



УДК 655.4

DOI: 10.20535/2077-7264.1(83).2024.286159

© М. О. Огірко, канд. техн. наук, асист., М. П. Горський, канд. фіз.-мат. наук, доц., І. В. Солтис, канд. фіз.-мат. наук, доц., О. В. Дуболазов, д-р фіз.-мат. наук, проф., О. Г. Ушенко, д-р фіз.-мат. наук, проф., В. В. Морфлюк-Щур, канд. техн. наук, асист., Л. С. Слоцька, канд. техн. наук, доц., Чернівецький національний університет, м. Чернівці, Україна

**КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ  
МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ  
АЛГОРИТМІВ ФУР'Є СЕЛЕКЦІЇ  
ТОПОЛОГІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ  
НА ПОЛІМЕРНИХ НОСІЯХ**

**У статті проаналізовано алгоритмічну розробку нових оптичних і поляризаційних методів обробки графічних зображень з використанням узгодженої просторово-частотної фільтрації для селекції інформаційної та фонові компонент.**

**Ключові слова: графічне зображення; лазер; Фур'є перетворення; інтенсивність світла; поляризація; цифрова камера.**

**Постановка проблеми**

Велике різноманіття графічних зображень, практична невивченість і складність їх оптичної і поляризаційної структури об'єктивно обумовлює необхідність пошуку більш універсальних методик картографування, які дозволяють статистично достовірно вивчати структуру об'єктів при урахуванні набору механізмів світлорозсіяння паперовими носіями і оптичної анізотропії полімерних підкладок.

Одним із важливих напрямів покращення якості графічних зображень може стати аналітичне застосування основних алгоритмів Фур'є-оптики у методиках оп-

тичного зчитування (картографування) топографічної інформації.

Такі аналітичні підходи дозволять здійснювати інструментальну операцію узгодженої просторово-частотної фільтрації графічних зображень, які являють собою координатні (двовимірні) розподіли параметрів (інтенсивності та станів поляризації) поля розсіяного випромінювання.

У результаті алгоритмічної обробки виникає аналітична або інструментальна можливість сепарації і роздільного дослідження різномасштабних розподілів інформаційних і фонових параметрів графічного зображення.



Для реалізації таких завдань виникає потреба у наступних аналітичних кроках.

1. Розроблення моделі матеріальних носіїв (підкладок) графічної інформації, яка обґрунтовує формування та трансформацію поляризаційних мап азимута й еліптичності графічних зображень та їх Фур'є-спектрів.

2. Визначення взаємозв'язків між координатними розподілами азимута й еліптичності Фур'є-спектрів модельних графічних зображень (сітки двопронезаломлюючих елементів різного масштабу і форми) і параметрами лінійного та циркулярного двопронезаломлення полімерних носіїв.

3. Розроблення та комп'ютерне моделювання можливостей методу Фур'є-поляриметрії просторово-частотних спектрів модельних графічних зображень на полімерних носіях.

### **Аналіз попередніх досліджень**

За останній час інтенсивно створюються нові аналітичні алгоритми для систем цифрової обробки графічних зображень — від схем, креслень, текстів, документації, рекламної продукції.

Одним з важливих напрямів є створення теоретичної алгоритмічної бази для покращення якості оптичних зображень графічної інформації, що міститься на полімерних носіях. Актуальність цього обумовлена тим, що такі зображення містять декілька складових [1–3]. Перша — інформаційна (у нашому випадку крупномасштабна модельна структура, яка сформована впорядкованими за напрямками двопронезаломлюючими циліндрами — аналог графічної інформації).

Друга — фонова [4–6] (у нашому випадку дрібномасштабна модельна структура, яка сформована шаром двопронезаломлюючих сферичних кульок — аналог розсіюючої полімерної підкладки).

Для розвитку методів покращення якості графічних зображень актуальне завдання розроблення алгоритмічної бази для інструментально-оптичної диференціації таких складових [7–9]. Зокрема, масштабно-селективного Фур'є аналізу для алгоритмічної диференціації різномасштабних складових оптичного поля [1, 5].

Ідея такого, нового для графічної інформації, аналітичного підходу базується на просторово-частотній фільтрації різноманітних зображень топографічної інформації на різноманітних носіях.

Алгоритмічна реалізація даного методу включає такі узгоджені аналітичні або інструментальні етапи [8]:

- «пряме Фур'є-перетворення»;
- «просторово-частотна фільтрація»;
- «зворотне Фур'є-перетворення» лазерних зображень.

Таким чином, актуальним є алгоритмічна розробка нових оптичних і поляризаційних методів обробки графічних зображень з використанням узгодженої просторово-частотної фільтрації для селекції інформаційної та фонової компонент. Наша стаття являє собою один з початкових (у рамках модельного аналізу) кроків у даному напрямі.

### **Мета роботи**

Розробка нових алгоритмів селекції зображень різномасштабних топографічних структур шля-



хом імплементації методів цифрової обробки з використанням узгодженої просторово-частотної фільтрації проявів механізмів двопронезаломлення полімерних матеріалів.

Для досягнення цієї мети розглянуто наступну задачу модельного комп'ютерного моделювання — розробка й аналітичне обґрунтування принципів узгодженої просторово-частотної селекції інформаційної та поляризаційно-неоднорідної (фонової) складових модельного графічного зображення на полімерній основі — сітка двопронезаломлюючих циліндрів (інформаційна складова) на шарі оптично анізотропних сферичних кульок (фонова складова).

**Результати проведених досліджень**

*Оптична модель полімерної підкладки*

Процеси формування фонової складової графічного зобра-

ження на полімерній основі ілюструється рис. 1.

Оптичні властивості полімерного шару характеризуються матрицею Мюллера для оптично одноосного двопронезаломлюючого кристала [3]

$$|W| = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1; \left( \sin^2 \frac{\rho}{2} \cos 2j + \cos^2 \frac{\rho}{2} \right); \left( 0,5 \sin 4j \sin^2 \frac{\rho}{2} \right); \left( -\sin 2j \sin \rho \right); \\ 0; \left( \cos 2j \sin \rho \right); \left( \cos 2j \sin \rho \right); \\ 0; \left( 0,5 \sin 4j \sin^2 \frac{\rho}{2} \right); \left( -\sin^2 \frac{\rho}{2} \cos 2j + \cos^2 \frac{\rho}{2} \right); \left( 2 \cos^2 \frac{\rho}{2} - 1 \right); \\ \left( \sin 2j \rho \right); \left( \cos 2j \sin \rho \right); \end{pmatrix} \quad (1)$$

де  $j$  — кут орієнтації оптичної осі біологічного кристала;  $\rho$  — величина фазового зсуву.

*Основні алгоритми, принципи та методи Фур'є-оптики для завдань селекції фону у графічних зображеннях*

У основі оптичного Фур'є-перетворення лежить його інструментальна реалізація за допомогою додатної лінзи шляхом дифракції у задній фокальній площині.

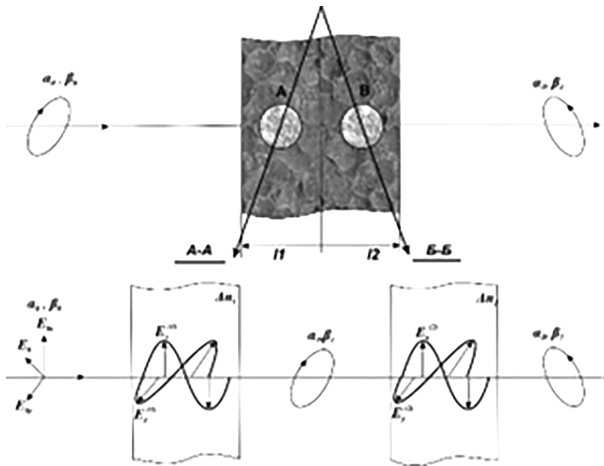


Рис. 1. До аналізу фонової складової графічного зображення: показники двопронезаломлення —  $\Delta n_1, \Delta n_2$ ;  $E_{0x}, E_{0y}$ ;  $E_x^{(1)}, E_y^{(1)}, E_x^{(2)}, E_y^{(2)}$  — ортогональні складові амплітуди хвилі зі станами поляризації  $\alpha_0, \beta_0$ ;  $\alpha_1, \beta_1$ ;  $\alpha_2, \beta_2$



Аналітично це можна представити за допомогою дифракційного інтеграла Френеля-Кірхгофа

$$Q(u, v) = \frac{1}{j\lambda f} U[(x_1, y_1)] = \frac{1}{j\lambda f} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} f(x_1, y_1) e^{-j2\pi(x_1 u + y_1 v)} dx_1 dy_1, \quad (2)$$

де  $u = \frac{x_2}{\lambda f}$ ,  $v = \frac{y_2}{\lambda f}$  — просторові частоти, які мають розмірність

$$\left[ \frac{1}{\text{см}} \right], \lambda — \text{довжина хвилі, } f — \text{фокусна відстань лінзи, } f(x_1, y_1) —$$

комплексна амплітуда світлової хвилі у передній (вхідній) фокальній площині лінзи  $P_1$ ,  $U(u, v)$  — комплексна амплітуда світлової хвилі у задній (вихідній, спектральній) фокальній площині лінзи  $P_2$ .

Розрізняють пряме (3) і зворотне (4) перетворення Фур'є

$$U[(x, y)] = U(u, v) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} f(x, y) e^{-j2\pi(xu + yv)} dx dy; \quad (3)$$

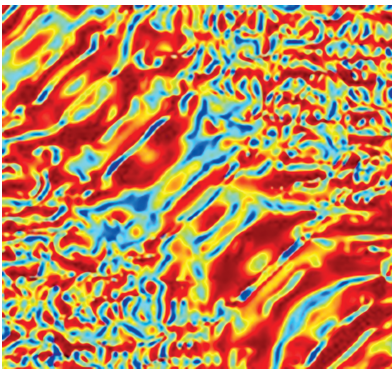


Рис. 2. Координатний розподіл азимута поляризації у Фур'є-площині поля лазерного випромінювання, перетвореного мережею циліндричних і кулькоподібних кристалів

$$U^{-1}[U(u, v)] = f(x, y) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} F(u, v) e^{-j2\pi(xu + yv)} du dv. \quad (4)$$

Функцію  $U(u, v)$ , що описує Фур'є-спектр вихідної функції, називають Фур'є-образом цієї функції.

*Комп'ютерне моделювання поляризаційної структури інформаційної і фонові складових графічного зображення у Фур'є-площині*

*Моделний об'єкт*

В якості інформаційної складової графічного зображення ми обрали мережу двоприменезаломлюючих циліндрів, упорядкованих за напрямом оптичних осей та розташованих в одній площині.

Фонова складова являє собою сукупність двоприменезаломлюючих куль, центри яких лежать в одній площині.

Геометричні характеристики сукупності ( $N = 50$ ) оптично анізотропних циліндрів наступні: діаметр —  $d = 50$  мкм, довжина —  $L = 200$  мкм. Двоприменезаломлення —  $\Delta n_1 = 1,5 \cdot 10^{-2}$ .

Оптично анізотропні кульки  $N = 10 \times 10 = 100$  — діаметр —  $d = 50$  мкм, Двоприменезаломлення —  $\Delta n_2 = 1,5 \cdot 10^{-2}$ .

*Програмний алгоритм*

Застосовано нижчезазначений програмний алгоритм.

*Результати Фур'є селекції*

Результати комп'ютерного моделювання можливостей Фур'є селекції фонові та інформаційної складових поляризаційних мап азимута поляризації [7] графіч-



Рис. 3. Координатний розподіл азимута поляризації у Фур'є-площині поля лазерного випромінювання, перетвореного мережею прямолінійних кристалів

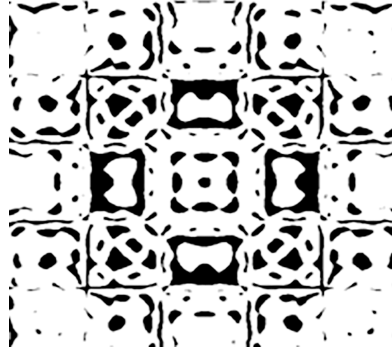


Рис. 4. Координатний розподіл азимута поляризації у Фур'є-площині поля лазерного випромінювання, перетвореного мережею кулькоподібних кристалів

ного зображення на полімерній основі ілюструє серія рис. 2–4.

Отже, шляхом Фур'є перетворення поляризаційних мап оптичного поля графічного об'єкту на полімерній основі (рис. 2) можна розділити топографічну структуру фонові (рис. 3) і інформаційної (рис. 4) складових.

### Висновки

1. Запропонована й аналітично обґрунтована уніфікована модель графічного зображення на полімерній основі, що являє собою суперпозицію двопроменезаломлення з наступним аналітичним описом процесів амплітудно-фазової модуляції опромінюючого випромінювання.

2. Аналітично розроблено та апробовано в рамках модель-

ного експерименту програмний алгоритм масштабно-селективної Фур'є селекції інформаційної та фонові складових оптичного зображення графічних оптично анізотропних структур.

3. У рамках комп'ютерного моделювання досліджена координатна неоднорідність поляризаційних мап азимута фонові та інформативної складових графічного зображення різномасштабного модельного оптично анізотропного об'єкту.

4. Продемонстрована можливість Фур'є селекції фонові та інформативної складових графічного зображення різномасштабного модельного оптично анізотропного об'єкту на полімерній основі.

### Список використаної літератури/References

1. Durduran, T., Choe, R., Baker, W. B., & Yodh, A. G. (2010). *Rep. Prog. Phys.*, 73(7), 076701.
2. Ghosh, N., & Vitkin, I. (2011). *J. Biomed. Opt.*, 16(11).
3. Jacques, S. (2011). in *Handbook of Biomedical Optics*, (Boas, D. A., Pitris, C., & Ramanujam, N., Eds.), CRC Press, Boca Raton, Florida, 649–669.



4. Ushenko, A. G., & Pishak, V. P. (2004). in *Handbook of Coherent Domain Optical Methods*. (Ed: V. V. Tuchin), Springer US, p. 93–138.
5. Ghosh, N. (2011). *J. Biomed. Opt.*, 16, 110801.
6. Jacques, S. L. (2011). in *Handbook of Biomedical Optics 2*. Boca Raton (Eds. Boas, D., Pitris, C. & Ramanujam, N.), CRC Press, p. 649–669.
7. Ghosh, N., Wood, M., & Vitkin, A. (2010). in *Handbook of Photonics for Biomedical Science* (Ed. Tuchin, V.), Boca Raton: CRC Press, p. 253–282.
8. Layden, D., Ghosh, N., & Vitkin, A. (2013). in *Advanced Biophotonics: Tissue Optical Sectioning* (Eds. Wang, R., & Tuchin, V.), Boca Raton: CRC Press, p. 73–108.
9. Vitkin, A., Ghosh, N., & de Martino, A. (2015). in *Photonics: Scientific Foundations, Technology and Applications* (ed. Andrews, D. L.), John Wiley & Sons, Ltd., p. 239–321.
10. Daubechies, I. (1992). Wavelets on the interval. in *Progress in Wavelet Analysis and Applications: Proceedings of the International Conference. Wavelets and Applications*, Toulouse, France.

**The article analyzes the algorithmic development of new optical and polarization methods for processing graphic images using coordinated spatial-frequency filtering for the selection of information and background components.**

**Keywords: graphic image; laser; Fourier transform; light intensity; polarization; digital camera.**

Надійшла до редакції 21.08.23