

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Патент РФ №2233444. Способ оценки процессов разрушения конструкций при акустико-эмиссионном контроле / Попов А.В. // 2003.
2. *Вентцель Е.С., Овчаров Л.А.* Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. – М.: Наука, 1991. – 380 с.
3. *Расцепляев Ю.С., Попов А.В.* Метод инвариантов в задаче исследования потоков акустической эмиссии // Дефектоскопия. – 2000. – №10. – С. 79-82.

В.С. Бабков

**СПЕЦПРОЦЕССОР ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОПИСАНИЯ
ОБЪЕКТОВ В СОСТАВЕ ПОДСИСТЕМЫ РЕКОНСТРУКЦИИ
3D-МОДЕЛЕЙ В КТ**

Система реконструкции трехмерных объектов в КТ, описанная в [1], предполагает на этапе предварительной обработки формирования послойного описания объекта в пиксельном или сплайновом представлении. Так как каждый слой (срез) представляет собой растровое изображение в формате (оттенки серого, 8 бит на пиксель, разрешение 512x512 при использовании стандарта DICOM [2]), то первоочередной является задача сегментации – выделения отдельных объектов. Как было показано в [3], наибольший интерес представляет непрерывное представление границ объектов (сплайны и т.п.). Непрерывные границы результирующих участков – достоинство методов сегментации на основе участков, например *region growing*, *split & merge* и т.п. [4].

Проведенные исследования характеристик томографических срезов показали, что непосредственное применение методов сегментации дает негативные результаты из-за значительной перегруженности входных изображений мелкими деталями и размытостью границ отдельных объектов (рис. 1).

Анализ известных методов обработки изображений [5] показал, что положительные результаты дает предварительная коррекция гистограммы, которая уменьшает число разнородных участков на изображении и подчеркивает границы участков.

Для коррекции гистограммы необходимо наличие порогов – величин, к которым сводятся все оттенки входного изображения (пример изображения после коррекции на 4 порогах показан на рис. 2). Автоматический поиск порогов путем анализа гистограмм хорошо описан в литературе [6], однако при решении данной задачи на практике пришлось столкнуться с тем, что пороги, определяемые по вышеупомянутому принципу, оказывались неточными и приводили к искажению объектов на изображении.

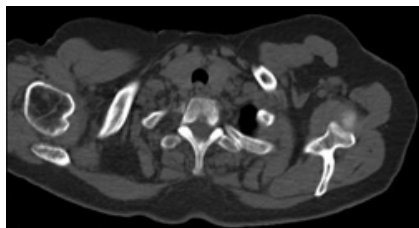


Рис. 1. Пример входного среза

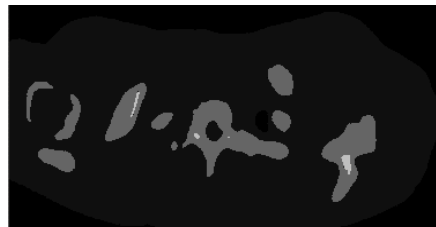


Рис. 2. Результат коррекции гистограммы

Была выдвинута гипотеза, что улучшить качество определения порогов можно путем предварительной оценки распределения оттенков по элементарным ячейкам изображения. Данный принцип показан на рис. 3. Для анализа изображения вводится сетка из ячеек размером $N*N$ пикселей. Для каждой ячейки строится локальная гистограмма, для которой определяется максимум. Этот максимум и переносится в глобальную гистограмму. Таким образом, глобальная гистограмма строится для тех оттенков, которые преобладают в элементарных ячейках изображения.

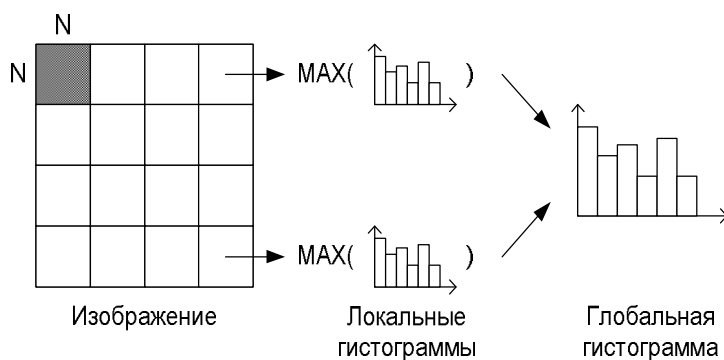


Рис. 3. Схема расчета глобальной гистограммы

Далее в гистограмме выделяются пики и определяются пороги по уже известной методике.

Результат формирования участков с использованием модифицированной коррекции гистограмм показан на рис. 4.

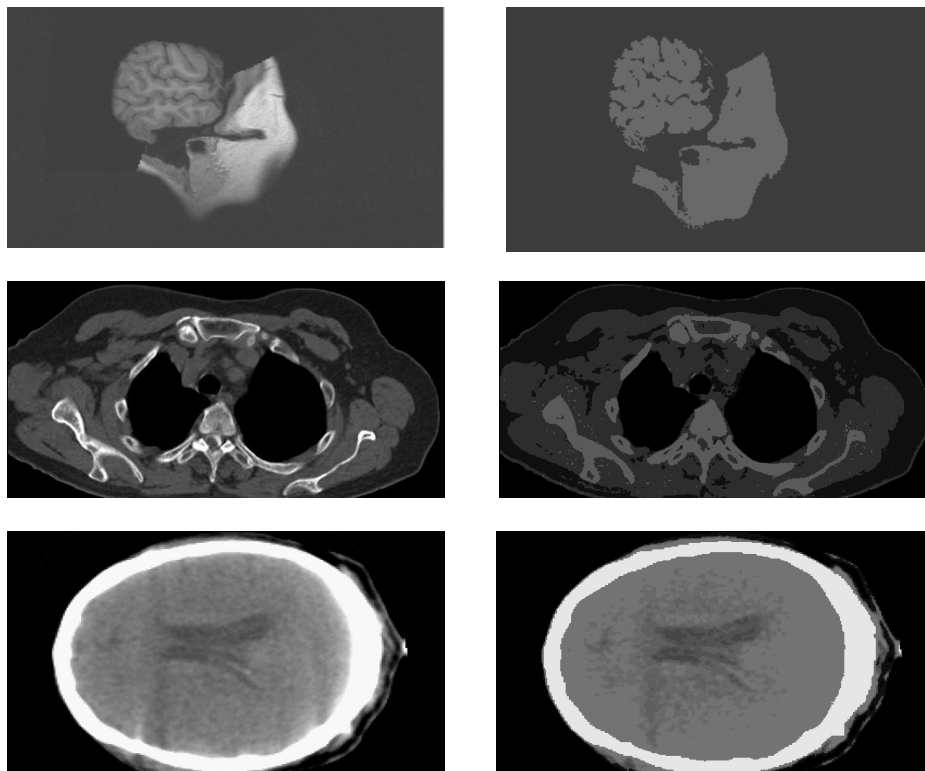


Рис. 4. Результаты работы модифицированного алгоритма

Как видно из рисунка, субъективно границы объектов определены с большей адекватностью, чем при использовании обычной коррекции гистограмм.

Для эффективной реализации предложенного алгоритма в составе системы реконструкции предлагается разработать структуру специализированного процессора, который будет ориентирован на выполнение задачи оценки порогов на этапе предварительной обработки данных.

Структура процессора показана на рис. 5. Спецпроцессор состоит:

- из регистра ячейки RgCell, в котором хранятся оттенки пикселей текущей ячейки изображения;
- счетчика интервалов CtInt, который обеспечивает формирование локальной гистограммы ячейки и определение максимума;
- ОЗУ гистограммы RAMHist, которое хранит глобальную гистограмму изображения;
- ОЗУ внутренних структур данных RAMStruct, которое хранит внутренние данные, используемые для анализа гистограммы;
- блока процессорных элементов PU1-PU_n, который предназначен для обработки данных;
- стек порогов StackThresh, который представляет собой выходную структуру данных, в которую помещаются пороги, найденные в результате работы спецпроцессора.

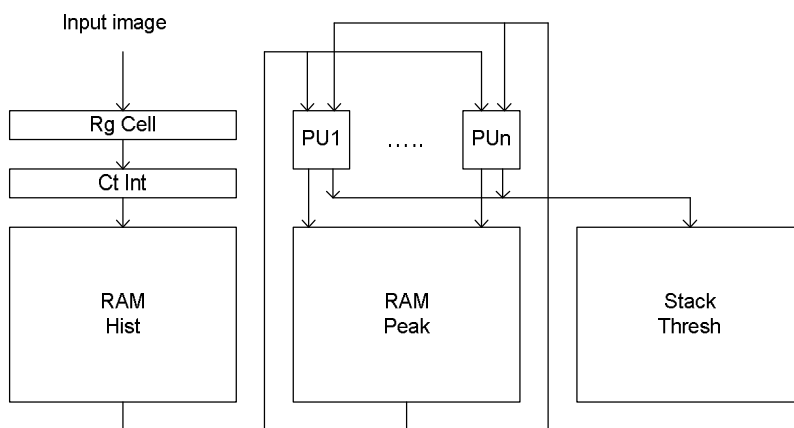


Рис. 5. Структура спецпроцессора

Спецпроцессор работает следующим образом. Оттенки пикселей одной ячейки входного изображения попадают в регистр RgCell, далее значения пикселей используются для наращивания счетчика интервалов CtInt, который подсчитывает количество пикселей, попадающих в каждый интервал (от 0 до 255 для 8-битного grayscale изображения). Также счетчик формирует на выходе максимум из рассчитанных значений, который используется для коррекции содержимого ОЗУ гистограммы.

Далее работает блок процессорных элементов. На первом шаге блок рассчитывает локальные максимумы и минимумы гистограммы (количество одновременно рассчитываемых значений зависит от количества процессорных элементов). На втором шаге для каждого максимума рассчитывается площадь участка гистограммы между соседними минимумами в окрестности максимума. На третьем шаге рассчитывается значение „пиковости” для каждого максимума [6]:

$$Peak = \frac{V_1 + V_2}{2P} \cdot \frac{S}{W * P},$$

где

V_1, V_2 – значения в локальных минимумах в окрестности максимума;

P – значение в локальном максимуме;

S – площадь участка гистограммы между локальными минимумами;

W – расстояние между локальными минимумами.

Для тех максимумов, «пиковость» которых превышает некоторый заданный порог, значения ближайших локальных максимумов переписываются в выходной стек порогов.

Для повышения эффективности обработки для хранения промежуточных данных предлагается использовать следующую структуру данных (рис. 6) :

min1	max	min	S
------	-----	-----	---

Рис. 6. Структура данных ОЗУ RAMStruct

Данная структура содержит локальный максимум, соседние локальные минимумы и площадь соответствующего участка гистограммы.

Анализируя действия, выполняемые процессорным элементом, можно сделать вывод, что элемент должен выполнять следующие действия:

- сложение;
- сравнение;
- сдвиг;
- умножение;
- деление.

Для анализа временных характеристик предложенной структуры сделаем следующие допущения:

- 1) размер элементарной ячейки изображения 10x10 пикселей;
- 2) входные изображения содержат оттенки серого (grayscale) в формате 8 бит на пиксель и имеют размер $M \times N$ пикселей;
- 3) один такт работы устройства равен T ;
- 4) время выполнения операций: запись в регистр, ОЗУ и стек – T , работа счетчика интервалов – $2T$ (подсчет и проверка на максимум), операции сложения, сдвига, сравнения – T , операции умножения, деления – $2^n T$ (n – разрядность операндов);
- 5) худшим случаем для работы устройства будем считать последовательное чередование максимумов и минимумов в изображении.

С учетом вышеизложенного формула для расчета времени обработки изображения будет следующая:

$$t = \frac{N * M}{R^2} (t_{RgCell} + t_{CInt} + t_{RAM}) + \frac{2^n}{p} (t_{sr} + 2t_{RAM}) + \frac{2^n}{2p} (t_{sm} + t_{RAM}) + \frac{2^n}{2p} (t_{sm} + t_{sdv} + 2t_{div} + 2t_{mul} + 2t_{RAM})$$

Учитывая замечания 1 - 5, после преобразований, получаем:

$$t = T \left(\frac{NM}{R^2} + 59 \frac{2^n}{p} \right).$$

Определим зависимость $t(p)$, где p – количество процессорных элементов.

Положим $n=8$ (8 бит на пиксель), $R=10$ (размер ячейки), $N=512$, $M=512$ – типовой размер изображения, $T=10$ нс.

Как видно из графика на рис. 7, максимальный эффект от увеличения количества ПЭ проявляется до $p \approx 50$.

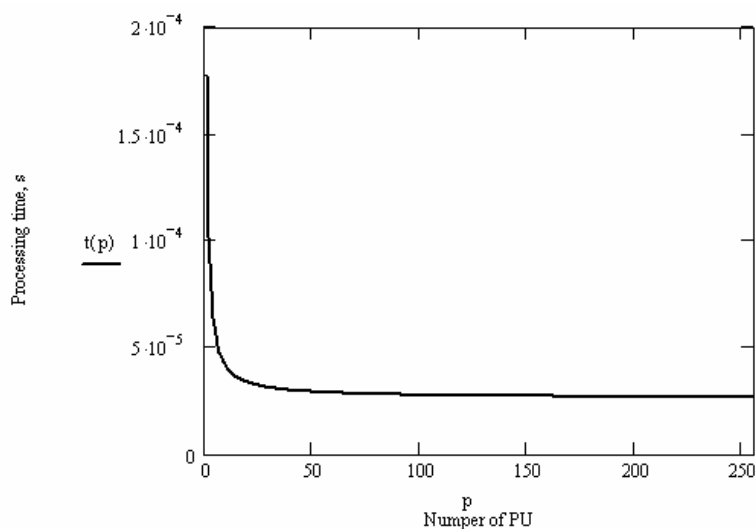


Рис. 7. Зависимость времени расчета от количества ПЭ

По результатам работы можно сделать следующие выводы:

- модифицированный алгоритм коррекции гистограмм позволяет получить в результате более четкие и ярко выраженные границы объектов на изображении по сравнению с простой коррекцией гистограмм;
- предложена эффективная аппаратная реализация модифицированного алгоритма коррекции гистограмм;
- выполнена оценка зависимости времени расчета от количества процессорных элементов;
- сделан вывод о том, что увеличение количества процессорных элементов в системе (с учетом сделанных допущений) свыше 50 единиц нерационально.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бабков В.С. Реконструкція 3D-моделей органів в комп'ютерній томографії при обмеженому об'ємі вхідних даних. Наукові праці ДонНТУ. Серія "Проблеми моделювання та автоматизації проектування динамічних систем". Випуск 52 – Донецьк: ДонНТУ, 2002. – 100 - 105 с.
2. <http://medical.nema.org>, DICOM standart 2007 (01.12.07)
3. Бабков В.С. Застосування сплайнів для подання контурів в методах обробки томографічних зображень. Наукові праці Донецького національного технічного університету, Серія "Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка", Випуск 70. 2003. – 30-38 с.
4. Farrell E.J. et al. Graphical 3D Medical Image Registration and Quantification. J-Med-Sys 1997 Jun, VOL: 21 (3), p. 155-72
5. Прэнтт У. Цифровая обработка изображений в 2-х т.: Пер. с англ. – М.: Мир, 1982.
6. Вежневцев В., Вежневцев А., Коцушин А. Курс «Введение в компьютерное зрение». – М.: МГУ ВМК Graphics & media lab, 2006.