

## КОРРЕКЦИЯ ЛИНЕЙНОСТИ ДВУМЕРНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ В ТОМОГРАФИЧЕСКОЙ ГАММА-КАМЕРЕ

А. М. Соколов

*Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев*

На основе изображения прямоугольного дырчатого фантома, полученного в гамма-камере без коррекции, строится описание прямого отображения и с помощью специально разработанной процедуры двумерной интерполяции для неравномерной сетки точек строится корректирующее отображение, реализуемое в блоке коррекции.

### Постановка задачи и общая идея решения

При регистрации гамма-квантов детектором гамма-камеры (как и гамма-телескопа) один из видов искажения получающегося двумерного изображения связан с нарушением линейности аппаратуры, когда прямая отображается в волнистую линию, круг превращается в “погнутое” колесо, равномерно засвеченное изображение становится пятнистым. L-коррекция – это программное исправление отклонения аппаратуры от линейности. Математически задача может быть сформулирована следующим образом. Имеется отображение, моделирующее искажение,  $F: V \rightarrow U$ ,  $V \subset \mathbb{R}^2$ ,  $U \subset \mathbb{R}^2$ . Функция плотности  $P(v)$  (объект исследования), определенная на множестве  $V$ , при отображении  $F: V \rightarrow U$  преобразуется в функцию  $G(u)$  (зарегистрированное изображение), определенную на множестве  $U$ . Две функции плотности,  $P(v)$  и  $G(u)$ , связаны соотношением  $\int_V P(v) dv = \int_U G(u) du$ . Требуется по плотности  $G(u)$  и отображению  $F(v) = u$  определить плотность  $P(v)$ .

В силу дискретности аппаратуры на практике приходится иметь дело с дискретным вариантом описанной выше задачи. Общая идея решения состоит в следующем. В гамма-камере, которая нуждается в L-коррекции, производится регистрация изображения известного объекта, о котором мы знаем, каким должно быть его корректное изображение. Например, регистрация изображения дырчатого фантома, узлы (дырки) которого  $v_k$  составляют прямоугольную сетку из  $M$  строк и  $N$  столбцов. Изображение дырок имеет вид пятен, расположение которых отклоняется от регулярного (особенно на краях). Мы получаем результат действия отображения  $F$ , заданного на дискретной, регулярной сетке узлов. На этапе распознавания точек в изображении фантома, который является самостоятельной задачей, происходит определение координат точек  $u_k$ , соответствующих узлам  $v_k$ . Информация о координатах точек  $u_k$  и корректирующих сдвигах  $d_k = v_k -$

$u_k$  служит основой для построения корректирующего обратного отображения  $v = F^{-1}(u)$ . На этом этапе сначала производится интерполяция корректирующих сдвигов на регулярную, достаточно частую базовую сетку. Затем для каждой ячейки базовой сети по определенным в ее узлах корректирующим сдвигам вычисляется набор коэффициентов  $C1-C8$  в формулах билинейной интерполяции для корректирующего сдвига по  $x$  и корректирующего сдвига по  $y$  для точки внутри ячейки. Сам подход с применением коэффициентов коррекции известен давно [1], но важен способ их получения. В [1] предлагалось применять щелевые фантомы, что позволяет не решать задачу распознавания точек, но дает менее точную информацию о корректирующих сдвигах. Разнообразные предложения по коррекции, часто в форме патентов, касаются усовершенствования процедуры получения коэффициентов коррекции. Рассматривались, например, построение нескольких вариантов корректирующего отображения для разных возможных значений энергии события [2], программная коррекция линейности на основе равномерно засвеченного изображения [3], применение фантомов с отверстиями некруглой формы или расположенными нерегулярно [4]. Предлагаемый в данной работе подход основан на имеющей возможность настройки процедуре распознавания точек и на специальной процедуре двумерной интерполяции для обычных условий регулярной сетки узлов.

### Этап распознавания точек

Для того чтобы описать отображение  $F$ , заданное на дискретной сетке узлов фантома, требуется распознать точки в изображении фантома. При этом надо выделить отдельные пятна, определить их координаты и установить, каким узлам фантома эти пятна соответствуют. Трудность состоит в том, что пятна не имеют четкой границы и могут накладываться друг на друга (рис. 1). Особенно это проявляется на краях и в углах изображения.

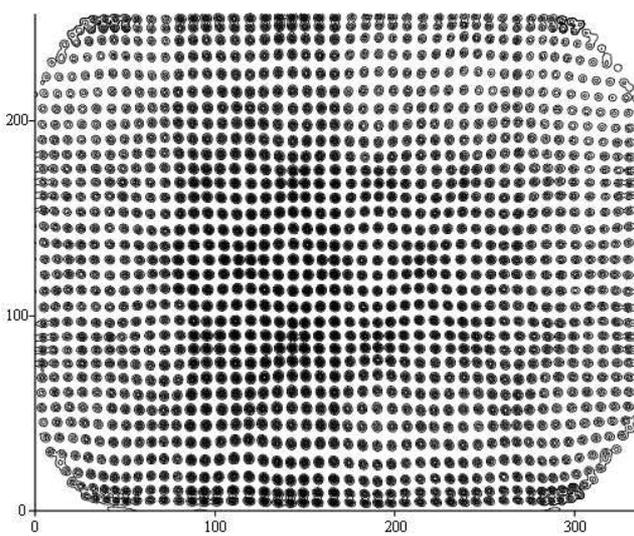


Рис. 1. Изображение фантома, полученное без применения коррекции.

Процедура распознавания выполняется в несколько этапов. Начинается она с выделения (“захвата”) первой точки, достаточно произвольно выбираемой в центральной области, где обычно наложения пятен почти нет и с выделением пятна проблем не возникает. Применяются цифровые маски, делается несколько проб, чтобы “нащупать” пятно, определяется приблизительное положение центра тяжести пятна, исследуется изображение в окрестности этой точки и определяются границы пятна. Окончательно определяется уточненное положение центра тяжести пятна. Оно и принимается за положение точки. На следующем шаге идет последовательный захват точек центрального креста, т.е. тех точек, которые лежат в одной строке и в одном столбце с первой захваченной точкой. При этом определяется и число строк и столбцов в изображении фантома. Затем, используя точки центрального креста как отправные, проводим захват точек в четырех квадрантах. При определении положения очередной точки делается прогноз ее положения по предыдущим захваченным точкам. Захват идет вдоль строк и столбцов, и при этом проверяются условия достижения края изображения. В результате вместо набора пятен получается массив точек, заданных своими координатами. У реального фантома, в соответствии с формой кристалла гамма-камеры, слегка срезаны углы. Поэтому некоторым угловым точкам прямоугольной сетки, служащей моделью фантома, не находится соответствующих точек в изображении. Проводится реконструкция таких точек. Отметим, что на качество коррекции она не влияет (изображение в области реконструированных точек реально отсутствует) и нужна только для установления взаимно-однозначного соответствия между точками фантома и точками

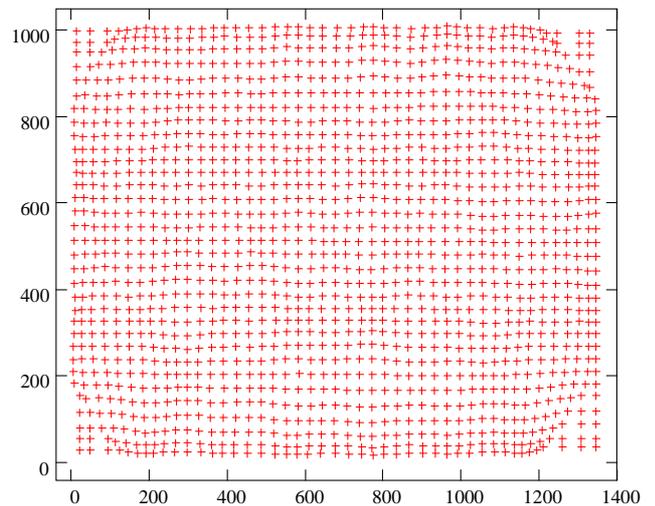


Рис. 2. Координаты распознанных точек (пятен) фантома.

изображения. Пример результата распознавания точек показан на рис. 2.

### Определение коэффициентов коррекции

Полученная на этапе распознавания нерегулярная сетка точек  $(px_k, py_k)$  изображения соответствует точкам  $(fx_k, fy_k)$  регулярной сетки фантома. Значит, нам становятся известны и корректирующие сдвиги  $(\Delta x_k, \Delta y_k)$ :  $(fx_k, fy_k) = (px_k, py_k) + (\Delta x_k, \Delta y_k)$ . Это означает, что мы имеем корректирующее отображение  $v = F^{-1}(u)$ , заданное на нерегулярной сетке узлов  $(px_k, py_k)$ . Для того чтобы это отображение можно было применять к произвольной точке в пространстве изображения, сначала его надо перевести на достаточно подробную регулярную сетку точек в этом пространстве –  $(PX_j, PY_j)$ , т.е. определить соответствующие корректирующие сдвиги  $(\Delta X_j, \Delta Y_j)$ . Это выполняется с помощью специальной процедуры двумерной интерполяции. Для ячейки сетки, заданной четырьмя узлами  $(PX_j, PY_j), (PX_j, PY_{j+1}), (PX_{j+1}, PY_{j+1}), (PX_{j+1}, PY_j)$ , соответствующие корректирующие сдвиги  $\Delta X_1, \Delta X_2, \Delta X_3, \Delta X_4$  и  $\Delta Y_1, \Delta Y_2, \Delta Y_3, \Delta Y_4$  служат коэффициентами  $C1, C2, C3, C4$  и  $C5, C6, C7, C8$  в формуле билинейной интерполяции для точки  $(X, Y)$  внутри ячейки.

$$FX = X + C1 + C2 \cdot Rx + C3 \cdot Ry + C4 \cdot Rx \cdot Ry,$$

$$FY = Y + C5 + C6 \cdot Rx + C7 \cdot Ry + C8 \cdot Rx \cdot Ry, \quad (1)$$

где  $Rx = (X - PX_j)/hx, Ry = (Y - PY_j)/hy$  - относительные координаты точки внутри ячейки. Именно преобразование (1) и применяется для коррекции каждой зарегистрированной точки в детекторе гамма-камеры. Вычисления выполняются в специальном электронном блоке (корректоре) с использованием запасенных в памяти коэффициентов коррекции  $C1-C8$ .

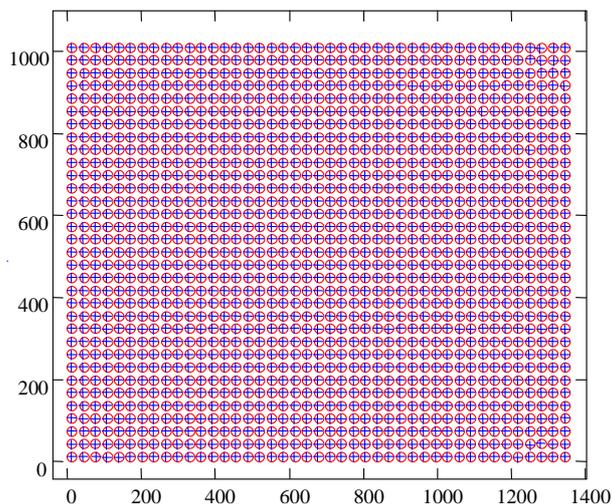


Рис. 3. Откорректированное положение дырок фантома (показано символами **o**) на фоне регулярной сетки (символы **+**).

В качестве проверки правильности полученных коэффициентов можно применить преобразование (1) к распознанным точкам (т.е. точкам на рис. 2). Откорректированные точки практически совпадают с точками фантома (в среднем отклонение координат 0,5 мм) (рис. 3).

Разработанный метод позволяет увеличить поле зрения гамма-камеры с  $520 \times 390$  мм до размера  $540 \times 410$  мм и уменьшить дифференциальную нелинейность изображения в полезном поле зрения (в центральном поле зрения) до 0,2 (0,1) мм.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Pat. 4,298,944 US. Distortion correction method and apparatus for scintillation cameras / E. W. Stoub, J. G. Colsher, G. Muehlechner. – Publ. Patent and Trademark Office, 1981.*
2. *Pat. 5,345,082 US. Scintillation camera utilizing energy dependent linearity correction / J. C. Engdahl, M. Pierfitte. – Publ. Patent and Trademark Office, 1994.*
3. *Johnson T.K., Nelson C., Kirch D.L. A new method for the correction of gamma camera nonuniformity due to spatial distortion // Phys. Med. Biol. - 1996. Vol. 41. - P. 2179 - 2188.*
4. *Pat. 7,232,990 US. Peak detection calibration for gamma camera using non-uniform pinhole aperture grid mask / S. X. Wang, J. T. Chapman, R. E. Malmin. - Publ. Patent and Trademark Office, 2007.*

### КОРЕКЦІЯ ЛІНІЙНОСТІ ДВОВИМІРНОГО ЗОБРАЖЕННЯ В ТОМОГРАФІЧНІЙ ГАММА-КАМЕРІ

**О. М. Соколов**

На основі зображення прямокутного дірчастого фантома, отриманого в гамма-камері без корекції, будується опис прямого відображення й з допомогою спеціально розробленої процедури двовимірної інтерполяції для нерівномірної сітки крапок будується коригувальне відображення, яке реалізоване в блоці корекції.

### LINEARITY CORRECTION OF TWO-DIMENSION IMAGE IN TOMOGRAPHY GAMMA-CAMERA

**A. M. Sokolov**

On the base of image of regular grid hole phantom, which is obtained in gamma-camera without correction, description of direct mapping is made. Correcting mapping is build by means of specially developed two-dimension interpolation procedure for non-regular net of points and then is used in correction unit.

Поступила в редакцію 27.11.07,  
после доработки – 31.03.08.