

МЕТОД ВІДНОВЛЕННЯ ОКТ-ЗОБРАЖЕНЬ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто метод покращення якості ОКТ-зображень з використанням нерівномірного швидкого перетворення Фур'є, здійснено порівняльний аналіз результатів обробки серії ОКТ-зображень за середньоквадратичною похибкою.

Ключові слова: оптична когерентна томографія, перетворення Фур'є, фільтрація зображень, середньоквадратична похибка.

Abstract

A method for improving the quality of OCT images using non-uniform fast Fourier transform is considered, a comparative analysis of the results of processing a series of OCT images by standard error is carried out.

Keywords: optical coherence tomography, Fourier transform, image filtering, root mean square error.

Вступ

Оптична когерентна томографія (ОКТ) є сучасним методом інструментальної медичної діагностики та широко використовується у наукових дослідженнях. ОКТ є неінвазивним методом, який дозволяє отримувати якісні зображення внутрішніх структур біологічних тканин (БТ). Висока роздільна здатність та можливість отримання тривимірних зображень дають змогу детально аналізувати структуру тканин, завчасно виявляючи можливі патологічні зміни.

Основним обмеженням ОКТ є дифракція, що призводить до розмиття дрібних деталей на зображенні тканини, знижує його якість та ускладнює визначення меж між шарами БТ. Тому при аналізі ОКТ-зображень, зокрема сітківки ока, важливо мінімізувати артефакти, створені дифракційним розмиттям.

Для удосконалення зображень при ОКТ застосовують методи пост-обробки зображень, які дозволяють покращити їх роздільну здатність. У роботі здійснено дослідження нерівномірного швидкого перетворення Фур'є (NFFT) для обробки нерівномірно дискретизованих ОКТ-зображень та покращення якості відновленого зображення. Використання NFFT дає змогу зменшити вплив дифракційного розширення, підвищити контрастність зображень та покращити деталізацію дрібних структур.

У роботі розглянуто метод відновлення ОКТ-зображень з використанням, проведено тестування його ефективності на реальних даних та виконано порівняння з традиційними алгоритмами обробки. Основна мета дослідження – оцінити здатність запропонованого методу зменшувати дифракційні артефакти, зберігаючи при цьому природну деталізацію зображень. Для цього проведено аналіз середньоквадратичної похибки (MSE) при обробці ОКТ-зображень різними методами.

Результати дослідження

NFFT є узагальненням дискретного швидкого перетворення Фур'є, що дозволяє працювати з нерівномірними вибірками інформаційного сигналу завдяки його попередній інтерполяції [1]. Це дозволяє підвищити точність відновлення зображення шляхом обліку змінної просторової частоти сигналу, що характерно для зображень ОКТ. Представлення нерівномірного швидкого перетворення Фур'є виглядає як:

$$F(k) = \sum_{j=0}^{N-1} f(x_j) e^{-i2\pi k x_j} \quad (1)$$

де x_j – нерівномірні дискретні точки зображення, а k – частотна змінна.

Для дослідження використано 30 зображень ОКТ з бази даних [2], які було попередньо підготовлено (формат зображень чорно-білий, глибина кольору 8 біт (256 градаций сірого), розмірність 256×256 пікс). Алгоритм методу реконструкції ОКТ зображень з використанням NFFT представлений на рис. 1.

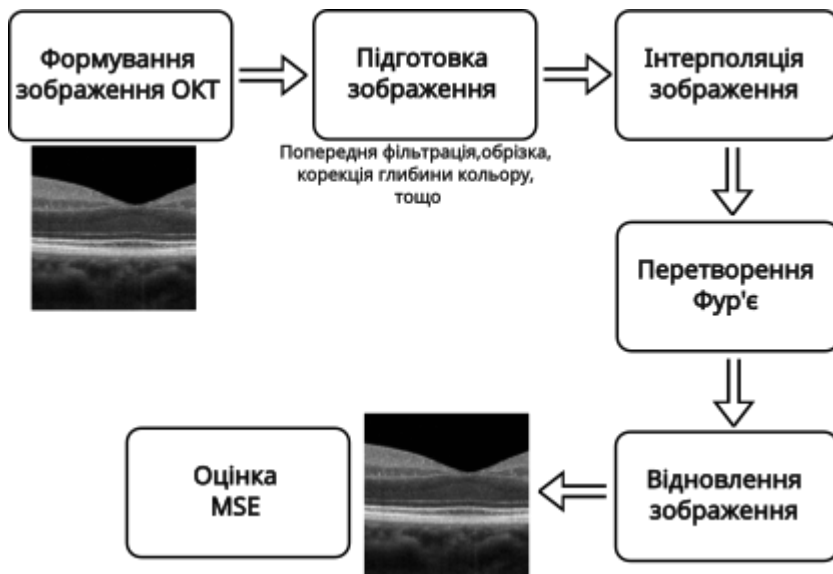


Рис. 1. Алгоритм методу реконструкції ОКТ зображень

На етапі попередньої обробки здійснено інтерполяцію кожного зображення з вибірки за допомогою швидкої сітки Гауса, після чого здійснено перетворення Фур'є за допомогою бібліотеки [3]. Фрагмент коду описаного перетворення з MATLAB та одне з зображень після обробки представлені на рис.2 та рис.3 відповідно.

```

z = zeros(N,N);
sourceImage = imread("/MATLAB Drive/FileExchange/NUFFT_test/test_image.bmp");
z = sourceImage
imagesc(z)
N=[N,N];
img=double(z);
data=fftshift(iffn(iffshift(img)));
DFTout = fftshift(fftn(iffshift(data),N));
z=z(:);
We need knots on [-1/2, 1-1/Nx]x[-1/2, 1-1/Ny] as fundamental period.
make square grid of knots for exact comparison to fft
tmpx = linspace(-1/2,1/2 -1/N(1), N(1));% tmpx(end)=[];
tmpy = linspace(-1/2,1/2 -1/N(2), N(2));% tmpy(end)=[];
[Y,X]=meshgrid(tmpy,tmpx);
knots=[X(:),Y(:)];
Nx=N(1);
Ny=N(2);
Desired_accuracy = 6;%6=single precision, 12=double precision.
MattOut_Gauss=FGG_2d_type1(data(:),knots,[Nx,Ny],Desired_accuracy);

```

Рис. 2. Фрагмент коду перетворення NFFT

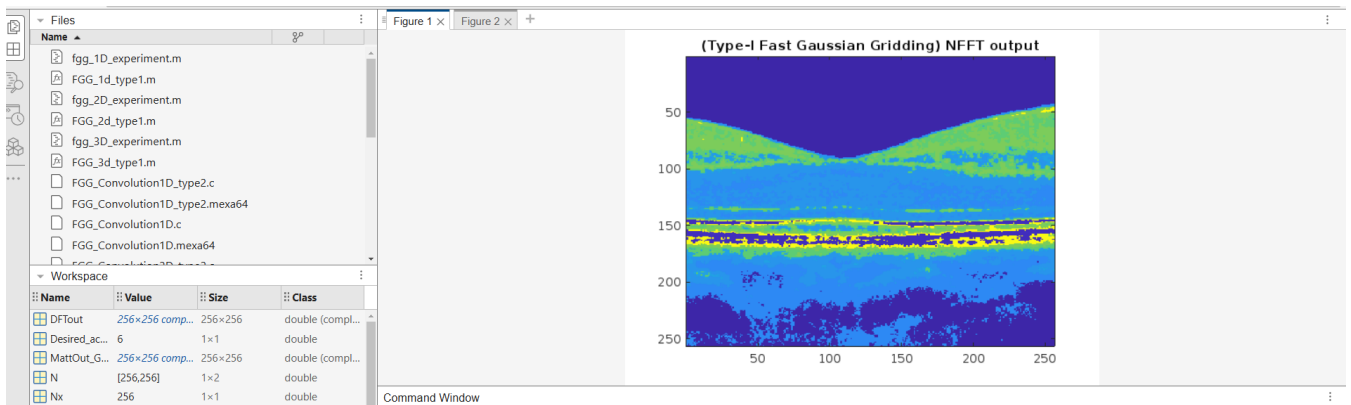


Рис. 3. Зображення після обробки

Для дослідження було використано набір з 30 зображень ОКТ [2] та здійснено порівняння результатів з результатом фільтрації тих самих зображень з допомогою білатерального фільтра. Для порівняння результатів обробки здійснено обчислення середньоквадратичної похибки (MSE) в ПЗ MATLAB. Приклад обробки зображення представлений на рис. 4.

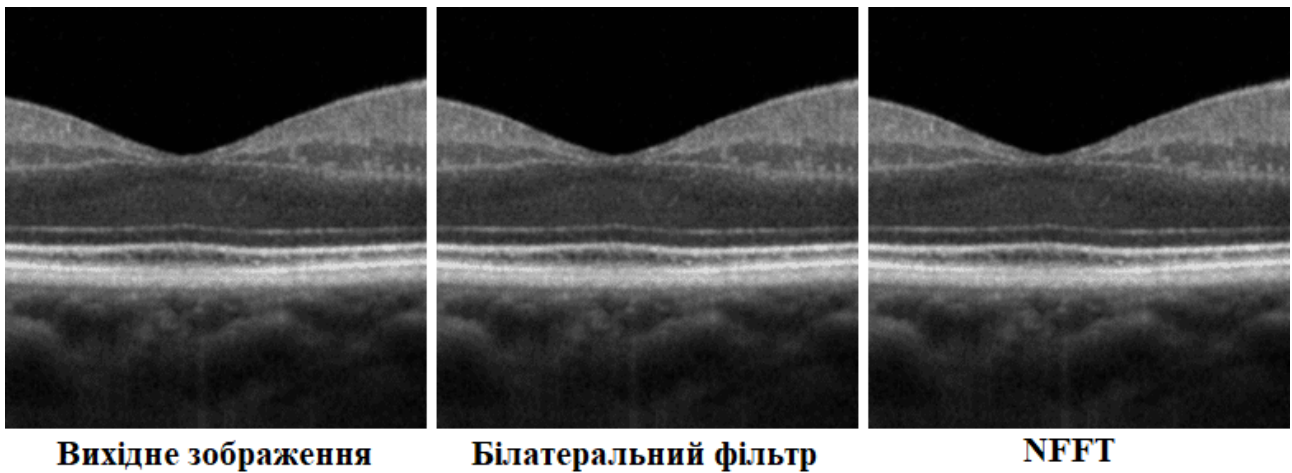


Рис. 4. Порівняння результатів обробки зображень

Обробка зображень з допомогою білатерального фільтра [4] здійснена з допомогою штатної функції MATLAB. Обчислення середньоквадратичної похибки (MSE) також здійснено у MATLAB. Результати обчислення MSE представлені в таблиці 1

Таблиця 1. Результати обчислення середньоквадратичної похибки

Алгоритм обробки	$MSE(max)$	$MSE(min)$	$MSE(avg)$
NFFT	23.5432	20.95	16.31
Білатеральний фільтр	25.1960	20.79	17.39

Висновки

Метод обробки ОКТ-зображень з використанням NFFT є перспективним для роботи в умовах нерівномірно розташованих точок дискретизації. NFFT дозволяє підвищити якість зображень завдяки можливості обробки нерегулярних даних та сигналів зі змінною частотою.

В роботі проаналізовано метод відновлення ОКТ-зображення з допомогою нерівномірного швидкого перетворення Фур'є та здійснено порівняння його з білатеральним фільтром. Встановлено, що в

середньому відновлені за таким методом зображення після обробки мали нижчу середньоквадратичну похибку, ніж оброблені з допомогою білатерального фільтра.

Проте, попри наведені переваги, NFFT має вищу обчислювальну складність, що призводить до збільшення часу обробки та потребує більш високої обчислювальної спроможності обладнання. Другим важливим недоліком є чутливість до параметрів на етапі інтерполяції даних. Неправильний вибір цих параметрів може призвести до спотворення зображень, втрати деталей, або появи артефактів на зображенні. Перспективним напрямком досліджень може бути підбір оптимального методу з використанням сучасних ШІ-інструментів для підбору параметрів NFFT та комбінація методу з іншими методами обробки зображень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Daguang Xu, Yong Huang, and Jin U. Kang, "GPU-accelerated non-uniform fast Fourier transform-based compressive sensing spectral domain optical coherence tomography," *Opt. Express* 22, 14871-14884 (2014);
2. Kermany, Daniel; Zhang, Kang; Goldbaum, Michael (2018), "Large Dataset of Labeled Optical Coherence Tomography (OCT) and Chest X-Ray Images", *Mendeley Data*, V3, doi: 10.17632/rsbjbr9sj.3
3. Matthew Ferrara (2025). NUFFT, NFFT, USFFT, MATLAB Central File Exchange (<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/25135-nufft-nfft-usfft>). Retrieved February 10, 2025.
4. Щербатюк А. В., Тужанський С. Є. Методи оптичної когерентної томографії та алгоритми фільтрації зображень для офтальмологічної діагностики // *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*. – 2024. – № 1. – С. 148–154.

Щербатюк Артем Володимирович — аспірант кафедри біомедичної інженерії, Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця, Україна, e-mail: scherbatyuk.art@gmail.com

Тужанський Станіслав Євгенович — к.т.н, доцент кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна, e-mail: slavat@vntu.edu.ua

Shcherbatyuk Artem V. — Post-Graduate student the Biomedical Engineering, e-mail: scherbatyuk.art@gmail.com
Tuzhanskyi Stanislav Y. — Ph.D., Associate Professor of the Biomedical Engineering and Optical-Electronic Systems, e-mail: slavat@vntu.edu.ua