

УДК 51.76; 620.179

DOI: <https://doi.org/10.17721/3041-1491/2024.11-43>

Костянтин ЛАПІТАН, асп.

ORCID ID: 0000-0003-0050-405X

e-mail: [lapitan.kostiantyn@student.karazin.ua](mailto:lapitan.kostiantyn@student.karazin.ua)

Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, Харків, Україна

Костянтин НЕМЧЕНКО, д-р фіз.-мат. наук, проф.

ORCID ID: 0000-0002-0734-942X

e-mail: [nemchenko@karazin.ua](mailto:nemchenko@karazin.ua)

Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, Харків, Україна

Дар'я ЛІСТРОВА, магістр

ORCID ID: 0000-0002-3202-8150

e-mail: [d.listrova@karazin.ua](mailto:d.listrova@karazin.ua)

Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, Харків, Україна

## МОДИФІКОВАНІ АЛГОРИТМИ ЛІНІЙНОГО СКАНУВАННЯ В КОМП'ЮТЕРНІЙ ТОМОГРАФІЇ

**Вступ.** У цій роботі досліджується та аналізується ефективність нового підходу до комп'ютерної томографії, що базується на методиці конусної томографії з використанням прямолінійної траєкторії руху джерела випромінювання. Стандартні наближені методи реконструкції, попри їхню швидкість, можуть призводити до зниження якості зображень, що критично для діагностики, наприклад, при виявленні новоутворень малого розміру на ранніх стадіях.

**Методи.** Запропонований підхід, заснований на точних методах реконструкції, тому проєкційні дані, отримані від такої геометрії сканування, повні, що дозволяє очікувати точну та високоякісну реконструкцію об'єкта. Однак практичне застосування такої геометрії сканування має певні недоліки й обмеження, тому пропонуються кілька варіантів можливих модифікацій алгоритму.

**Результати.** У статті наведено результати дослідження ефективності методів реконструкції зображень на основі моделювання різних сценаріїв сканування. Результати свідчать про високу точність реконструкції у використанні квадратно-замкненої траєкторії за обмеженої довжини ходу випромінювача.

**Висновки.** Розроблено аналітичний алгоритм реконструкції та проведено його порівняння з класичним алгоритмом Фельдкамп-Девіса-Крейса. Результати показали, що новий алгоритм забезпечує точнішу реконструкцію та швидшу обробку даних, що сприятиме поліпшенню діагностичних процедур у медичній практиці.

**Ключові слова:** комп'ютерна томографія, конусний промінь, медична діагностика, тривимірна реконструкція.

### Вступ

Більшість алгоритмів комп'ютерної томографії які використовують у медичних дослідженнях належать до наближених методів реконструкції (Булавін та ін., 2017; Fu, Tseng, & Vedantham, 2024). Насамперед це пов'язано з алгоритмічною простотою таких методів і швидкодією, що дозволяє отримувати візуалізацію внутрішніх органів у реальному часі (Тао et al., 2020). Недоліком такого підходу є погіршення якості зображень та більша кількість шумів (Withers et al., 2021), що може бути критичним для виявлення раку на ранніх стадіях.

© Лапітан Костянтин, Немченко Костянтин, Лістрова Дар'я, 2024

Іншим підходом до розв'язання задачі тривимірної реконструкції є використання точних методів реконструкції. Такі методи відрізняються тим, що траєкторія руху випромінювача збігається із площинами, у яких відбувається реконструкція (Haltmeier, 2014; Smith, 1990). Такий підхід до сканування надає змогу отримати повний набір даних про внутрішні структури об'єкта та отримати якісне детальне зображення. Звичною проблематикою таких методів є обмеженість застосування через складну геометрію сканування, як наприклад сфера, променеве навантаження на пацієнта або незадовільний час реконструкції. Виходом з цієї ситуації є використання методики сканування, що задовольняє математичні умови точної реконструкції, але траєкторія випромінювача залишається досить простою для технічної реалізації такого апарата (Weiwen, Chao, & Fenglin, 2016).

*Мета цієї роботи* полягає в дослідженні методики конусної томографії з використанням прямолінійної траєкторії руху джерела випромінювання.

*Завданням роботи:* розробка аналітичного алгоритму реконструкції з використанням лінійної геометрії сканування, написання комп'ютерної моделі для перевірки ефективності роботи розробленого алгоритму, а також порівняння результатів нової методики з існуючим підходом, таким як алгоритм Фельдкампа–Девіса–Крейса (FDK).

### **Методи**

Для отримання аналітичної формули реконструкції було застосовано методи інтегральних перетворень. Комп'ютерна програма для перевірки аналітичного алгоритму була написана мовою C#. Розрахунок реконструкції відбувався на ноутбучі Acer NITRO 5 із центральним процесором 11th Gen Intel(R) Core i 5–11400H з тактовою частотою 2.70 ГГц.

### **Результати**

Розглянемо тривимірну проєкцію об'єкта на плаский датчик. Припустимо, що точковий випромінювач рухається вздовж нескінченної прямої і його позиція визначається координатою  $X_0$ . Матриця детекторів, що характеризується координатами  $X$  та  $Y$ , розташована на відстані  $H$  від траєкторії руху випромінювача (рис. 1). При такій геометрії сканування промені конусного випромінювання утворюють похилі площини, що перетинаються вздовж спільної прямої, яка є траєкторією руху випромінювача. Така особливість лінійної геометрії дозволяє перетворити тривимірну задачу реконструкції внутрішніх структур об'єкта, на скінчену кількість двовимірних задач реконструкцій у похилих площинах, в кожній з яких виконується умова повноти даних.

Для розглянутого випадку нескінченної прямої, уздовж якої проводиться сканування, результуюче зображення не зазнає наближень та артефактів, але реальні апарати мають обмеження в лінійних розмірах та в потужності випромінювання. Саме тому треба провести модифікацію аналітичного алгоритму з урахуванням цих обмежень.

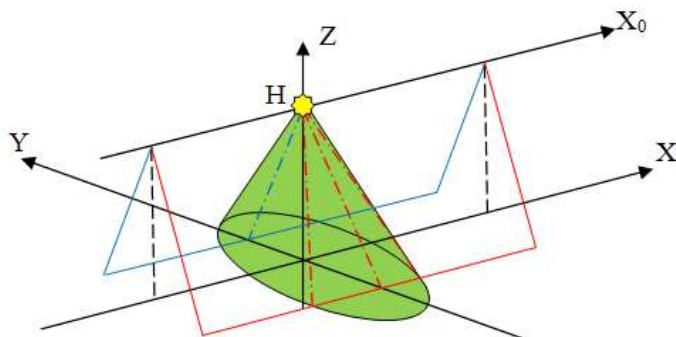


Рис. 1. Сканування конусним променем уздовж прямої лінії

Такою модифікацією стало використання кількох серій дослідів з поворотом системи випромінювача та детектора навколо об'єкта. Найкращих результатів вдалося досягти під час сканування по замкненій квадратній траєкторії з обмеженням довжини прямої  $X_0$  у 768 мм за розмірів об'єкта 256x256 мм. Для порівняння ефективності розробленого алгоритму було запущено реконструкцію об'єкта, що складається із 6 шарів та розмірами 256x256 мм. Реконструкція проводилась двома алгоритмами: Фельдкамп (FDK) та розробленим алгоритмом лінійного сканування (LSG), після чого було обчислено середньоквадратичне відхилення відносно оригіналу. Оригінали поперечного перетину представлено на рис. 2, результат роботи алгоритмів представлено на рис. 3 і 4. Дані порівняння наведено в табл. 1.

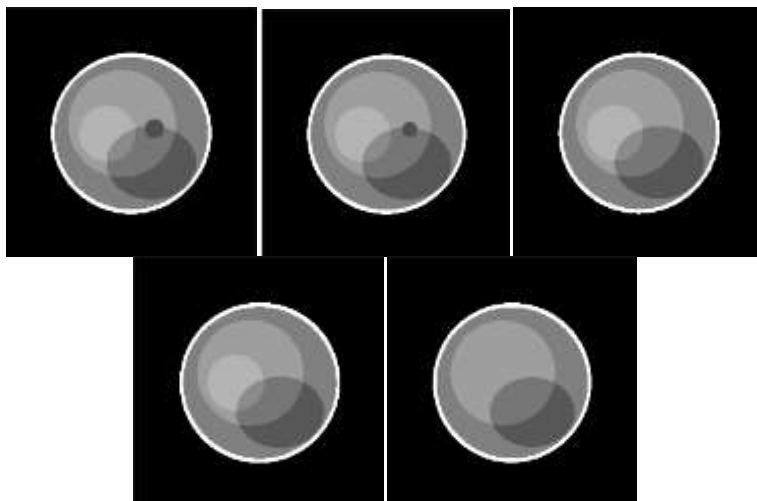


Рис. 2. Оригінал поперечного перетину об'єкта

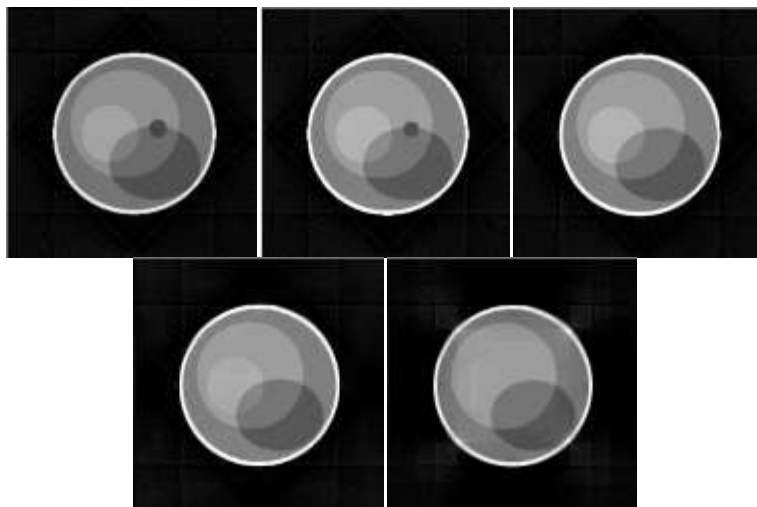


Рис. 3. Реконструкція поперечного перетину алгоритмом LSG

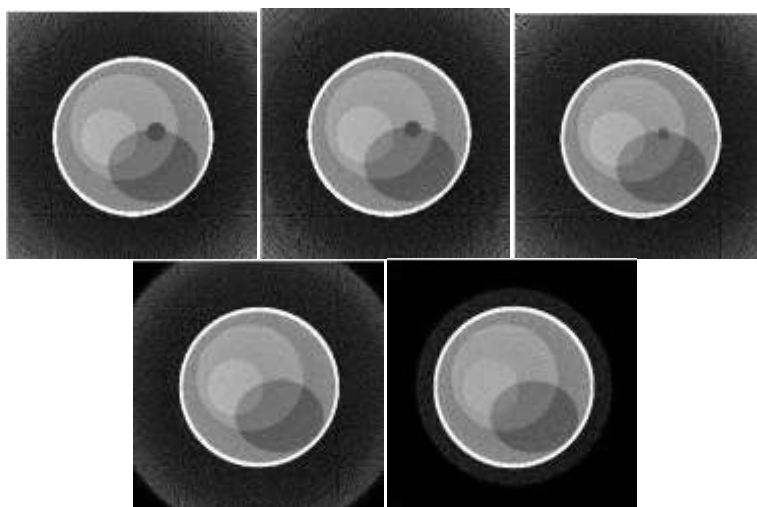


Рис. 4. Реконструкція поперечного перетину алгоритмом FDK

Таблиця 1

Розрахунок середньоквадратичного відхилення реконструкції

| Номер шару | LSG  | FDK   |
|------------|------|-------|
| 0          | 5,4  | 9,47  |
| 3          | 5,28 | 9,53  |
| 6          | 5,42 | 9,67  |
| 9          | 5,83 | 9,56  |
| 12         | 8,48 | 10,08 |

## Дискусія і висновки

Порівняно з класичним алгоритмом тривимірної реконструкції використання прямої лінії як геометрії сканування дає більшу проєкційну повноту даних, що забезпечує більш точну та детальну реконструкцію об'єкта. Метод все ще зазнає артефактів через наближення, але вони значно менші і дозволяють отримати якісне представлення про розподіл особливостей структури тіла за більших кутів конусності променя, ніж при звичних методах дослідження. Порівняно з класичним алгоритмом FDK наведений алгоритм обробляє дані швидше в 2.25 раза, що надзвичайно важливо у випадку великого обсягу даних або великої кількості реконструкцій у реальному часі.

**Внесок авторів:** Костянтин Лапітан – програмне забезпечення, формальний аналіз, написання – оригінальна чернетка; Костянтин, Немченко – концептуалізація, валідація даних; Дар'я Лістрова – програмне забезпечення, написання – перегляд і редагування.

## Список використаних джерел

Булавін, Л. А., Забашта, Ю. Ф., Мотолига, О. В., & Сенчуров, С. П. (2017). Аналіз стійкості методів томографічної реконструкції рентгенівських медичних зображень. *Біофізичний вісник*, 37(1), 9–15. <https://doi.org/10.26565/2075-3810-2017-37-02>

Fu, Z., Tseng, H.W., & Vedantham, S. (2024). An attenuation field network for dedicated cone beam breast CT with short scan and offset detector geometry. *Scientific Reports*, 14, 319. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-51077-1>

Haltmeier, M. (2014). Exact reconstruction formulas for a Radon transform over cones. *Inverse Problems*, 30(3), 035001. <https://doi.org/10.1088/0266-5611/30/3/035001>

Smith, B.D. (1990). Cone-beam tomography: recent advances and a tutorial review. *Optical Engineering*, 29(5), 524–534. <https://doi.org/10.1117/12.55621>

Tao, B., Shen, Y., Sun, Y., Huang, W., Wang, F., & Wu, Y. (2020). Comparative accuracy of cone-beam CT and conventional multislice computed tomography for real-time navigation in zygomatic implant surgery. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 22(6), 747–755. <https://doi.org/10.1111/cid.12958>

Weiwen, W., Chao, Q., & Fenglin, L. (2016). Filtered Back-Projection Image Reconstruction Algorithm for opposite parallel linear CT scanning. *Acta Optica Sinica*, 36(9), 0911009. <https://doi.org/10.3788/aos201636.0911009>

Withers, P.J., Bouman, C., Carmignato, S., Cnudde, V., Grimaldi, D., Hagen, C.K., Maire, É., Manley, M., Du Plessis, A., & Stock, S.R. (2021). X-ray computed tomography. *Nature Reviews Methods Primers*, 1, 18. <https://doi.org/10.1038/s43586-021-00015-4>

## References

Bulavin, L., Zabashta, Y., Motolyha, O., & Senchurov, S. (2017). Analysis of stability of tomographic reconstruction of X-ray medical images. *Biofizychnyi Visnyk Biophysical Bulletin*, 37(1), 9–15 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.26565/2075-3810-2017-37-02>

Fu, Z., Tseng, H.W., & Vedantham, S. (2024). An attenuation field network for dedicated cone beam breast CT with short scan and offset detector geometry. *Scientific Reports*, 14, 319. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-51077-1>

Haltmeier, M. (2014). Exact reconstruction formulas for a Radon transform over cones. *Inverse Problems*, 30(3), 035001. <https://doi.org/10.1088/0266-5611/30/3/035001>

Smith, B.D. (1990). Cone-beam tomography: recent advances and a tutorial review. *Optical Engineering*, 29(5), 524–534. <https://doi.org/10.1117/12.55621>

Tao, B., Shen, Y., Sun, Y., Huang, W., Wang, F., & Wu, Y. (2020). Comparative accuracy of cone-beam CT and conventional multislice computed tomography for real-time navigation in zygomatic implant surgery. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 22(6), 747–755. <https://doi.org/10.1111/cid.12958>

Weiwen, W., Chao, Q., & Fenglin, L. (2016). Filtered Back-Projection Image Reconstruction Algorithm for opposite parallel linear CT scanning. *Acta Optica Sinica*, 36(9), 0911009. <https://doi.org/10.3788/aos201636.0911009>

Withers, P.J., Bouman, C., Carmignato, S., Cnudde, V., Grimaldi, D., Hagen, C.K., Maire, É., Manley, M., Du Plessis, A., & Stock, S.R. (2021). X-ray computed tomography. *Nature Reviews Methods Primers*, 1, 18. <https://doi.org/10.1038/s43586-021-00015-4>

Отримано редакцією збірника / Received: 04.09.24

Прорецензовано / Revised: 23.09.24

Схвалено до друку / Accepted: 01.10.24

**Kostyantyan LAPITAN**, PhD Student

ORCID ID: 0000-0003-0050-405X

e-mail: [lapitan.kostiantyn@student.karazin.ua](mailto:lapitan.kostiantyn@student.karazin.ua)

V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine

**Kostyantyan NEMCHENKO**, DSc (Phys. & Math.), Prof.

ORCID ID: 0000-0002-0734-942X

e-mail: [nemchenko@karazin.ua](mailto:nemchenko@karazin.ua)

V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine

**Daria LISTROVA**, Master of Arts

ORCID ID: 0000-0002-3202-8150

e-mail: [d.listrova@karazin.ua](mailto:d.listrova@karazin.ua)

V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine

## MODIFIED LINEAR SCANNING ALGORITHMS IN COMPUTED TOMOGRAPHY

**Introduction.** *This paper investigates and analyzes the effectiveness of a new approach to computed tomography, based on cone-beam tomography using a linear trajectory of the radiation source. Standard approximate reconstruction methods, despite their speed, can lead to a decrease in image quality, which is critical for diagnostics, such as detecting small-sized tumors at early stages.*

**Methods.** *The proposed approach is based on exact reconstruction methods, where the projection data obtained from such scanning geometry is complete, allowing for an accurate and high-quality reconstruction of the object. However, the practical application of such scanning geometry has certain drawbacks and limitations, so several possible modifications of the algorithm are proposed.*

**Results.** *Additionally, the paper presents the results of a study on the effectiveness of image reconstruction methods based on simulations of different scanning scenarios. The results indicate high reconstruction accuracy when using a square-closed trajectory with a limited path length of the radiation source.*

**Conclusions.** *An analytical reconstruction algorithm was developed and compared with the classical Feldkamp-Davis-Kress (FDK) algorithm. The results showed that the new algorithm provides more accurate reconstruction and faster data processing, which will contribute to improving diagnostic procedures in medical practice.*

**Keywords:** *computed tomography, cone-beam, medical diagnostics, three-dimensional reconstruction.*

Автори К. Лапітан, К. Немченко, Д. Лістрова заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors K. Lapitan, K. Nemchenko, D. Listrova declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; in the decision to publish the results.