

ПОЛУЧЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ ОБЪЕКТОВ В УСЛОВИЯХ СЛАБЫХ ПОТОКОВ ФОТОНОВ

Н. В. Трапенко, И. Н. Кольчевская, П. В. Петров, Н. Н. Кольчевский

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

E-mail: kolchevsky@bsu.by

Работа направлена на восстановление изображений при малом количестве информации для детекторов, работающих в режиме малого числа фотонов, что характерно для рентгеновского диапазона. Обсуждаются результаты численного моделирования и результаты распознавания изображений, содержащих счетное число фотонов.

Ключевые слова: *малое число фотонов, рентгеновские изображения, распознавание изображений.*

Рентгеновское излучение – это электромагнитное излучение с энергией фотонов от 1 до 100 кэВ, что значительно превышает энергию фотонов видимого диапазона. Поскольку рентгеновские лучи практически не отклоняются в материале, а интенсивность определяется ослаблением, зависящим от электронной плотности вещества, то это приводит к резким теням в проекционных изображениях рентгенографии. Качество проекционных методов получения изображений существенно зависит от вида детектора.

Для получения изображений традиционно используются сцинтилляционные детекторы. Принцип работы сцинтилляционного детектора заключается в преобразовании энергии ионизирующего излучения в энергию света с последующей регистрацией световых вспышек цифровой ПЗС матрицей. Прогресс в технологиях создания современных CCD и CMOS и высокая энергия отдельных фотонов рентгеновского излучения приводит к визуализации процесса формирования изображений при низких уровнях освещенности или малофотонных потоках. Предельная чувствительность таких матричных приёмников в рентгеновском диапазоне ограничена не шумами считывания, наведенного заряда или тепловыми шумами характерными для традиционных ПЗС приёмников, а собственными шумами потока фотонов.

Природа фотонного шума заключается в дискретном характере детектирования потока излучения квантовыми приемниками. Статистические свойства процессов регистрации излучения и фотонного шума удобно рассмотреть на основе полуклассической теории фоторегистрации, при этом предполагается: отсутствие пространственно-временных флуктуаций интенсивности излучения; вероятность более одного фотособытия в рассматриваемых интервалах времени и площади пренебрежимо мала по

сравнению с вероятностью одного фотособытия и отсутствия фотособытий. Фотособытия в двух неперекрывающихся интервалах времени независимы. Данные предположения соответствуют задаче статистики дискретных независимых событий. Рассмотрим задачу освещения матрицы, размером N на N ячеек, равномерным потоком с числом фотонов N^2 . Учитывая случайный характер заполнения матрицы фотонами, получим неравномерное распределение фотонов с числом возможных уникальных состояний P , что говорит о сложности распознавания изображений:

$$P = \frac{(2N^2 - 1)!}{N^2! \cdot (N^2 - 1)!}, \quad (1)$$

где P – число состояний изображения, N^2 – количество ячеек камеры.

Вычисления по полученной формуле 1 показывают, что для $N=2$ число состояний $P=35$, для $N=100$ число состояний $P=1.1 \cdot 10^{6018}$, для $N=1000$ число состояний $P=2.8 \cdot 10^{602056}$. Расчеты показывают, что вероятность получить равномерное распределение ничтожно мала.

Для исследования изображений, получаемых с малым числом фотонов, применялось численное моделирование. Для моделирования задачи освещения матрицы, размером N на N ячеек, равномерным потоком, со счетным числом фотонов, разработано программное обеспечение SMI (search for moment identification) рисунок 1. Программа создана на языке программирования Pascal в среде RAD Studio 11. Интерфейс представляет собой основное окно, и четыре выводимых окна с графиками. Основное окно позволяет задавать ключевые параметры и обладает кнопками запуска последовательных итераций.

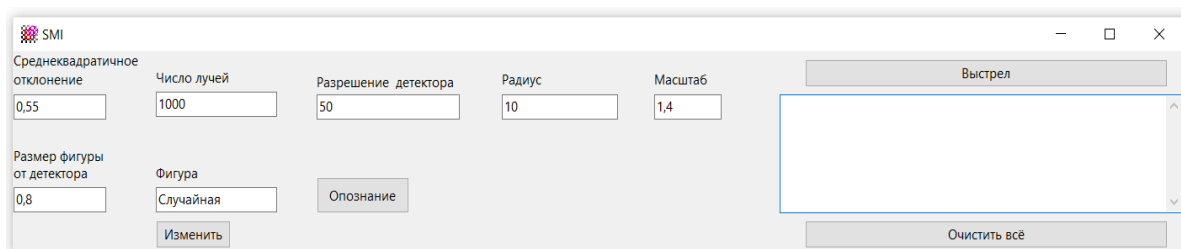


Рис. 1. Интерфейс программы SMI.

Алгоритм SMI представляет собой генерацию и вычисление попадания заданного числа фотонов в фигуру на детекторе, вычисление принадлежности попадания в пиксель и последующее восстановление с помощью нормального распределения изображения. Идея восстановления изображения состоит в том, что при низких энергиях и слабом потоке фотонов, попадание фотона в пиксель детектора может не привести к его активации. Полученное изображение будет показывать ожидаемые пики интенсивности.

С каждым фотоном, попадающим на детектор, свяжем функцию нормального распределения, заполняющую соседние пикселы. Результаты двумерных распределений фотонов на детекторе показаны на рис. 2 и 3.

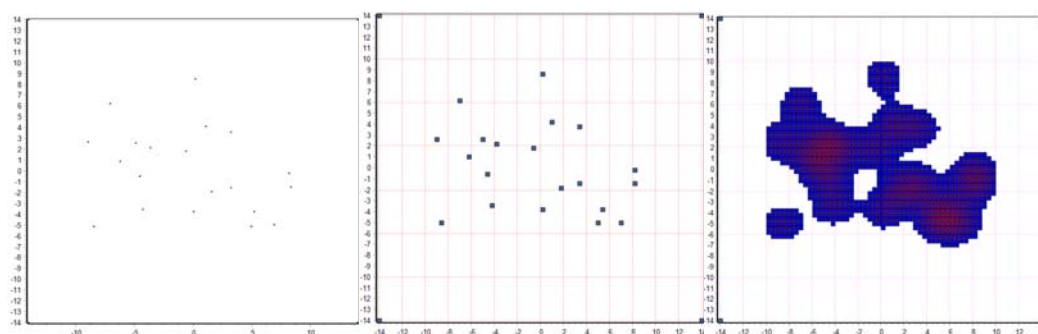


Рис. 2. Результаты численного моделирования: 1) изображение 20 фотонов, 2) распределение активных пикселей, 3) результат восстановления изображения.

Для 100 фотонов и $\sigma=1$ результаты численного моделирования: показаны на рисунке 3. Видно, что рассчитанное изображение, позволяет идентифицировать исследуемый объект – круг.

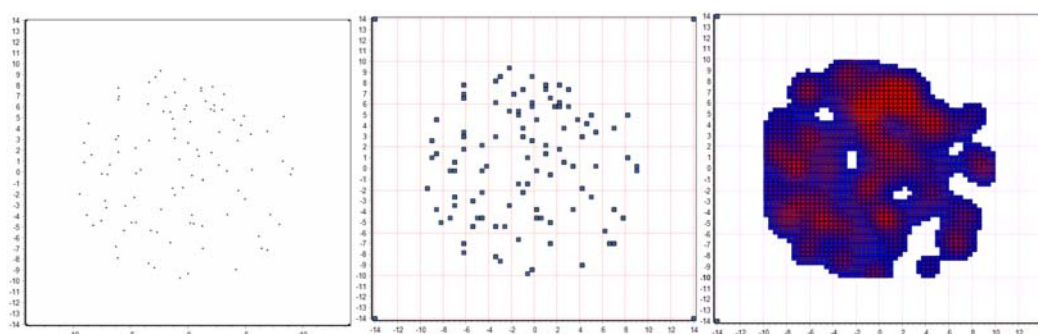


Рис. 3. Результаты численного моделирования: 1) изображение 100 фотонов, 2) распределение активных пикселей, 3) результат восстановления изображения.

С ростом числа фотонов методика восстановления изображения на основе нормального распределения увеличивает достоверность распознавания изображения объекта.

Разработанное программное обеспечение позволяет исследовать процессы формирования изображений и методики распознавания изображений при малых потоках фотонов, что важно для исследования быстропротекающих процессов, уменьшения радиационной нагрузки и повышения чувствительности детекторов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. MacDonald K.A. X-ray Physics, Optics, and Applications // Princeton University Press. 2017.
2. Ахманов С. А., Дьяков Ю. Е., Чиркин А. С. Введение в статистическую радиофизику и оптику // М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы. 1981. 640 с.