

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИНТРОСКОПИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ДУАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ

*Ю.Н. Гавриш¹, Я.А. Бердников², Д.О. Спири², А.Н. Передерий³, М.В. Сафонов³,
И.В. Романов³*

¹*ФГУП «Научно-исследовательский институт электрофизической аппаратуры
им. Д.В. Ефремова», Санкт-Петербург, Россия*

E-mail: npkluts@niiefa.spb.su;

²*Санкт-Петербургский государственный политехнический университет,
Санкт-Петербург, Россия*

E-mail: imor@imor.spbstu.ru;

³*ГУ Войсковая часть, Железнодорожный, Россия*

E-mail: vilage@dol.ru

Разработано программное обеспечение, позволяющее осуществлять необходимую математическую и компьютерную обработку интроскопических изображений и визуализацию результатов распознавания. Программный комплекс для восстановления интроскопических изображений с определением Z -функции на основе метода дуальной энергии дает возможность распознавания не менее четырех групп элементов и проведения детального анализа содержимого просвеченных объектов с помощью различных функций фильтрации, коррекции и улучшения интроскопических изображений.

1. ВВЕДЕНИЕ

Интроскопическое исследование внутренней структуры объектов осуществляется путем просвечивания их пучком фотонов жесткого тормозного излучения, генерируемого ускорителем электронов. Прошедшее через контролируемый объект излучение регистрируется детекторной линейкой. После соответствующей обработки изображение инспектируемого объекта отображается на экране компьютера рабочего места оператора, где проводится его визуальный анализ с целью обнаружения подозрительных включений.

Интроскопические изображения высокого качества крупногабаритных объектов достижимы лишь при использовании высокоэнергетического тормозного излучения с граничной энергией до 10 МэВ. Использование метода дуальной энергии в данном энергетическом диапазоне затруднено в силу ограничений, связанных с физикой взаимодействия гамма-квантов с веществом.

2. АЛГОРИТМ ПРОГРАММЫ

Для идентификации различных материалов по атомному номеру Z используется метод дуальной энергии. Исследуемый объект просвечивается пучками тормозного излучения с разными граничными энергиями (4.5 и 9 МэВ), и получаются два теневых изображения, соответствующие высокой и низкой граничной энергии. В связи с тем, что степень ослабления излучения объектами, имеющими одинаковую массовую толщину, зависит от Z , существует возможность распознавать различные материалы по атомному номеру. Если массовая толщина объекта неизвестна, то для определения атомного номера по степени ослабления излучения необходимо иметь,

как минимум, два уравнения, так как возникают две неизвестные (массовая толщина t и атомный номер Z). Эти два уравнения можно записать, измерив степень ослабления пучков тормозного излучения для двух разных граничных энергий тормозного спектра, что позволяет использовать метод дуальной энергии для определения атомного номера материала. К сожалению, при энергии в области от 1 до 10 МэВ массовый коэффициент ослабления излучения слабо зависит от материала, так как преобладает комптоновское рассеяние, а составляющая массового коэффициента ослабления, определяемая комптоновским рассеянием, от материала практически не зависит. Слабая зависимость массового коэффициента поглощения от материала определяется процессом рождения пар, для которого составляющая массового коэффициента ослабления $\sim Z^2/A \sim Z$. При увеличении энергии фотонов выше порога рождения пар растет вклад процесса образования пар и усиливается зависимость массового коэффициента ослабления от атомного номера вещества. Таким образом, для идентификации материалов по атомному номеру необходимо использовать тормозное излучение с граничной энергией, заметно превышающей порог рождения пар, а низкоэнергетическую часть спектра обрезать фильтром. Значения граничных энергий 4.5 и 9 МэВ представляются оптимальными для идентификации по атомному номеру.

Интроскопические исследования основаны на определении радиоскопической прозрачности объекта (отношения интенсивности излучения, регистрируемого детектором, при наличии и в отсутствии объекта). При облучении однородного объекта с оптической толщиной t из материала с атомным номером Z пучком тормозного излучения с граничной

энергией E_0 выражение для радиоскопической прозрачности имеет вид:

$$T(E_0, t, Z) = \frac{\int_0^{E_0} S(E_0, E) \exp(-\mu(E, Z) \cdot t) dE}{\int_0^{E_0} S(E_0, E) dE}, \quad (1)$$

где $\mu(E, Z)$ – массовый коэффициент ослабления излучения с энергией квантов E ; $S(E_0, E)$ – произведение спектральной плотности интенсивности излучения и функции отклика детектора. Спектральную плотность интенсивности излучения представим в виде произведения спектральной плотности интенсивности тормозного излучения (формула Шиффа [1]) и коэффициента, учитывающего ослабление низкоэнергетической части спектра предварительным фильтром.

Используя (1), можно составить для различных значений Z таблицы соответствия прозрачности и оптической толщины при обеих граничных энергиях тормозного спектра ($E_{01}=9$ МэВ и $E_{02}=4.5$ МэВ). Для определения атомного номера материала по измеренным значениям прозрачности при граничных энергиях E_{01} и E_{02} определяем по таблицам соответствия значения оптической толщины $t_1(Z)$ и $t_2(Z)$ для каждого из рассматриваемых значений Z . Учитывая, что оптическая толщина не зависит от граничной энергии спектра, идентификацию атомного номера определяем из условия минимума функционала:

$$F(Z) = \frac{|t_1(Z) - t_2(Z)|}{t_1(Z)}. \quad (2)$$

Если объект имеет гетерогенную структуру, то можно оценить только эффективное значение Z атомных номеров составляющих его материалов, соответствующее среднему массовому коэффициенту ослабления:

$$\langle \mu(E, Z) \rangle = \frac{1}{t} \sum_{i=1}^N \mu(E, Z_i) \cdot t_i, \quad (3)$$

где Z_i и t_i – атомный номер и массовая толщина каждого гомогенного участка объекта; N – количество таких участков; t – полная оптическая толщина объекта. С точки зрения поглощения излучения гетерогенный объект можно рассматривать как гомогенный с суммарной массовой толщиной и усредненным коэффициентом поглощения. По измеренным в эксперименте прозраностям можно оценить эффективное значение атомного номера, используя таблицы соответствия и минимизируя функционал (2). Таким образом, для объекта с гетерогенной структурой метод дуальной энергии позволяет определить только некоторое эффективное значение атомного номера. Поэтому рассматривается не задача полной идентификации материалов по атомному номеру, а задача распознавания определенной группы элементов. Необходимо распознавание следующих четырех групп элементов:

- легких материалов ($Z_{eff}=5$);
- материалов со средним атомным номером ($Z_{eff}=13$);
- «неорганических» материалов ($Z_{eff}=26$);
- тяжелых элементов ($Z_{eff}=82$).

Распознавание групп материалов по значению Z производится по измеренным значениям прозрачностей для обеих граничных энергий. Используются два критерия. По таблицам соответствия для измеренных прозрачностей и каждого рассматриваемого значения Z определяются оптические толщины, а затем Z определяется минимизацией функционала (2). Второй критерий основан на определении отношения логарифмов прозрачностей при высокой и низкой энергиях:

$$R(E_{01}, E_{02}, t, Z) = \frac{\ln T(E_{01}, t, Z)}{\ln T(E_{02}, t, Z)}, \quad (4)$$

которое является отношением усредненных по спектру эффективных коэффициентов ослабления при высокой и низкой энергиях. При использовании предварительного фильтра, ослабляющего низкоэнергетическую часть тормозного спектра, величина R для определенного значения оптической толщины однозначно связана с атомным номером. Таким образом, совместное использование обоих критериев позволяет однозначно оценить и распознать группу элементов по эффективному атомному номеру.

3. ОСНОВНЫЕ ФУНКЦИИ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА

Программный комплекс для восстановления интроскопических изображений с определением Z -функции на основе метода дуальной энергии представляет собой программу цифровой обработки изображений, позволяющую выводить на экран изображения объекта, полученного при сканировании, и проводить детальный анализ содержимого просвеченных объектов с помощью различных функций фильтрации, коррекции и улучшения интроскопических изображений.

Программный комплекс позволяет выполнять следующие функции.

Функции фильтрации изображений:

- устранение одномерных и двумерных полос на интроскопическом изображении;
- подавление шумов путем усреднения;
- локальная фильтрация с заданным ядром;
- фильтрация линейными и нелинейными фильтрами, заданными матрицами;
- трансформация гистограмм изображений;
- медианная фильтрация для подавления импульсного шума;
- билатеральная фильтрация.

Функции линейных геометрических преобразований изображений:

- обрезка изображения;
- изменение размеров изображения;
- вращение изображения на 90 градусов в разных направлениях; вращение изображения на произвольный угол;
- горизонтальная и вертикальная геометрическая инверсия;
- выделение произвольного фрагмента изображения и его представление в специальном окне.

Функции над фрагментом изображения:

- произвольное масштабирование фрагмента изображения;

- контрастная оптимизация фрагмента изображения;
- коррекция и фильтрация фрагмента изображения;
- интегральные и статистические измерения.
Функции цветовой палитры:
- представление изображения в псевдодоцветах по заданной палитре;
- инвертирование палитры цветов.
Функции редактирования:
- прокрутка изображений;
- полноэкранное представление изображений.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В качестве результатов работы программного комплекса приведены интроскопические изображения тестовых объектов.

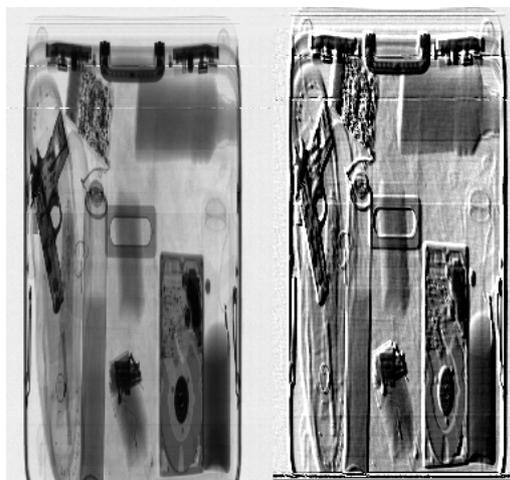


Рис.1. Пример применения фильтра "Рельеф"

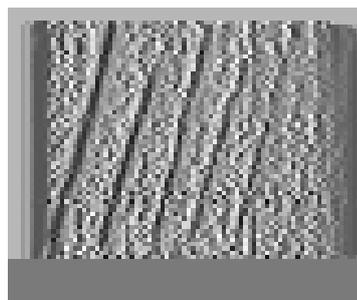


Рис.2. Изображение тестовых проволочек различного диаметра за 150 мм железным барьером

Созданное программное обеспечение будет использовано при создании интроскопических комплексов и позволит повысить эффективность обнаружения несанкционированных грузов, в том числе радиоактивных и урансодержащих веществ.

ЛИТЕРАТУРА

1. L.I. Schiff. Energy-Angle Distribution of Thin Target Bremsstrahlung // *Physical Review*. 1951, v.83, №2, p.252-253.

Статья поступила в редакцию 07.09.2009 г.

SOFTWARE FOR RECONSTRUCTION OF RADIOSCOPIC IMAGES BY USING THE DUAL ENERGY METHOD

Yu.N. Gavrish, Ya.A. Berdnikov, D.O. Spirin, A.N. Peredery, M.V. Safonov, I.V. Romanov

A software has been developed, which allows a necessary mathematical and computer processing of radioscopic images to be done and the results of discrimination to be visualized. The software for reconstruction of radioscopic images with the definition of Z-function on the basis of the dual energy method allows not less than 4 groups of elements to be discriminated and a detailed analysis of the content of irradiated objects to be done by using functions of filtering, correction and enhancement of radioscopic images.

ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ІНТРОСКОПІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ ДУАЛЬНОЇ ЕНЕРГІЇ

Ю.Н. Гавриш, Я.А. Бердников, Д.О. Спирін, А.Н. Передерій, М.В. Сафонов, І.В. Романов

Розроблено програмне забезпечення, що дозволяє здійснювати необхідну математичну і комп'ютерну обробку інтроскопичних зображень та візуалізацію результатів розпізнавання. Програмний комплекс для відновлення інтроскопичних зображень з визначенням Z-функції на основі методу дуальної енергії дає можливість розпізнавання не менше чотирьох груп елементів і проведення детального аналізу вмісту просвічених об'єктів за допомогою різних функцій фільтрації, корекції та покращення інтроскопичних зображень.