

УДК 616-073.757.1

ОПТИМИЗАЦИЯ ОЦЕНКИ РАССЕЯННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА РЕНТГЕНОВСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ: РЕАЛИСТИЧНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

А. Ю. ДАНИК, О. О. СУДАКОВ

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,
Украина, Киев, 01601, ул. Владимирская, 64/13

Аннотация. В статье предложены, исследованы и оптимизированы с помощью численного моделирования алгоритмы обработки изображения для компенсации влияния рассеянного излучения на рентгеновских снимках. Эти алгоритмы включают оценку рассеяния с помощью метода вычисления свертки (суперпозиции), расчета кернфункций (kernel function) с помощью моделирования по методу Монте-Карло (МК), определение оптимального количества и формы кернфункций и сегментация изображений. Определение количества и формы кернфункций осуществлялось путем МК моделирования реалистичного фантома «Зубал» (Zubal phantom) и кластерного анализа особенностей формы кернфункций. Изучение результатов работы предложенных алгоритмов на рентгеновских изображениях грудной клетки, полученных при 75 кэВ, доказывает, что оптимальное количество керн-функций составляет 8. Это количество обеспечивает повышение контраста примерно в 3 раза без использования антирассеивающих решеток. Достигнутый уровень контраста составляет приблизительно 95% от контраста первичного изображения, что превышает улучшение контраста, достигаемое с помощью антирассеивающих решеток. Увеличенное количество используемых кернфункций обеспечивает лучший контраст изображения и более высокое разрешение изображения с рассеянным излучением, однако при этом возрастают расчетные ошибки, вследствие ошибок сегментации и деконволюции.

Ключевые слова: рентгеновское изображение; ядра свертки рассеянного рентгеновского излучения; кластерный анализ; сегментация; моделирование по методу Монте-Карло

1. ВВЕДЕНИЕ

Рассеянное излучение — один из основных источников снижения контраста при рентгенодиагностике [1]. Система формирования рентгеновского изображения (рис. 1) излучает фотоны рентгеновских лучей и регистрирует рентгеновское излучение, прошедшее через объект [2, 3]. Излучение, распространяющееся внутри объекта, может проходить без взаимодействия, и может рассеяться или поглотиться.

Излучение, проходящее без взаимодействия, состоит из исходных или первичных фотонов и рассеянного излучения. Первичное рентгеновское излучение, которое прямо проходит через

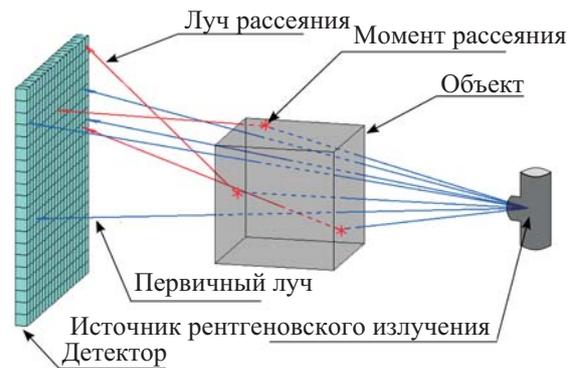


Рис. 1. Схема формирования рентгеновского изображения.

объект, содержит полезную для врача информацию. Рассеянное излучение, фиксируемое систе-

REFERENCES

- [1] Z. Song, A. M. Fendrick, D. G. Safran, B. E. Landon, M. E. Chernew, "Global budgets and technology-intensive medical services," *Healthcare*, vol. 1, no. 1–2, pp. 15–21, 2013, doi: [10.1016/j.hjdsi.2013.04.003](https://doi.org/10.1016/j.hjdsi.2013.04.003).
- [2] A. Assmus, "Early history of X rays," *Beam Line*, vol. 25, no. 2, pp. 10–24, 1995, uri: <https://www.slac.stanford.edu/pubs/beamline/25/2/25-2-assmus.pdf>.
- [3] M. J. Jensen, J. E. Wilhjelm, *X-ray imaging: Fundamentals and planar imaging*. Nutech: DTU, 2014.
- [4] P. Monnin, F. R. Verdun, H. Bosmans, S. R. Pérez, N. W. Marshall, "A comprehensive model for x-ray projection imaging system efficiency and image quality characterization in the presence of scattered radiation," *Phys. Med. Biol.*, vol. 62, no. 14, pp. 5691–5722, 2017, doi: [10.1088/1361-6560/aa75bc](https://doi.org/10.1088/1361-6560/aa75bc).
- [5] M. V. Kononov, O. A. Nagulyak, A. V. Netroba, "Influence of X-radiation in receiver system on reconstruction performance of projection tomography," *Radioelectron. Commun. Syst.*, vol. 51, no. 3, pp. 163–165, 2008, doi: [10.3103/S0735272708030084](https://doi.org/10.3103/S0735272708030084).
- [6] S. Webb, *Webb's Physics of Medical Imaging*, 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2012, uri: <https://www.routledge.com/Webb's-Physics-of-Medical-Imaging/Flower/p/book/9780750305730>.
- [7] I. Љabic, D. Kljucsek, M. Thaler, D. Zontar, "The effect of anti-scatter grid on radiation dose in chest radiography in children," *Cent. Eur. J. Paediatr.*, vol. 12, no. 1, pp. 75–80, 2016, uri: <http://cejpaediatrics.com/index.php/cejpa/article/view/273/pdf>.
- [8] E.-P. Rührschopf and, K. Klingenbeck, "A general framework and review of scatter correction methods in cone beam CT. Part 2: Scatter estimation approaches," *Med. Phys.*, vol. 38, no. 9, pp. 5186–5199, 2011, doi: [10.1118/1.3589140](https://doi.org/10.1118/1.3589140).
- [9] W. Zhao, S. Brunner, K. Niu, S. Schafer, K. Royalty, G.-H. Chen, "A patient-specific scatter artifacts correction method," in *Progress in Biomedical Optics and*

Imaging - Proc. of SPIE, 2014, vol. 9033, p. 903310, doi: [10.1117/12.2043923](https://doi.org/10.1117/12.2043923).

[10] P. G. F. Watson, E. Mainegra-Hing, N. Tomic, J. Seuntjens, "Implementation of an efficient Monte Carlo calculation for CBCT scatter correction: phantom study," *J. Appl. Clin. Med. Phys.*, vol. 16, no. 4, pp. 216–227, 2015, doi: [10.1120/jacmp.v16i4.5393](https://doi.org/10.1120/jacmp.v16i4.5393).

[11] K. Kim *et al.*, "Fully iterative scatter corrected digital breast tomosynthesis using GPU-based fast Monte Carlo simulation and composition ratio update," *Med. Phys.*, vol. 42, no. 9, pp. 5342–5355, 2015, doi: [10.1118/1.4928139](https://doi.org/10.1118/1.4928139).

[12] A. V. Netreba, S. P. Radchenko, M. O. Razdabara, "Correlation reconstructed spine and time relaxation spatial distribution of atomic systems in MRI," in *2014 IEEE 34th International Scientific Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO)*, 2014, pp. 365–367, doi: [10.1109/ELNANO.2014.6873453](https://doi.org/10.1109/ELNANO.2014.6873453).

[13] Y. Suleimanov *et al.*, "Magnetic resonance signal processing tool for diagnostic classification," in *2016 IEEE 36th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO)*, 2016, pp. 175–179, doi: [10.1109/ELNANO.2016.7493042](https://doi.org/10.1109/ELNANO.2016.7493042).

[14] J. Maier, S. Sawall, M. Kachelriess, Y. Berker, "Deep scatter estimation (DSE): feasibility of using a deep convolutional neural network for real-time x-ray scatter prediction in cone-beam CT," in *Medical Imaging 2018: Physics of Medical Imaging*, 2018, vol. 10573, p. 56, doi: [10.1117/12.2292919](https://doi.org/10.1117/12.2292919).

[15] A. Y. Danyk, S. P. Radchenko, O. O. Sudakov, "Optimization of grid-less scattering compensation in X-ray imaging: Simulation study," in *2017 IEEE 37th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO)*, 2017, pp. 316–320, doi: [10.1109/ELNANO.2017.7939770](https://doi.org/10.1109/ELNANO.2017.7939770).

[16] A. Danyk, S. Radchenko, A. Netreba, O. Sudakov, "Using clustering analysis for determination of scattering kernels in X-ray imaging," in *2019 10th IEEE International*

Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS), 2019, vol. 1, pp. 211–215, doi: [10.1109/IDAACS.2019.8924353](https://doi.org/10.1109/IDAACS.2019.8924353).

[17] E. D. Prilepsky, J. E. Prilepsky, "Estimation of optimal parameter of regularization of signal recovery," *Radioelectron. Commun. Syst.*, vol. 61, no. 9, pp. 406–418, 2018, doi: [10.3103/S0735272718090030](https://doi.org/10.3103/S0735272718090030).

[18] I. A. Sushko, A. I. Rybin, "Speeding up the Tikhonov regularization iterative procedure in solving the inverse problem of electrical impedance tomography," *Radioelectron. Commun. Syst.*, vol. 58, no. 9, pp. 426–433, 2015, doi: [10.3103/S0735272715090058](https://doi.org/10.3103/S0735272715090058).

[19] E.-P. Rührnschopf, K. Klingenberg, "A general framework and review of scatter correction methods in x-ray cone-beam computerized tomography. Part 1: Scatter compensation approaches," *Med. Phys.*, vol. 38, no. 7, pp. 4296–4311, 2011, doi: [10.1118/1.3599033](https://doi.org/10.1118/1.3599033).

[20] I. G. Zubal, C. R. Harrell, E. O. Smith, Z. Rattner, G. Gindi, P. B. Hoffer, "Computerized three-dimensional segmented human anatomy," *Med. Phys.*, vol. 21, no. 2, pp. 299–302, 1994, doi: [10.1118/1.597290](https://doi.org/10.1118/1.597290).

[21] D. Sarrut *et al.*, "A review of the use and potential of the GATE Monte Carlo simulation code for radiation therapy and dosimetry applications," *Med. Phys.*, vol. 41, no. 6Part1, p. 064301, 2014, doi: [10.1118/1.4871617](https://doi.org/10.1118/1.4871617).

[22] O. Sudakov, M. Kononov, I. Sliusar, A. Salnikov, "User clients for working with medical images in Ukrainian Grid infrastructure," in *2013 IEEE 7th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS)*, 2013, vol. 2, pp. 705–709, doi: [10.1109/IDAACS.2013.6663016](https://doi.org/10.1109/IDAACS.2013.6663016).

[23] L. Scrucca, M. Fop, B. Murphy, T., E. Raftery, Adrian, "mclust 5: Clustering, classification and density estimation using Gaussian finite mixture models," *R J.*, vol. 8, no. 1, p. 289, 2016, doi: [10.32614/RJ-2016-021](https://doi.org/10.32614/RJ-2016-021).

Received March 19, 2020

Revised August 11, 2020

Accepted August 11, 2020