

УДК 620.179.15:681.3.06

**А. И. Закидальский, Е. А. Цыбульская**

Институт проблем регистрации информации НАН Украины  
ул. Н. Шпака, 2, 03113 Киев, Украина

## **Способ повышения качества реконструкции «больших» объектов**

*Рассмотрены вопросы объемной реконструкции «больших» объектов на томографах с ограниченной по размерам матрицей детекторов. Приведен анализ дополнительных погрешностей, возникающих из-за половинного охвата объекта сканирующей системой при регистрации данных измерения. На основе анализа погрешностей предложены пути повышения качества реконструкции изображения.*

**Ключевые слова:** компьютерная томография, рентгеновский компьютерный томограф, объемная реконструкция, матрица детекторов, фантом, схема сканирования.

В работах [3–5] была показана возможность объемной реконструкции объекта по его проекциям при сканировании вокруг одного центра вращения и фиксации только половины проекционных данных. Но при исследовании объектов с широким диапазоном плотностей возникают проблемы точного распознавания изображения [5]. Необходимость повышения достоверности идентификации результата исследования, как правило, приводит к дополнительным затратам. Так, использование дополнительного ребининга в значительной мере снижает погрешность реконструкции, но требует при этом сравнительно большого числа ракурсов ( $M = (\pi/2\gamma_{\max}) \cdot (Nd_g - 1)$ ). Это особенно проявляется при использовании детекторных систем с малым значением угла  $\gamma_{\max}$  [2]. Кроме того, теряется преимущество сверточного алгоритма при организации конвейерных вычислений. При половинном охвате объекта сканирующей системой проекционные данные могут быть получены только после регистрации  $M(1/2 + \gamma_{\max}/\pi)$  проекций.

В связи с этим рассматривается возможность реконструкции при выполнении свертки и затем обратного проецирования сразу же после получения первой порции проекционных данных, полученных детектором с половинным охватом объекта. Пусть проводится процесс реконструкции точечного объекта («рассеивание точки») при его вращении на угол  $2\pi$  вокруг одного центра. Половинный охват объекта детекторной системой приводит к тому, что точечный объект будет «освещен» регистрируемыми лучами на половину дуги окружности. Весовой коэф-

© А. И. Закидальский, Е. А. Цыбульская

коэффициент вклада ( $R^2/L^2$ ) для точки с координатами  $r = R \sin\gamma$ ,  $\varphi$  может быть представлен в виде

$$\frac{R^2}{L^2} = \frac{1}{1 + 2 \cdot a \cdot \sin \varphi + a^2}, \quad (1)$$

где  $a = \sin\gamma \leq \sin 2\gamma_{\max}$ .

В случае непрерывного изменения  $\varphi$  средние значения вкладов будут определяться интегралами:

$$\begin{aligned} \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{1}{1 + 2a \sin \varphi + a^2} d\varphi &= \frac{1}{1 - a^2}; \\ \frac{1}{\pi} \int_{\varphi_0}^{\varphi_0 + \pi} \frac{1}{1 + 2a \sin \varphi + a^2} d\varphi &= \frac{1}{1 - a^2}. \end{aligned} \quad (2)$$

(Второй интеграл учитывает равенство нулю подынтегральной функции на интервале  $\varphi_0 + \pi \dots \varphi_0 + 2\pi$ , где луч не регистрируется детектором, а также масштабный коэффициент 2).

Замена процесса интегрирования суммированием конечного числа вкладов ( $M/2$ ) приводит к вариации накопленной суммы из-за случайного характера  $\varphi_0$ . В итоге величина накопленной суммы может изменяться в пределах значений от  $s_0 + zn_{\min}$  до  $s_0 + zn_{\max}$ , где  $zn_{\min} = 1/(1 + a)^2$ ;  $zn_{\max} = 1/(1 - a)^2$ .

Отнесем разницу накопленных вкладов к точному значению суммы. Ее величина  $s_0 = M/(2(1 - a^2))$ . В результате легко получить оценку разброса реконструируемых значений плотностей. Для однородного сечения относительные значения разброса не превосходят величины

$$\delta_{\max} \approx \frac{8 \cdot \sin(2\gamma_{\max})}{M \cdot \cos(2\gamma_{\max})^2}. \quad (3)$$

При этом случайный разброс  $\delta$  из-за неполного охвата детектором объекта будет сохраняться и при реконструкции центрального сечения.

Еще одним заметным источником погрешности при реконструкции в приведенных выше условиях является операция свертки. Неидеальность интерполяции и другие вычислительные погрешности при определении результирующего вклада от двух противоположных ракурсов при обратном проецировании приводят к заметной дополнительной погрешности. Это связано с тем, что в районе центрального детектора разрыв непрерывности данных после свертки приводит к появлению значительных выбросов [4].

На основании анализа причин этих погрешностей предлагается простой способ их эффективной компенсации. Добавление дополнительных детекторов для регистрации лучей при  $\gamma < 0$  и введение сглаживающей функции для  $2n_{dop} + 1$  соседних с центральным отсчетов позволяет существенно повысить качество реконструкции. Увеличение количества детекторов на 5–10 % в большинстве случаев позволяет практически устранить рассмотренные выше погрешности. В качестве весовой функции  $kt(i)$  для сглаживания проекционных данных перед выполнением свертки предложено использовать функцию вида

$$kt(i) = \begin{cases} 0.. \text{if } i < i_{\min} = Ndg - 1 - n_{dop}; \\ 1 + \sin \left[ \frac{\pi \cdot (i - Ndg + 1)}{2 \cdot n_{dop}} \right]; \\ 2.. \text{if } i > i_{\max} = Ndg - 1 + n_{dop}. \end{cases} \quad (4)$$

График  $kt(i)$  представлен на рис. 1 (параметры:  $Ndg = 101$ ,  $n_{dop} = 10$ ).

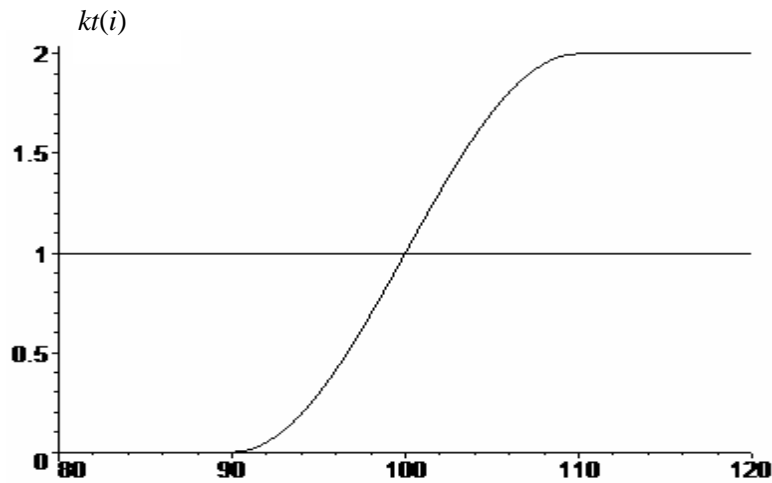


Рис. 1. График весовой функции  $kt(i)$

Качество работы алгоритмов проверялось путем моделирования реконструкции стандартного фантома Шеппа–Логана. В качестве основы алгоритма реконструкции (прежде всего это касается обратного проецирования) используется модификация алгоритма Фельдкамп для цилиндрического детектора [4, 5]. Проекционные данные регистрируются цилиндрическим детектором ограниченных размеров. Система сбора данных обеспечивает съем данных в пределах примерно 60 % углового размера объекта.

На рис. 2 показаны сечения объекта ортогональными плоскостями ( $y = 130$ ,  $z = 60$ ,  $x = 100$ ).

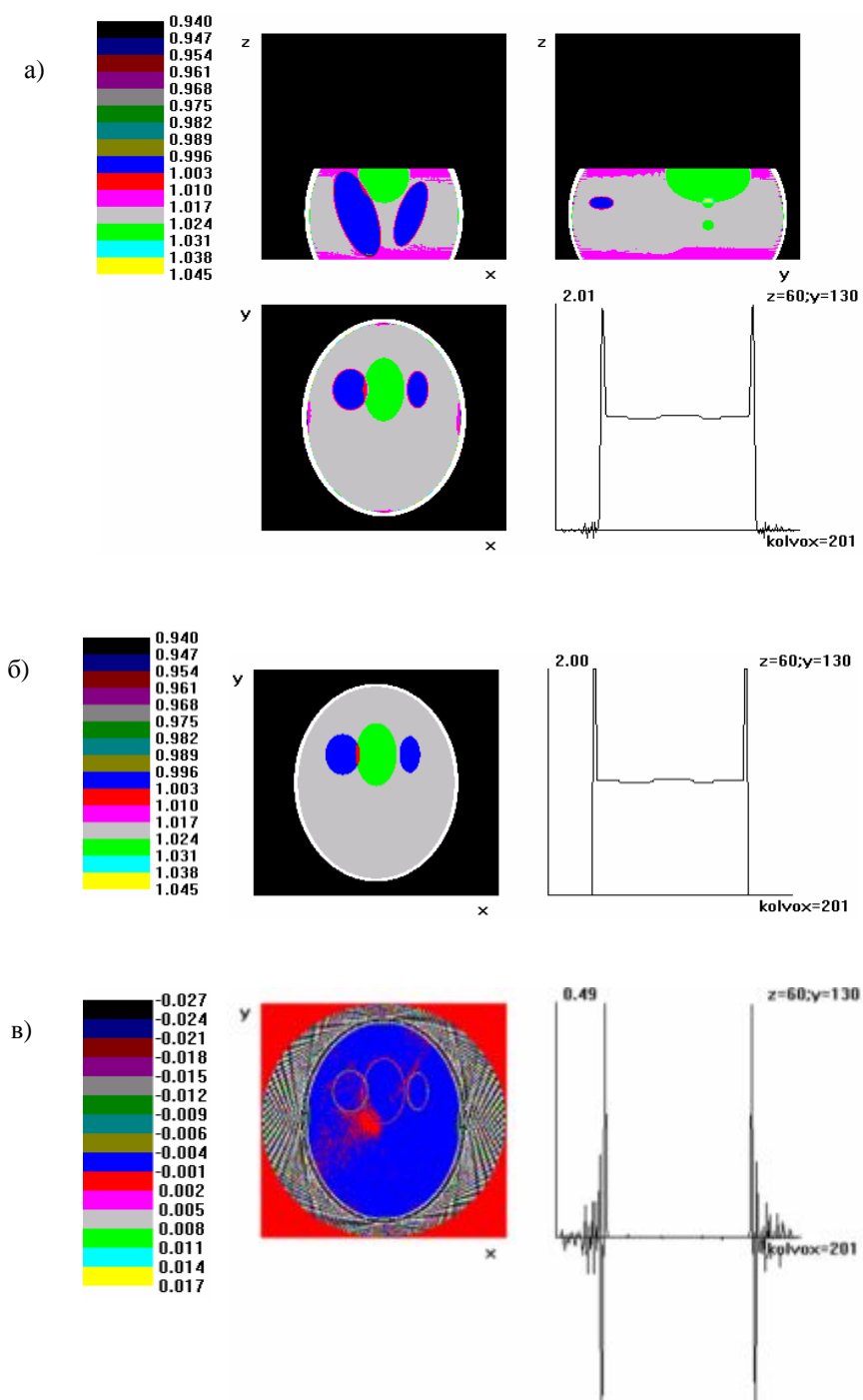


Рис. 2. Реконструкция фантома Шеппа–Логана при охвате более 50 % объекта: а) сечения реконструированного объекта; детекторов по дуге  $Ndg + n_{dop} = 101 + 10$ ; матрица  $201 \times 201 \times 81$ ; окно 0,94–1,05; б) сечение эталонного фантома; в) погрешность (разность плотностей эталонного и реконструированного объектов).

Как видно из рис. 2, при указанных выше условиях достигается достаточно высокое качество реконструкции изображения.

## ВЫВОДЫ

В работе исследуются возможности повышения качества реконструкции при сканировании вокруг одного центра вращения и фиксации половины проекционных данных. Анализ возникающих в этом случае погрешностей позволил предложить следующие средства борьбы с ними:

— увеличение угла охвата сканирующей системой объекта с 50 % до 55–60 %;

— использование специальной функции сглаживания.

Их применение существенно повышает качество реконструкции «больших» объектов при минимальных дополнительных затратах.

1. Терновой К.С., Синьков М.В., Закидальский А.И., Яник А.Ф. и др. Введение в современную томографию. — К.: Наук. думка, 1983. — 345 с.

2. Henrik Turbell. Cone-Beam Reconstruction Using Filtered Backprojection. — Dissertation № 672. — Linköping Studies in Science and Technology. — Sweden, 2001.

3. Синьков М.В., Закидальский А.И. Избыточность проекционных данных и пути ее использования для повышения эффективности промышленных томографов // Реєстрація, зберігання і оброб. даних. — 2003. — Т. 5, № 2. — С. 85–93.

4. Синьков М.В., Закидальский А.И. Объемная реконструкция «больших» объектов на томографах с ограниченной по размерам матрицей детекторов // Реєстрація, зберігання і оброб. даних. — 2003. — Т. 5, № 3. — С. 18–25.

5. Синьков М.В., Закидальский А.И., Самбыкина Э.Е., Цыбульская Е.А. Разработка алгоритмов объемной реконструкции «больших» объектов // Реєстрація, зберігання і оброб. даних. — 2003. — Т. 5, № 4. — С. 43–50.

6. Michael D. Silver, Katsuyuki Taguchi, Ilmar Hein. A Simple Algorithm for Increased Helical Pitch in Cone-Beam CT.

7. Hu J., Johnston R., Dawson C. Practical Helical Cone Beam Algorithm for the Long Object // Problem. Dep. Biomedical Marquette University. — USA.

Поступила в редакцию 15.03.2004