість і висока швидкість розрахунків в порівнянні з іншими методами. Більшість аналітичних

методів припускає наявність досить великого числа проєкційних даних [8].

Серед аналітичних методів відновлення зображення найбільш простим є метод зворотного проєктування. Він же покладений в основу інших більш точних методів. Даний метод має високу швидкість, але точність відновлення при цьому низька. Це пов'язано з тим, що дані в цьому методі отримані дослідним шляхом. На кожному етапі отримання проєкцій за допомогою цього методу виникають похибки, внаслідок чого загальний результат може представити досить поганою апроксимацією формули перетворення по Фур'є. Серед таких джерел виділимо:

- недостатнє число дискретних проєкцій;
- помилки, зумовлені усіканням області частот фур'є-перетворення;
- помилки інтерполяції в частотній області;
- недостатнє число відліків в частотній області.

Метод фільтрації згорткою є більш трудомістким, але точність відновлення і якість зображення поліпшуються в 15-20 разів. Істотний недолік методу полягає в його низькій стійкості до шумів контрасту зображення. В цьому методі відновлення зображення здійснюється за рахунок зв'язку перетворень Радона і вейвлет-функцій [9]. Так як вейвлет-перетворення є потужним математичним апаратом, то при використанні методу можна домогтися відновлення інформативного зображення і одночасно придушувати шуми. При використанні даного методу швидкодія системи зменшується, відповідно і витрати на таку систему зростають [10].

### 3. Ітераційні методи реконструкції зображень

При ітераційних методах об'єкт розглядається як матриця елементів. Набір проєкцій дає систему лінійних рівнянь, зазвичай невизначену. Для отримання єдиного рішення доводиться накладати додаткові умови [11].

Ефективність цих умов залежить від складності об'єкта та числа отриманих проєкцій.

Для ітераційних методів відновлення характерно допущення про те, що вихідна сукупність густин задається. Ітераційні методи [12] мають ряд переваг перед аналітичними алгоритмами, наприклад, можливість створення алгоритмів із застосуванням апріорних відомих властивостей, з'являється можливість роботи в інтерактивному режимі, що дозволяє зробити компромісний вибір між якістю відновлення і часом обробки.

Ітераційні методи характеризуються повільною збіжністю, але їх модифікації дозволяють вирішити цю проблему. Спільним недоліком ітераційних алгоритмів є низька обчислювальна здатність [13].

### 4. Застосування аналітичних методів реконструкції на X-хвильових томограм слабзорозсіюючих об'єктів

У роботі використані аналітичні методи реконструкції X-хвильових томограм, такі як: метод ПФ, метод регуляризації Тихонова, метод параметричної фільтрації Вінера, спосіб підбору оптимальних значень параметрів  $a$  і  $K$ , логічні методи та ін. Також застосовуються теоретичні (аналіз, моделювання, порівняння) і емпіричні (спостереження, обстеження) методи дослідження [14].

За основу було взята томограма кисті людини (рис.2а), для якої потрібно було вирішити, спочатку, пряму задачу, а потім вирішувати обернену. У програмному середовищі *MatLab* було змодельовано розмиті томографічні зображення кисті людини, де використовувалась  $m$ -функція *defocusing.m* (рис.2б).

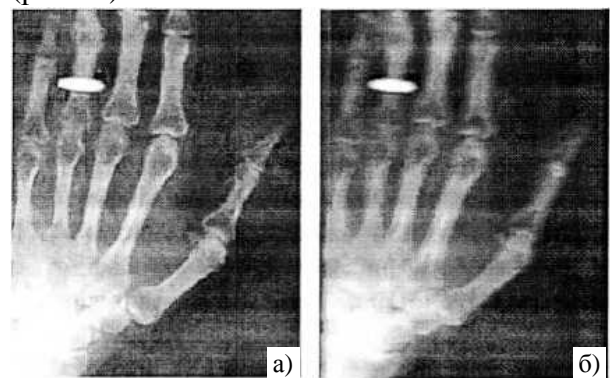


Рис. 2. Вихідна томограма кисті людини (а) та змодельоване розмите зображення (б).

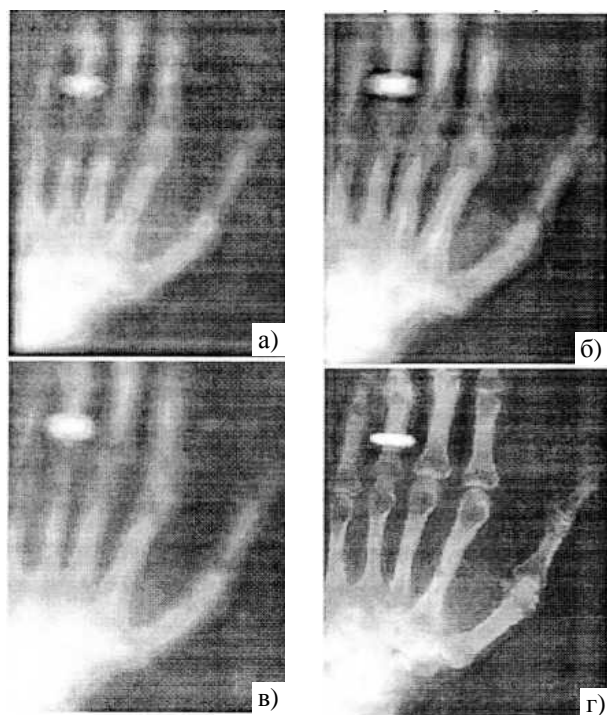


Рис. 3. Реконструкція змязаної та зашумленої томограми із використанням  $m$ -функцій параметр  $a=5$  (а), 10 (б) та фільтрацією Вінера параметр  $K=5$  (в), 10 (г).

Для розв'язку оберненої задачі використувалась  $m$ -функція *reconstruction.m* (рис.2а,б), що дало змогу відновити зображення до початкового [15]. Параметр  $K$  за фільтрацією Вінера брався з кроком 5 [16]. Як видно із рисунка, при значенні  $a=10$  відносна похибка реконструкції менша, ніж при  $K=5$  (рис.2в). Саме при значенні  $K=10$  зображення кисті людини найбільше відповідає вхідному зображенню (рис.2г).

### Висновки

З розгляду алгоритмів відновлення гомографічних зображень стає очевидним, що вибір того чи іншого методу залежить від вимог до якості відновлення зображень, обсягу проєкційних даних, швидкодії обчислювальних систем і від компромісу, до якого приходиться розробник.

Визначено переваги та перспективні напрямки використання методів реконструкції та відновлення томограм.

Проведено аналіз математичних методів обробки різноманітних зображень. Запропоновано реалізацію методів розв'язку обернених задач по реконструкції експеримен-

тальних зображень у програмному середовищі *MatLab*.

Відновлено гомографічні зображення, в яких було видалено фактори, що спотворюють зображення.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Сизиков В.С. Обратные прикладные задачи и MatLab. - М: Мир, 2011.
2. Jiang Hsieh. Computed Tomography: Principles, Design, Artifacts and Recent Advances. - Bellingham, Washington: SPIE press, 2009.
3. Гейтс Р, Мак-Доннелл М. Восстановление и реконструкция изображений. - М.: Мир. 1989.
4. Василенко Г. И., Тараторин А. М. Восстановление изображений. - М.: Радио и связь, 1986.
5. Воскобойников Ю., Литасов В. Устойчивый алгоритм восстановления изображения при неточно заданной аппаратной функции // Автометрия. - 2006. - 42 (6). - С. 3-15.
6. Гонсачес Р, Вудс Р. Цифровая обработка изображений. - М.: Техносфера, 2006.
7. Гонсалес Р, Вудс Р, Эддинс С. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB. - М.: Техносфера, 2006.
8. Горшков А. В. Улучшение разрешения изображений при обработке данных физического эксперимента и нахождение неизвестной аппаратной функции по программам пакета REIMAGE // Приборы и техника эксперимента. - 1995. - №2. - С. 68-78.
9. Грузман И. С, Киричук В. С, Косых В. П., Перетягни Г. И., Спектор А. А. Цифровая обработка изображений в информационных системах. Уч. пособие. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002.
10. Дьяконов В. MATLAB 6: учебный курс. - СПб.: Питер, 2001.
11. Дьяконов В., Абраменкова И. MATLAB. Обработка сигналов и изображений. Специальный справочник. - СПб.: Питер, 2002.
12. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. В2-ХТ.-М.: Мир, 1982.
13. Пытьев Ю. П., Чуличков А. И. Прибор + ЭВМ = новые возможности. - М.: Знание, 1983.
14. Сизиков В. С. Математические методы обработки результатов измерений: Учебник для вузов. - СПб.: Политехника, 2001.
15. Яне Б. Цифровая обработка изображений. - М.: Техносфера, 2007.
16. Ярославский Л. П. Введение в цифровую обработку изображений. - М.: Сов. Радио, 1979.