



ДВУХШАГОВАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ ТРЕХМЕРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИ ОГРАНИЧЕННОМ УГЛЕ ОБЗОРА И РАЗРЕЖЕННЫХ ПРОЕКЦИЯХ

В. Л. ВЕНГРИНОВИЧ, С. А. ЗОЛОТАРЕВ, В. ШЛЕГЕЛЬ, Б.-М. ХЕССЕ

Рассмотрена проблема реконструкции изображений для ограниченного угла обзора и разреженных проекций в перспективе применения к обследованию технических объектов, для которых коэффициенты ослабления рентгеновского излучения отличаются незначительно. При использовании априорных сведений предполагаются известными возможный фазовый состав объекта и значения коэффициентов ослабления реконструируемых фаз. Количество фаз, значение коэффициента ослабления каждой отдельной фазы и их расположение предполагаются известными, но ничем не ограниченными. Многошаговая концепция реконструкции выбирается как противовес недостатку используемых данных. На первом шаге реконструкции используется байесовский подход, на втором так называемая оболочечно-воксельная итерационная техника, которая обеспечивает оптимальную конфигурацию поверхностей фаз и позволяет достигнуть глобального минимума в конфигурационном пространстве.

The paper deals with the problem of image reconstruction for a limited angle of vision and rarefied projections with the prospect of application to examination of technical facilities, for which the coefficients of weakening of X-ray radiation differ only slightly. When a priori data are used, the likely phase composition of the object and values of the coefficients of weakening of the reconstructed phases are assumed to be known. Phase number, value of the coefficient of weakening of each individual phase and their arrangement are taken to be known, but totally unlimited. Multistep concept of reconstruction is selected as a countermeasure to make up for the lack of used data. In the first step of reconstruction Bayesian approach is used, in the second- the so-called shell-voxel iteration technique, which provides the optimum configuration of the phase surface and allows achieving the global minimum in the configuration space.

В последние годы реконструкция изображений из неполных и зашумленных рентгеновских проекций при ограниченном угле обзора привлекает все большее внимание, вызванное практическими потребностями уменьшения времени съемки объекта, дозы радиационного облучения, а также необходимостью в режиме реального времени получить изображение интересующей области объекта (например, изделий из сочетания керамики и пластмасс или, например, полостей в сварных швах, заполненных шлаковыми включениями или интерметаллидами, или в медицинских приложениях для идентификации злокачественной опухоли или обследуемого органа). Одной из важных тенденций является переход к алгоритмам реконструкции изображений, использующим просвечивание коническим пучком вместо двухмерного веерного пучка, а также использование неполных наборов исходных данных (малое количество проекций). Эти факторы непосредственно влияют на радиационную дозу и время реконструкции.

Если используемая система сбора данных обеспечивает круговой доступ к объекту, то используется классическое преобразование Радона [1], либо итерационный подход [2] для получения двух- или трехмерных изображений из одномерных или двухмерных проекций соответственно. Однако когда в нашем распоряжении имеются только данные, полученные при ограниченном уг-

ле обзора или ограниченном количестве разреженных проекций, либо при этих обоих ограничениях, тогда проблема обращения данных становится некорректной [3, 4], и применяется, как правило, традиционный алгоритм фильтрованных обратных проекций (ФОП). Это приводит к деградации реконструируемого изображения, сопровождающейся появлением значительных артефактов, как, например, размыванием изображения в направлении распространения рентгеновского излучения, причем, чем меньше угол обзора, тем большую степень размывания мы получим.

Существует общепринятое мнение [5], что для преодоления недостатка данных и улучшения качества реконструкционных алгоритмов необходимо использовать итерационную технику и вводить в численный алгоритм качественную и количественную априорную информацию. Установлено, что принятие во внимание априорной информации является ключевым моментом для обеспечения высококачественной реконструкции из нескольких проекций. Адекватный учет априорных данных позволяет ограничить количество возможных решений обратной задачи и обеспечить сходимость глобальной минимизации в конфигурационном пространстве [3]. В работах [6–8] такой подход был успешно применен для реконструкции бинарных изображений с одновременной минимизацией различных поддерживающих фун-



кционалов. Многоступенчатая реконструкция (МСТ) на основе технологии синтеза данных была предложена в качестве основного стратегического направления. При этом на первом этапе необходимо получить оптимальное начальное приближение путем применения некоторых стандартных вычислительных алгоритмов. На следующем шаге используются специализированные алгоритмы, обеспечивающие ввод априорной информации об искомом решении и глобальную сходимость итерационного процесса при условии, что на первом этапе была достигнута необходимая величина невязки вероятностного функционала.

Байесовская реконструкция изображений (БРИ) из ограниченных данных. Наиболее надежным путем для введения априорных сведений в реконструкционный алгоритм является использование вероятностного подхода [9–11]. Успешное применение такой методологии обеспечивается непосредственным присутствием в формуле Байеса члена $P(\mu|p, \eta)$, учитывающего условную функцию распределения плотности вероятности (ФРПВ) неизвестного значения коэффициента ослабления μ , априорно известной функции $P(\mu)$:

$$P(\mu | p, \eta) = \frac{P(p | \mu, \eta)P(\mu)}{P(p | \eta)}, \quad (1)$$

где $P(p|\mu, \eta)$ — условная ФРПВ, которая формально описывает отклик измерительной системы на единицу изменения коэффициента ослабления μ и шумовой составляющей соответственно; $P(p|\mu, \eta)$ — глобальная нормировочная составляющая, не учитываемая в дальнейших расчетах; p — измеренные данные; μ — коэффициент линейного ослабления материала.

Преобразование входных данных в предположении, что шум является аддитивным, может быть описано следующим операторным уравнением:

$$p(y) = O\mu(x) + \eta, \quad (2)$$

где p — проекционные данные, полученные для некоторой пространственной области; O — оператор, преобразующий входные данные в выходные проекционные данные; $\mu(x)$ — вектор неизвестного решения, зависящего от пространственного аргумента x ; η — шум, сопутствующий процессу измерения.

В случае ограниченных данных система уравнений (2) всегда плохо обусловлена. Дополнительной трудностью является то, что, во-первых, обратный оператор O^{-1} является неизвестным и, во-вторых, шум в общем случае является неизвестным и неаддитивным. Из математической теории следует, что уравнение (2) не имеет в этом случае однозначного решения $\mu(x)$. Однако регуляризованное решение уравнения (2), так назы-

ваемое псевдо- или квазирешение может быть получено с помощью следующей вариационной процедуры:

$$\mu = \arg \min \{ \|O\tilde{\mu}(x) + \eta - p(y)\|^2 + \alpha B(\mu) : \mu(x) \in R^n \}, \quad (3)$$

где R^n — n -мерное пространство значений; $O\tilde{\mu}(x)$ и $p(x)$ — модельные и измеренные проекционные данные соответственно; $B(\mu)$ — априорный поддерживающий функционал, учитывающий заранее известные свойства объекта и накладывающий качественные ограничения на искомое решение.

Хорошее качество реконструкции, сравнимое с КТ (компьютерная томография)-изображением, может быть получено для сильно ограниченных данных путем использования статистики Гиббса [6, 7, 12, 13], применительно, главным образом, к сложным бинарным объектам. Например, даже в критическом случае просвечивания стальных труб коллимированным веерным источником с углом обзора менее 90° при сканировании вдоль оси трубы [13, 14], предлагаемая итерационная процедура восстанавливает продольный профиль трубы с высокой точностью, в то время как традиционный метод ФОРП полностью не способен осуществить реконструкцию для данной геометрии просвечивания.

Теория статистической реконструкции изображений из нескольких проекций рекомендует несколько возможных форм описания априорных сведений, наиболее пригодных для введения в поддерживающий вероятностный функционал. Некоторые из известных в настоящее время видов априорной информации, обеспечивающих наибольшую эффективность, следующие:

- априорные сведения о гладкости либо положительности решения, используемые в методе регуляризации Тихонова [3];
- статистика Гиббса [15];

- сведения о статистическом характере шума в данных [16];

- функционалы для поддержки многофазных объектов [7, 12];

- оценка структуры ядра по эталонным образцам [17];

- сведения о структуре объекта, характерные для медицинских изображений, полученные на основе анатомической информации, либо из медицинских изображений, полученных с помощью других реконструкционных методик [18];

- применение теории марковских случайных процессов [19].

В данной работе рассматривается новая двухступенчатая технология реконструкции изображений, названная оболочечно-воксельной реконструкцией (ОВР).



Конкретизация задачи. Рассмотрим задачу томографии при планарной технологии сбора проекционных данных (рис. 1). Согласно этой геометрии съемки рентгеновский источник и двухмерный детектор рентгеновского излучения находятся с противоположных сторон от объекта, причем, детектор неподвижен, а источник излучения вращается в T -плоскости, перпендикулярной главной оси системы (в данном случае вертикальной оси Z). При этом объект наблюдаем только внутри пространственного угла α . Информация об объекте за пределами этого угла полностью отсутствует. Недостаток проекционных данных, если его преодолевать в рамках известных томографических концепций, является фатальным и не позволяет получить качественное трехмерное изображение в принципе. Данная геометрия съемки использована нами только для конкретизации задачи и доведения расчетов до получения трехмерных изображений и не ограничивает область применения предлагаемого метода реконструкции.

Базовые принципы ОВР-алгоритма. Идея алгоритма ОВР основана на следующих априорных допущениях:

объект может иметь различные фазовые включения, причем, каждая фаза ограничена замкнутой трехмерной оболочкой;

внутри каждой фазы, называемой «виртуальная область фазы» (ВОФ) коэффициент линейного ослабления рентгеновского излучения является однородным и информация о его численном значении может быть получена;

количество заданных ВОФ и значения коэффициентов ослабления не ограничиваются. ОВР-алгоритм является двухступенчатым, который на первом шаге использует поточечный алгоритм коррекции типа байесовской реконструкции [19], а на втором — деформирование трехмерных фазовых границ.

На первом этапе реализуется приближенная реконструкция с помощью метода Байеса. На полученном размытом изображении автоматически приближенно задаются центры связанных групп вокселей с однородными коэффициентами линейного ослабления, вокруг которых будут формироваться ВОФ, причем, внешние границы заранее неизвестны, а будут гибко «деформироваться» на каждом итерационном шаге второго этапа. В рамках модели с линейными коэффициентами поглощения лучевые суммы $p_{n,i}$ каждого вокселя на $2D$ детекторе рассчитываются как линейные интегралы от коэффициентов поглощения вокселей, лежащих на пути луча:

$$p_{n,i} = \sum_{j=1}^J \mu_j J_{n,ij}; \quad n = \overline{1, N}; \quad i = \overline{1, I}; \quad j = \overline{1, J}, \quad (4)$$

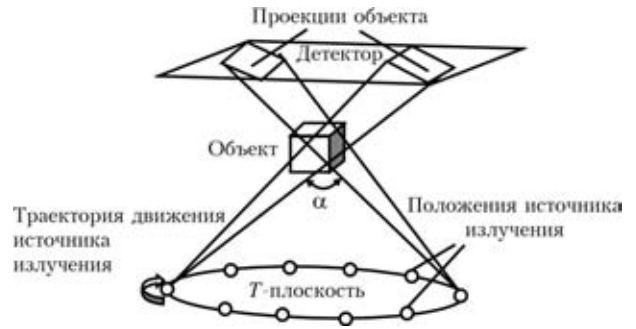


Рис. 1. Планарная схема сбора разреженных рентгеновских проекционных данных внутри ограниченного пространственного угла α

где N — количество используемых проекций; I — количество пикселей на детекторе; J — количество реконструируемых вокселей в объекте.

Априорная информация о структурном качестве объекта может быть задана с помощью следующего квадратичного функционала:

$$B(\mu) = \sum_{j=1}^J \sum_{a=1}^A (\mu_j - \mu_{j,a})^2, \quad (5)$$

где индекс a определяет воксели, соседние к j -му вокселю.

На первом шаге реконструкции, который обычно реализуется поточечной коррекцией, решается следующая оптимизационная проблема:

$$\tilde{\mu} = \arg \min \left[\sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I \left(\sum_{j=1}^J \mu_j J_{n,ij} - p_{n,i}^m \right)^2 + \alpha \sum_{j=1}^J \sum_{a=1}^A (\mu_j - \mu_{j,a})^2 \right]. \quad (6)$$

Минимизация этого функционала осуществляется с использованием метода сопряженных градиентов, описанном в работах [6, 7]. В результате данной оптимизационной процедуры получена грубая аппроксимация трехмерного изображения объекта. Она представляет для нас интерес по следующим причинам:

во-первых, мы получаем вероятностную функцию распределения коэффициентов линейного поглощения в объекте одновременно с приближенными максимальными значениями коэффициентов поглощения каждой фазы, которые в дальнейшем принимаем в качестве коэффициентов поглощения каждой ВОФ;

во-вторых, приближенно можно определить расположение центра каждой фазы (точка фазового ядра).

На втором шаге ОВР-алгоритма начинается автоматическое деформирование замкнутых оболочек минимального размера, которыми окружаются центральные точки каждой фазы. Кроме того,



вводятся в рассмотрение так называемые внешние оболочки, которые заключают фазовые оболочки внутри себя. В отличие от фазовых внешние оболочки остаются фиксированными во время всего процесса реконструкции. Они просто ограничивают максимальную пространственную область, внутри которой могут деформироваться фазовые оболочки. Оба типа оболочек образуют «звездные» поверхности относительно центров каждой из фаз, т. е. каждый луч, проведенный из фазового ядра, пересекает каждую из них только в одной точке.

Второй шаг итерационной процедуры. Как упомянуто выше, каждая очередная итерация второго шага реконструкции начинается с заполнения области внутри фазовой оболочки вокселями, имеющими коэффициент линейного поглощения данной конкретной фазы. Пространство между фазовой и внешней оболочками заполняется вокселями с коэффициентом линейного поглощения материала, окружающего фазу, который тоже заранее определяется на первом шаге ОВР. В конце итерации, после решения прямой задачи, фазовые оболочки деформируются для компенсации расхождения заданных и смоделированных лучевых сумм. Для численного расчета фазовые оболочки аппроксимируются набором треугольных элементов с узловыми точками в вершинах с использованием STL формата. Таким образом, любая фазовая оболочка рассматривается как набор треугольных элементов S_u : $u = 1, \bar{U}$.

Следующая цепочка процедур осуществляется во время второго шага ОВР:

— заполнение всех вокселей реконструированного изображения соответствующими значениями коэффициентов поглощения, а именно: вокселей внутри фазовой оболочки значениями μ_j^{ph} , между двумя оболочками — μ_j^{mt} , а для всех остальных вокселей — $\tilde{\mu}_j$, представляющими собой очередное приближение решения оптимизационной процедуры (6);

— определение набора лучей, проходящих из точки фазового ядра через узлы фазовой оболочки для каждой из фаз;

— проецирование на плоскости детекторов N лучей, проходящих через каждый узел фазовой оболочки и расчет локальных рассогласований для данного луча (7), а затем расчет средней взвешенной разности между рассчитанными и измеренными проекционными данными для каждого узла данной фазовой оболочки. Локальное рассогласование имеет следующий вид:

$$\Delta p_{n,i} = P_{n,i}^c - P_{n,i}^m \quad (7)$$

где верхние индексы c и m обозначают рассчитанные и измеренные данные, а каждая средняя взвешенная разность определяется по следующей формуле:

$$\bar{\Delta p}_{n,i} = \sum_{n=1}^N \Delta p_{n,i} \cos(\varphi_{n,i}) / N(\mu_i^{ph} - \mu_i^{mt}), \quad (8)$$

где $\varphi_{n,i}$ — угол между направлением смещения узла фазовой оболочки и лучом от n -го источника, проходящего через данный узел;

— смещение всех узловых точек на величину, пропорциональную средней взвешенной разности для данного узла вдоль луча, идущего от центра фазы к данному узлу. Величина смещения рассчитывается по формуле:

$$h_i = \lambda^{(k)} \bar{\Delta p}_{n,i}; \quad 0 < \lambda^{(k)} < 1, \quad (9)$$

где $\lambda^{(k)}$ — параметр релаксации на k -й итерации;

— воксели, расположенные внутри фазовой оболочки, приобретают значение μ_j^{ph} , а воксели, лежащие между фазовой и внешней оболочками, — μ_j^{mt} .

Разработанный двухступенчатый алгоритм имеет существенные преимущества по сравнению с обычной, основанной только на воксельном представлении, трехмерной байесовской технологией, применяемой к задаче с ограниченными данными. Во-первых, применение оболочечного представления для описания фазовых включений позволяет регуляризовать процесс построения связной области вокселей, имеющих однородный коэффициент поглощения. Некорректная задача расчета коэффициентов поглощения внутри такой области заменяется на устойчивую, сходящуюся процедуру определения оптимального геометрического положения замкнутой фазовой оболочки. Во-вторых, как следствие, существенно уменьшаются артефакты, вызванные недостаточным углом обзора для вокселей, лежащих вблизи данной фазы. В-третьих, для самой фазы практически полностью устраняется размывание границ.

Проверка алгоритма с использованием модельных и экспериментальных данных. Для проверки возможности использования ОВР-алгоритма для реконструкции по ограниченными данным (ограниченный угол обзора и разреженные проекции) использовали реальный фантом, имеющий форму шара, который заполнили материалом, относительный коэффициент поглощения которого нормирован к единице (его центральное фронтальное сечение показано на рис. 2). Шарообразный фантом имеет шесть внутренних вставок в форме дисков диаметром 30 мм, сделанных из материалов с различными относительными коэффициентами ослабления — соответственно

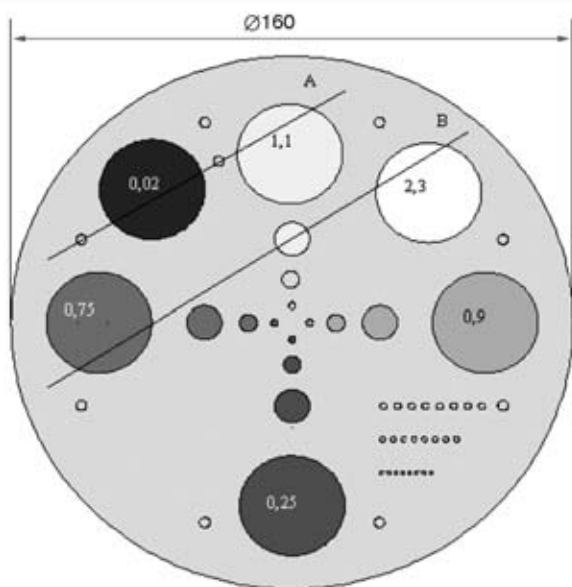


Рис. 2. Центральное сечение шарообразного фантома, имеющего сферические поверхности и заполненного эквивалентным воде материалом, относительный коэффициент поглощения которого равен 1

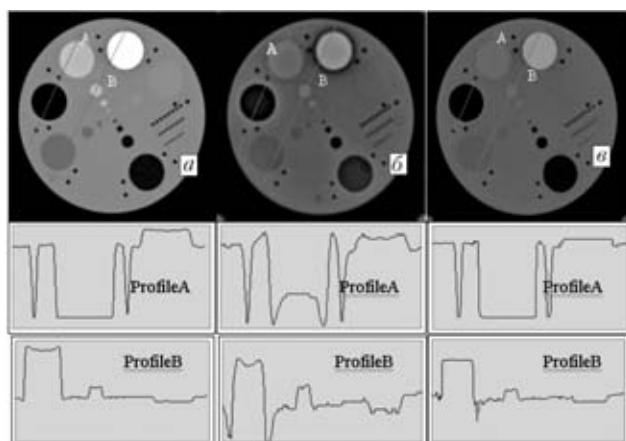


Рис. 3. Фронтальное XOY-сечение трехмерного изображения шарового фантома (верхний ряд), реконструированного с помощью стандартной КТ-техники по экспериментальным данным (а). Реконструкция фантома с помощью байесовской технологии согласно уравнению (6) (б) и ОВР (в). Профили в соответствующих рядах показывают изменение серых уровней вдоль направлений A и B соответственно

0,25; 0,75; 0,02; 1,1; 2,3 и 0,9. Четыре одинаковых группы цилиндрических вставок с диаметрами 10, 5 и 2 мм (по три вставки в каждой группе) имеют тот же коэффициент ослабления, что и ближайший из дисков диаметром 30 мм. Все другие внутренние включения представляют собой цилиндрические пустоты, заполненные воздухом. Для данного трехмерного объекта по семистам экспериментальным коническим проекциям была произведена его реконструкция методом ФОП. Соответствующее изображение, которое является центральным фронтальным сечением фантома в плоскости XOY, показано на рис. 3, а, а отдельные поперечные сечения в плоскостях, перпендикулярных плоскости XOY, показаны на рис. 4, а–б,

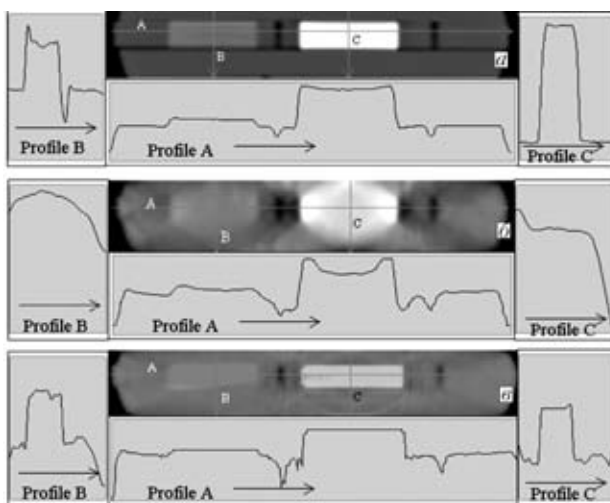


Рис. 4. Изображение поперечного сечения фантома для 110 слоя, параллельного плоскости XOZ, реконструированное с помощью стандартного КТ алгоритма (а), байесовской технологии (б) и ОВР (в)

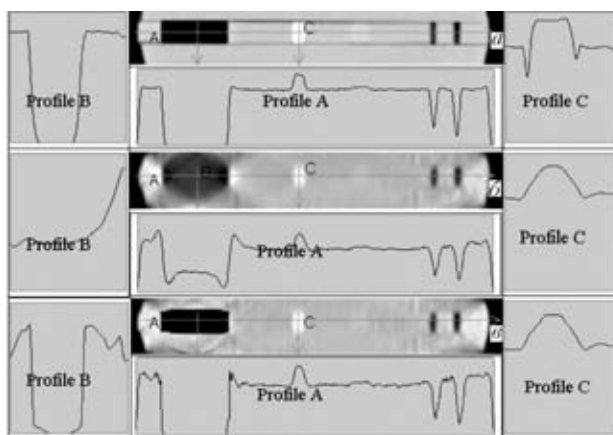


Рис. 5. Изображение поперечного сечения фантома для слоя 232 параллельного плоскости XOZ, реконструированное с помощью стандартного КТ алгоритма (а), байесовской технологии (б) и двухшаговой ОВР (в)

а. Распределения серых уровней изображений вдоль некоторых выбранных направлений, обозначенных стрелками, изображены соответственно слева, справа или ниже каждого изображения. Это реконструированное КТ-изображение объекта было использовано для получения новых смоделированных проекций, равномерно распределенных в T-плоскости, т. е. для планарной геометрии сбора проекционных данных. Профили серых уровней A, B и C показывают различия в реконструкционных возможностях б и в технологий и преимущества использования ОВР-технологии для предотвращения размывания и уменьшения артефактов. Изображенные профили серых уровней соответствуют направлениям A, B и C, показанным на рис. 4–6. Прямое моделирование проекций было осуществлено в соответствии с уравнением (4). Угол расхождения конического пучка 90°. Модельные данные были использованы для реконструкции объекта с применением байесовской тех-

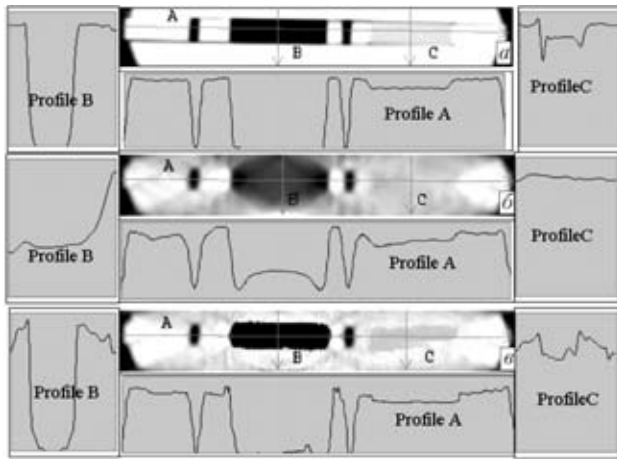


Рис. 6. Изображение поперечного сечения фантома для 100 слоя, параллельного плоскости YOZ, реконструированное с помощью стандартного КТ алгоритма (а), байесовской технологии (б) и двухшаговой процедуры (в)

нологии в соответствии с уравнением (6) и с применением процедуры, описанной с помощью уравнения (8) и названной, как упомянуто выше, двухступенчатым подходом с использованием ОВР. БРИ с априорной информацией в форме функционала Гиббса первого порядка (рис. 3, б – 6, б) дает существенно лучшее качество реконструированного изображения, чем метод ФОП.

Однако возможности новой ОВР-технологии (рис. 3, в – 6, в), оцененные путем сравнения результатов, полученных с использованием ОВР и БРИ технологий, а также оригинальных изображений, полученных с помощью ФОП-технологии для полного набора данных (рис. 3, а – 6, а), являются существенно выше, чем при БРИ-технологии. Даже визуальный анализ изображений, полученных, с одной стороны, путем применения ОВР и БРИ, а с другой, путем использования ФОП, показывает следующие преимущества от применения ОВР:

во-первых, удалось в большинстве случаев избежать сильного размывания изображения;

во-вторых, близость профилей серых уровней для ОВР и ФОП реконструкции для полных данных намного выше,

в-третьих, артефакты, вызванные недостаточным углом обзора, практически полностью устранены.

Разработанные алгоритмы реконструкции распараллелены с использованием системы MPI. Время реконструкции на 64 процессорах суперкомпьютера СКИФ составляет две-три минуты, но в принципе может быть доведено до нескольких секунд, что фактически может рассматриваться как реконструкция в режиме реального времени.

Выводы

Развитая новая технология реконструкции изображений для сильно ограниченного угла обзора и разреженных проекций имеет бесспорные преимущества по сравнению как с традиционной байесовской технологией, так и с методом ФОП, примененных к задачам с сильно ограниченными данными.

К числу недостатков можно отнести принятие допущения о том, что внутреннюю структуру объекта можно описать с использованием модели фазовых включений, имеющих достаточно контрастные границы.

1. *Natterer F.* The mathematics of computerized tomography. Stuttgart, Germany, 1986. — 200 p.
2. *Numerical recipes in C.* / W. H. Press, S. A. Teukolsky, W. T. Wetterling, B. P. Flannary. — Cambridge, University Press, 1992. — 300 p.
3. *Nonlinear Ill-posed problems* / Tichonov A. S., V. Leonov, A. Yagola. — Kluwer Academic Publishers, 1997. — 230 p.
4. *Smith K. T.* Practical and mathematical aspects of the problem of reconstructing objects from radiographs / D. C. Solomon, S. L. Wagner // *Bulletin of the AMS.* — 1977. — V. 83. — P. 1227–1270.
5. *Siltanen S.* Statistical inversion for X-ray tomography with few radiographs. I: General theory / V. Kolehmainen, S. Järvenpää, J. P. Kaipio. et. al. — 2002. — P. 1–29.
6. *Vengrinovich V.* Reconstruction of three-dimensional binary structures from an extremely limited number of cone-beam x-ray projections. Choise of Prior / Yu. Denkevich, G.-R. Tillack // *J. of Phys., D: Applied Physics.* — 1999. — V. 32. — P. 2505–2514.
7. *Vengrinovich V.* Bayesian 3D x-ray reconstruction from incomplete noisy data / Yu. Denkevich, G.-R. Tillack // In book: *Maximum Entropy and Bayesian Methods*, ed. by W. von der Linden et. al.. Kluwer Academic Publishers, 1999. — P. 73–83.
8. *Quinto E. T.* Singularities in the X-ray transform and limited data tomography in R^2 and R^3 // *SIAM J. Math. Anal.* — 1993. — V. 24. — P. 1215–1225.
9. *Hanson K. M.* Bayesian and related methods in image reconstruction from incomplete data // In *image recovery: theory and applications* / H. Stark ed. Academic. — Orlando, 1987. — P. 79–125.
10. *Mosegaard K.* Monte Carlo analysis of inverse problems / M. Sambridge // *Inverse Problems.* — 2002. — V. 18. — P. 29–54.
11. *Hanson K. M.* Uncertainty assessment for reconstruction based on deformable geometry / G. S. Cunningham, R. J. McKee // *Int. J. Imaging system Technology.* — 1997. — V. 8. — P. 506–512.
12. *Vengrinovich V.* Limited projection 3D X-ray tomography using the maximum entropy method / Yu. Denkevich, G.-R. Tillack // *Review of progress in QNDE*, ed. by D. O. Tompson and D. E. Chimenti, Plenum Press, N.Y., 1998. — V. 17. — P. 403–410.
13. *Vengrinovich V.* Bayesian Restoration of Crack Images in Welds from Incomplete Noisy Data. / Yu. Denkevich, G.-R. Tillack, U.Ewert // *Review of Progress in QNDE*, ed. by D. O. Tompson and D. E. Chimenti, American Institute of Physics, Melville-N.Y. — 2000. — V. 19A. — P. 635–642.
14. *Vengrinovich V.* Inner pipe's surface 3D reconstruction for double-connected object from limited projections / S. Zolotarev, G.-R. Tillack // *J. of technical diagnostics and NDE.* — 2001. — № 2. — P. 8–11.
15. *Besag J.* Spatial interaction and the statistical analysis of Lattice Systems // *J. Roy. Statist. Soc.* — 1974. — № 36. — P. 192–236.



16. *Maximum entropy and the near black object* / D. L. Donoho, I. M. Johnstone, J. C. Hoch, A. S. Stern // *J. of the Royal Statistical Society*. — 1992. — B54(1). — P. 41–81.
17. *Thompson J. R., Tapia R. A. Nonparametric function estimation, Modeling and Simulation*. SIAM, Philadelphia, PA, 1990.
18. *Kaipio J. P., Kolehmainen V., Vauhkonen M., Somersalo E. Inverse problems with structural prior information. Inverse Problems*. — 1999. — №5. — P. 713–729. G. K. Nichols and C. Fox. *Prior Modeling and Posterior Sampling in Impedance Imaging*. In A. Mohammad-Djafari, editor, *Proc. SPIE*, vol. 3459 «Bayesian Inference for Inverse Problems, 1998. — P. 116–127, SPIE, P.O.Box 10, Bellingham WA, USA.
19. *Gabor T. Herman. Image reconstruction from Projections. The fundamentals of computerized tomography*. — Academic Press. New York. — 1980. — 350 p.

ИПФ НАНБ, Минск, Республика Беларусь,
Немецкий центр исследований рака, Гейдельберг, Германия

Поступила в редакцию
05.08.2006

ПІДСУМКИ МІЖНАРОДНОГО ПРОЕКТУ УАЯ «СУЗІР'Я ЯКОСТІ»

Цього року 24–30 червня уже восьме проходили в Україні заходи Міжнародного проекту «Сузір'я якості», організаторами якого виступили: Європейський фонд управління якістю (EFQM), УАЯ, Міжнародна гільдія професіоналів якості та Все-російська організація якості.

Туристично-оздоровчий комплекс «Судак» (АР Крим, м. Судак) гостинно зустрів майже 150 учасників проекту яскравим сонцем, теплим морем, увагою та піклуванням з боку організаторів.

Серед учасників — представники підприємств промисловості і сфери послуг, керівники державних установ і громадських організацій, які представляли Україну, Росію, Беларусь, Німеччину, Казахстан, Латвію, Литву, Молдову, Угорщину. Більше половини учасників — перші керівники організацій та їхні заступники. Кожен третій з них брав участь у проекті «Сузір'я якості» у минулі роки.

Приємно було бачити щоденно заповнену конференц-залу бізнес-центру: ні сонце, ні море не могли спокусити учасників проекту. Та це й не дивно! Адже серед доповідачів — визнані корифеї у сфері якості: Ю. П. Адлер, Г. П. Воронін, П. Я. Калита, О. В. Глазунів та ін. Було проведено обговорення актуальних проблем у сфері якості та досвіду кращих компаній на шляху удосконалення.

Учасники виявили зацікавленість і презентацією А.Пайзера, директора General Motors Powertrain Hungary за темою: «Глобальні виклики — місцеві рішення. Як бути та залишатись конкурентоспроможними на ринку серед нових конкурентоспроможних країн», а також виступами керівників підприємств з Казахстану, Росії, України — переможців національних нагород з якості.

А з яким захопленням та жвавістю проходили авторські семінари, дискусії, вікторина тощо! Без сумніву, професійний рівень учасників та самого проекту «Сузір'я якості» з року в рік зростає.

Подивіться на фото, позаздріть учасникам і наступного року приєднуйтеся до нас!

Організатори проекту дуже вдячні за інформаційну підтримку РІА «Стандарти та качество» (Росія), журналам «Світ якості України» (Україна), «Техническая диагностика и неразрушающий контроль» та багаторічним партнерам Міжнародного проекту «Сузір'я якості» — підприємствам-власникам торгових марок «Союз-Віктан», «Сандора», «Коктебель».

