

Библиографический список

1. Кленин В.И., Щеголев С.Ю., Лаврушин В.И. Характеристические функции светорассеяния дисперсных систем.-Саратов:СГУ, 1977. 177 с.

2. Тихоненко Т.И., Добров Ю.Н. К вопросу об учете светорассеяния при определении "истинных величин поглощения" вирусных частиц//Молекулярная биология, 1978. Т.12. № 3. С.518-521.

3. Безрукова А.Г. Спектроскопическое исследование липосом// Молекулярная физика и биофизика водных систем /Л.:ЛГУ, 1983. С.37-41.

4. Коликов В.М., Мчедlishvili Б.Н. Хроматография биополимеров на микропористых кремнеземах. Л.:Наука, 1986- 360 с.

5. Рамазанов К.Р., Хлебцов Н.Г., Щеголев С.Ю., Кленин В.И. Характеристические функции светорассеяния полидисперсных систем// Коллоидный журнал, 1983. Т.45. № 3. С.173-179.

УДК 681.32

Б.А.Рыжков, Н.Т.Нечитайло

УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ КОМПЛЕКС
РЕКОНСТРУКЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПО ПРОЕКЦИЯМ

(г. Томск)

Задачи реконструкции изображений многомерного объекта по совокупности его проекций возникают во многих практических и научных приложениях. Особенно широкое применение реконструкция изображений находит в медицине и неразрушающих методах контроля. Реконструкция изображений по проекциям есть процесс получения двумерного распределения плотности по оценкам его лучевых сумм вдоль конечного числа линий с известным положением.

Задачи, решаемые комплексом, ориентированы на реконструкцию пространственных объектов по двумерным и одномерным проекциям, представляющим электронные микрофотографии, получаемые в проходящем через объект пучке проникающего излучения. Совместное рассмотрение множества по-разному ориентированных проекций позволяет выделить такие детали внутренней структуры объекта, которые остаются незаметными на отдельно взятых проекциях.

Реконструкция изображений связана с обработкой больших объемов информации по сложным алгоритмам в условиях наложения разнообразных помех и ограничений. Для решения таких задач и разрабатывается учебно-исследовательский комплекс, обеспеченный специальным программным обеспечением и эффективными средствами графического представления. Программное обеспечение комплекса состоит из системы формирования проекций, системы обработки, системы анализа и системы представления данных.

Система формирования проекций основана на математическом моделировании источников проникающего излучения, процесса поглощения излучения веществом, регистрации прошедшего через объект излучения и структуры объекта исследований.

Система обработки содержит алгоритм реконструкции изображений по двумерным и одномерным проекциям, алгоритмы восстановления в нормальном пространстве сигналов, которые сводятся к обращению матриц и восстановлению в пространстве Фурье-спектров (а именно одномерное и двумерное, прямое и обратное преобразование Фурье), и другие алгоритмы, связанные с нормировкой, преобразованием координат и т.д.

Система анализа содержит алгоритмы определения меры близости реконструкции и оригинала, а также оценки скорости вычисления.

Система представления данных обеспечивает наглядное представление плоских и пространственных изображений, детализацию и минимизацию визуальной информации.

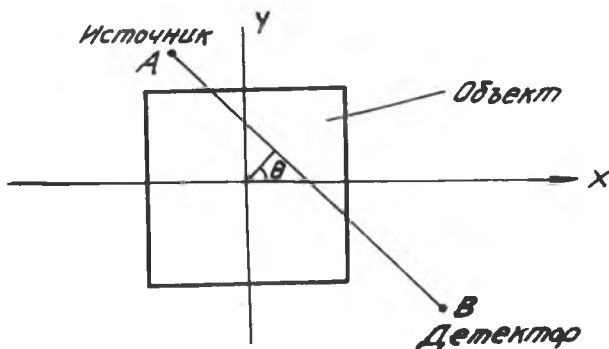
Учебно-исследовательский комплекс реконструкции изображений разрабатывается в качестве эффективного средства обучения студентов навыкам исследовательской работы. Постановка работы комплекса позволяет увязать теоретические знания студентов по специальным математическим дисциплинам с их практическим применением, дает возможность обучать методам математической постановки задач, вытекающих из реальных практических ситуаций.

Так как совершенно различные применения реконструкции изображений имеют подобные математические основы, учебно-исследовательский комплекс строится как универсальное средство, на основе которого предполагается проектирование специализированных комплексов по архитектуре, языкам и технологиям в зависимости от целевого назначения и предъявляемых требований.

Реконструкция изображений основана на обработке проекций по алгоритмам, определяемым заданными схемами сканирования. Рассмотр-

рим физическую сущность получения проекций и основы алгоритмов реконструкции.

Типичная схема получения проекций для реконструкции изображений трехмерного объекта представлена на рис. I. Предполагая,



Р и с. I. Схема получения проекций для реконструкции изображений трехмерного объекта

что источник излучения A точечный, каждый луч монохроматичен и идеально сфокусирован, его поперечные размеры исчезающе малы, интенсивность излучения в каждой точке B определяем соотношением

$$J(B) = J_0(B) \exp \left[- \int_A^B \mu(x, y) d\ell \right], \quad (1)$$

где $\mu(x, y)$ - линейный коэффициент ослабления проникающего излучения;

$J_0(B)$ - интенсивность излучения в точке B при отсутствии объекта.

Выражение

$$p(B) = - \ln \left(\frac{J(B)}{J_0(B)} \right) = \int_A^B \mu(x, y) d\ell. \quad (2)$$

называют проекцией.

Проникающее излучение, в зависимости от системы сканирования, в плоскости регистрации может охватывать некоторую плоскость, создавая двумерную проекцию, или разворачиваться в виде плоского луча на одной линии, образуя одномерную проекцию. Интенсивность

излучения в плоскости регистрации в реальных условиях зависит как от распределения интенсивности падающего излучения, что вообще не является характеристикой объекта, так и результата последовательного взаимодействия луча со всеми структурными элементами объекта. В результате сигнал изменяется по более сложному чем соотношение (1), закону

$$J(B) = \int dE D(E) J_0(B) \exp \left[- \int \mu(x, y, E) dl \right],$$

где $D(E)$ - характеристика детектора как функция энергии излучения.

Проекция, полученная в соответствии с выражением (2), является теньвым отражением и не позволяет оценить глубинное распределение плотности объекта, так как характер взаимодействия излучения с объектом приводит к наложению структур вдоль луча независимо от очередности следования соответствующих участков.

Значение, вычисленное по равенству (2), является приближенным. Реальное излучение является полихроматичным, спектр распределения энергии пучка становится более жестким по мере прохождения через объект. Статистика фотонов и изменение энергетического спектра излучения являются причинами приближенной оценки плотности распределения объекта. Кроме этого, фокальное пятно источника излучения и детектор имеют конечные размеры.

Моделирование формирования проекций позволяет разделить вклад перечисленных причин погрешности при оценке плотности распределения.

Для отработки численных алгоритмов необходимо представить модель объекта. Модель объекта представляется в виде квадратного кадра изображения с центром в начале координат. Функция изображения кадра есть функция двух переменных. Значение функции изображения в произвольной точке ρ называют плотностью, которая за пределами кадра равна нулю.

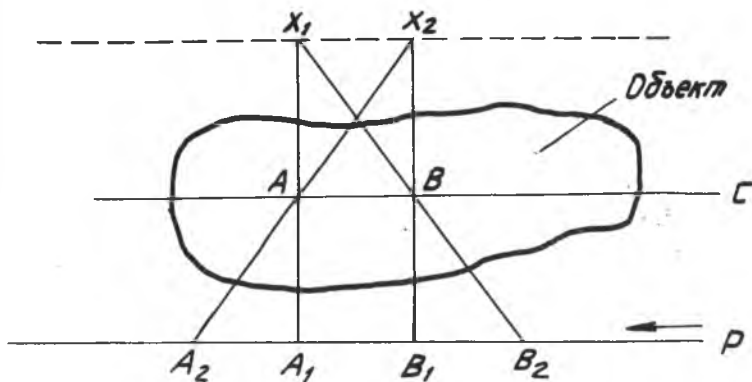
В определенные места кадра накладывается набор элементарных объектов, которые задаются определенной плотностью, размером и ориентацией. Элементарные объекты задаются в виде стандартных геометрических фигур, расположение которых задается координатами их центра, углом наклона относительно системы координат кадра и размером. Кадр разбивается сеткой на N элементов изображения. Функция изображения внутри этих элементов постоянна.

При отсутствии статистических флуктуаций дискретное вычисление проекций осуществляется в виде

$$\rho_i = \sum_{j=1}^n \ell_j \mu_j,$$

где μ_j — плотность j -го элемента объема;
 ℓ_j — длина пересечения луча с j -м элементом.

Технические особенности формирования проекций определяют выбор алгоритма реконструкции. В зависимости от способа получения проекций реконструкции, в основном, разделяются на линейную и аксиальную томографии, каждая из которых имеет множество разнообразных вариантов. Наиболее общий вариант линейной томографии иллюстрирует рис.2.



Р и с . 2. Общий вариант линейной томографии

Аналоговый вариант линейной томографии осуществляется на фотографической пластинке. Для выделения плоского сечения C объекта параллельно этой плоскости располагают пластину P , а по другую сторону источник излучения X . Равномерным перемещением источника излучения и пластины в противоположных направлениях создается условие, при котором все точки плоскости C проектируются в одну и ту же точку плоскости P . Точки, расположенные выше и ниже фокальной плоскости, проектируются в разные точки плоскости P , поэтому плоскость C на пластине проявляется более контрастно, остальные сечения объекта размываются.

Более совершенным из томографии этого типа является томосинтез, широко используемый для визуализации внутреннего строения для неразрушающих методов контроля.

Томосинтез основан на получении множества рентгенограмм, соответствующих определенным положениям источника излучения, помещаемого дискретно по закону, определяемому структурой объекта. Каждая из рентгенограмм представляет теневое отображение по-разному расположенного объекта.

При плоскопараллельной геометрии проецирования суммирование рентгенограмм, смещенных относительно друг друга, дает новое изображение, называемое томографией, на которой контрастируется определенное сечение объекта. Выделяемое сечение объекта определяется величиной взаимного смещения рентгенограмм, которая определяется из геометрии эксперимента.

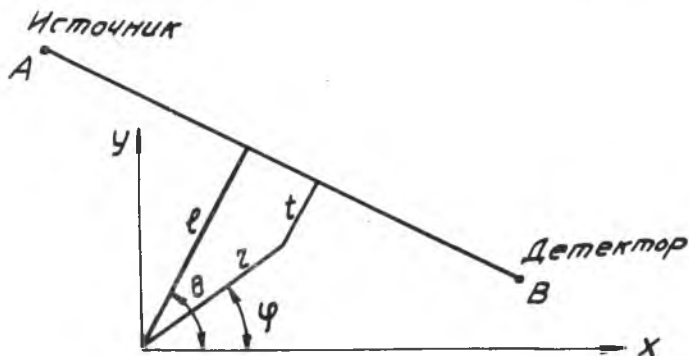
Использование цифровой обработки рентгенограмм значительно улучшает эффективность метода за счет фильтрации и варьирования закона перемещения источника.

Особенность аксиальной томографии заключается в том, что объект просвечивается плоским лучом, а плоскость выделяемого сечения совпадает с плоскостью просвечивания. Восстановление изображения осуществляется по одномерным проекциям, что позволяет исключить теневые наложения, и связано с большим объемом вычислительных операций.

Алгоритмы реконструкций основаны на обработке проекций, полученных просвечиванием объекта параллельными пучками. Геометрия аксиальной томографии представляет систему координат X, Y , связанную неподвижно с центром объекта, система излучения и детектирования вращается относительно начала координат в поперечном направлении в интервале 180° с дискретным шагом, для каждого из которых фиксируется проекция. Более эффективно получение проекций в расходящемся пучке в сочетании с многочисленными детекторами. При этом время регистрации проекции совпадает со временем регистрации одного луча. Такая система усложняет алгоритм реконструкции, возникает необходимость пересчета проекций в схеме с параллельными пучками.

Для параллельных пучков дискретные значения проекции вычисляются как лучевые суммы (2) с равномерным распределением шага лучей. Положение каждого из лучей задается углом наклона θ и расстоянием от центра объекта e (рис.3).

Если положение точки P задать координатами z, φ , а $f(z, \varphi)$ - функция изображения, соответствующая локальной плотности поглощения, то задача реконструкции заключается в нахождении $f(z, \varphi)$ по заданному значению функции. В общем случае решение такой задачи основано на формуле обращения Радона



Р и с. 3. Аксиальная томография

$$f(z, \varphi) = \frac{1}{4\pi^2} \int_0^{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \left(-\frac{1}{t}\right) \frac{\partial}{\partial t} p(\ell, \theta) d\ell, d\theta.$$

Из формулы видно, что лучевые суммы $p(\ell, \theta)$ дают вклад в каждую точку восстанавливаемого сечения в соответствии со степенью удаления луча от этой точки.

Библиографический список

- Хорн Б.К.П. Восстановление внутренней структуры объектов с помощью различных схем многолучевого просвечивания//ТМИЭР. Т.66. № 5. 1978. С.27-40.
- Скаддер Г.Дж. Введение в машинную томографию//ТМИЭР.Т.66. № 6. 1978. С.5-16.
- Хермен Г. Восстановление изображений по проекциям. М.:Мир, 1983. 349 с.
- Попов А.А. и др. Оптический синтез томограмм//Дефектоскопия. 1983. № 6. С.65-81.