



УДК 004.932: 004.83: 004.8.032.26

FPGA-ТЕХНОЛОГИИ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ФОРМЕ ФЛЮОРОГРАММ

**С.М. ЧУДИНОВ¹, Р.А. ТОМАКОВА²
В.А. СТЕПАНОВ³, И.В. ЗУЕВ⁴**

¹⁾ ОАО «НИИ Супер-ЭВМ»

²⁾ ФГБОУ ВПО «Юго-Западный
государственный университет»

³⁾ ФГБОУ ВПО Удмурдский
государственный университет»

⁴⁾ ОАО Научно-исследовательский
институт вычислительных комплексов
им. М.А. Карцева

e-mail:

chud35@yandex.ru
tomakova@rambler.ru
Stepanov.vladimi@mail.ru
i.zuev@mchs.gov.ru

Рассматривается применение FPGA-технологии в автоматизированных системах для исследования изображений в форме флюорограмм на основе фрактального представления моделей цифровых изображений. Показано, что классификацию флюорограмм целесообразно реализовать, используя технологии FPGA, обеспечивающие повышение оперативности принятия решений.

Ключевые слова: применение FPGA-технологии, фрактальные модели изображений, электронные модули

В настоящее время в медицинских системах интеллектуальной поддержки принятия решений применяются гибридные модели анализа [1]. Такие модели используются в автоматизированных системах диагностики заболеваний легких, которые построены на основе фрактального анализа флюорограмм.

Для автоматической классификации изображений флюорограмм легких разработан метод, основанный на фрактальном представлении моделей цифровых изображений [2]. Этот метод позволяет осуществлять формирование пространства информативных признаков для обеспечения диагностики заболеваний.

Для построения моделей изображений двумерное изображение флюорограммы представляется в виде трехмерной структуры с координатами X, Y, ОП (величина оптической плотности) в качестве третьей координаты. С этой целью ось ОП флюорограммы делится на 20 слоёв с шагом в 5%. Такой выбор слоев обоснован физическими возможностями человека различать оптическую плотность объектов на изображении.

Переход от изображения флюорограммы к ее математической модели в виде набора слоёв осуществляется для раздельного анализа информации с использованием фрактального подхода, вычисления и формирования пространства информативных признаков для классификации флюорограмм.

Для выявления мультифрактальных параметров структур растровых изображений используется метод разбиения изображения на квадратные ячейки со стороной δ . Минимальный элемент изображения обозначим x_{ij} – величина, характеризующая градацию серого в пределах от 0 до 255, где 0 означает черный цвет, а 255 – белый; $i = \overline{1, r}$, $j = \overline{1, c}$, где r, c – число строк и столбцов, ограничивающих размер изображения.

Методика расчета обобщенных оценок фрактальных размерностей структуры изображений, ограничивается рассмотрением пикселей двух типов. При этом исходный набор данных x_{ij} преобразуется в новый по формуле:

$$y_{ij}(x_{ij}, \Gamma) = \begin{cases} 0, & \text{если } x_{ij} \notin \Gamma; \\ 1, & \text{если } x_{ij} \in \Gamma; \end{cases} \quad (1)$$

где $\Gamma = \{\gamma_1, \gamma_1 + 1, \gamma_1 + 2, \gamma_1 + 3 \dots \gamma_2\}$ – множество $(\gamma_2 - \gamma_1 + 1)$ упорядоченных элементов, $\gamma_1 < \gamma_2$; $\gamma_1, \gamma_2 \in \{0, 1, 2 \dots 255\}$.



В результате разбиения исходного изображения на квадратные ячейки со стороной δ , получаем $N(\delta)$ – общее число ячеек на изображении. Для каждой ячейки с номером k , $k = \overline{1, N(\delta)}$ вычисляем количество единичных пикселей

$$M_k = \sum_{i=r(k)}^{r(k)+\delta-1} \sum_{j=c(k)}^{c(k)+\delta-1} y_{ij}(\Gamma), k = \overline{1, N(\delta)}, \tag{2}$$

где $r(k)$ и $c(k)$ – номер строки и столбца k -ой ячейки.

Вычисляем количество единичных пикселей изображения:

$$\tag{3}$$

затем определяем «заселенность» k -й ячейки:

$$p_k = \frac{M_k}{M}, k = \overline{1, N(\delta)}. \tag{4}$$

Для нахождения спектра фрактальных размерностей D_q , $-\infty \leq q \leq \infty$, описывающих мультифрактал, введем в рассмотрение сумму,

$$Z(q, \delta) = \sum_{i=1}^{N(\delta)} p_i^q(\delta), \tag{5}$$

которая представляет собой выборочный начальный момент q -го порядка. Тогда спектр обобщенных фрактальных размерностей вычисляется по формуле

$$D_q = \frac{\tau(q)}{q-1}, \tag{6}$$

где функция $\tau(q)$ имеет вид:

$$\tau(q) = \lim_{\delta \rightarrow \infty} \frac{\ln \sum_{i=1}^{N(\delta)} p_i^q(\delta)}{\ln \delta} \quad \tau(q) = \lim_{\delta \rightarrow \infty} \frac{\ln Z(q, \delta)}{\ln \delta}. \tag{7}$$

Если функция D_q зависит от q , то рассматриваемый объект является мультифракталом.

С помощью спектра D_q определяются параметр скрытой упорядоченности структуры $D_{-\infty}-D_{+\infty}$.

На рис. 1 приведен пример изображения с разбиением на ячейки с стороной $\delta = 4$, при этом пиксели, не попавшие в ячейки анализа, не учитываются.

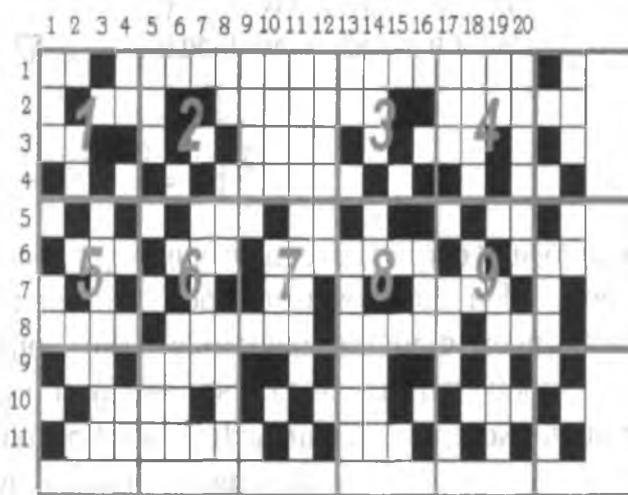


Рис. 1. Пример разбиения исходного изображения при $\delta = 4$

С помощью спектра D_q определяется параметр скрытой упорядоченности структуры флюорограммы $D_{-\infty}-D_{+\infty}$.



В настоящей работе предложено воспользоваться классификацией флюорограмм на основании двух точек: $D_{j,-40} - D_{j,+40}$ – на j ячейке, разница обобщенных фрактальных размерностей в этих точках называется скрытой упорядоченностью. В зависимости от номера (размера) ячейки вычислялась динамика изменения степени скрытой упорядоченности.

Для реализации метода классификации флюорограмм необходимо $N(\delta)$ раз использовать формулу $M_k = \sum_{i=r(k)}^{r(k)+\delta-1} \sum_{j=c(k)}^{c(k)+\delta-1} y_{ij}(\Gamma), k = \overline{1, N(\delta)}$, которая осуществляет интегрирование изображения в заданной ячейке, а затем повторить эту операцию для каждого слоя, то есть 20 раз.

Для повышения оперативности этих вычислений целесообразно автоматизированную систему классификации флюорограмм реализовать на базе технологий FPGA (field-programmable gate array – программируемые пользователем вентельная матрица) с использованием унифицированных электронных модулей (УЭМ) разработки ОАО «НИИ Супер ЭВМ» [3].

Высокая производительность вычислительных устройств на основе УЭМ достигается использованием современных модификаций алгоритмов цифровой обработки сигналов с динамическим изменением структуры вычислительной среды, оптимально сочетающей параллельные и потоковые вычисления. Использование при необходимости переменной разрядности операндов, обеспечивающей вычисления без потери точности, позволяет надеяться на результирующий выигрыш производительности при решении задач цифровой локации за счёт использования формул прямого вычисления вместо приближённых итеративных методов. Изделие УЭМ представляет собой набор из 3-х типов модулей МЦЛ1, МЦЛ2, МЦЛ3 с мезонинными submodule МЦЛ-11, МЦЛ-12, МЦЛ-13 стандарта FMC. Конструктивно все модули изделия выполнены в виде ячеек формата 6U и предназначены для использования в корпусе (крейте) стандарта Евромеханика 19” с объединительной платой стандарта cPCI, блоком питания АТХ и вентилятором. Каждый модуль с submodule занимает 1 слот в крейте. Межмодульные связи модулей МЦЛ реализуются по медным витым парам через submodule типа 2 и дополнительно через кроссплату по шине cPCI.

Основу модулей составляет универсальная основная плата с электрорадиоэлементами (ЭРИ), рассчитанная на установку одного, двух или трех мезонинных коммуникационных submodule стандарта ANSI/VITA 57.1-2008 трех типов: МЦЛ-11, МЦЛ-12, МЦЛ-13. На основной плате с ЭРИ предусмотрены посадочные места для установки 3-х функциональных групп элементов.

Каждая функциональная группа может работать либо автономно, либо в связи с одной или двумя другими группами. На разъём FMC в группе может устанавливаться submodule любого типа (любой submodule УЭМ). Вариант работы с submodule определяется прошивкой ПЛИС (т.е. изменением конфигурации FPGA) в данной группе. Связь между ПЛИС по плате выполнена с использованием мультигигабитных двунаправленных каналов обмена самих ПЛИС.

По сути, устройства технологии FPGA являются платформами общего назначения, на базе которых разработчики проектируют одно- или многопроцессорные системы. Возможности FPGA не ограничиваются заранее определенной системной архитектурой – эти интегральные схемы программируются и настраиваются. На самом деле, благодаря устройствам FPGA достигается баланс между процессором, выполняющим команды и функции управления, и логикой устройства FPGA, осуществляющей обработку данных с высокой скоростью.

Интегральное представление изображения – это матрица, размерность которой совпадает с размерностью исходного изображения. Элементы этой матрицы рассчитываются по формуле:

$$I_{\Sigma}(x, y) = \sum_{i=0}^{i \leq x} \sum_{j=0}^{j \leq y} I(i, j). \quad (10)$$

Из этой формулы следует, что каждый элемент интегрального изображения $I[i, j]$ содержит в себе сумму пикселей изображения в прямоугольнике от (0,0) до (x,y) и



расчет интегрального изображения занимает линейное время, пропорциональное числу пикселей исходного изображения.

Расчет матрицы можно производить по рекуррентной формуле:

$$I(x,y) = I(x,y) - I(x-1,y-1) + I(x,y-1) + I(x-1,y). \quad (11)$$

Использование FPGA для ускорения интегральных вычислений основано на том, что на ее основе можно создать различное количество процессорных элементов (PE), выполняющих одну и ту же операцию, которые позволяют сократить общее время, необходимое для обработки изображений. Также PE могут быть объединены, как показано на рисунке 2.

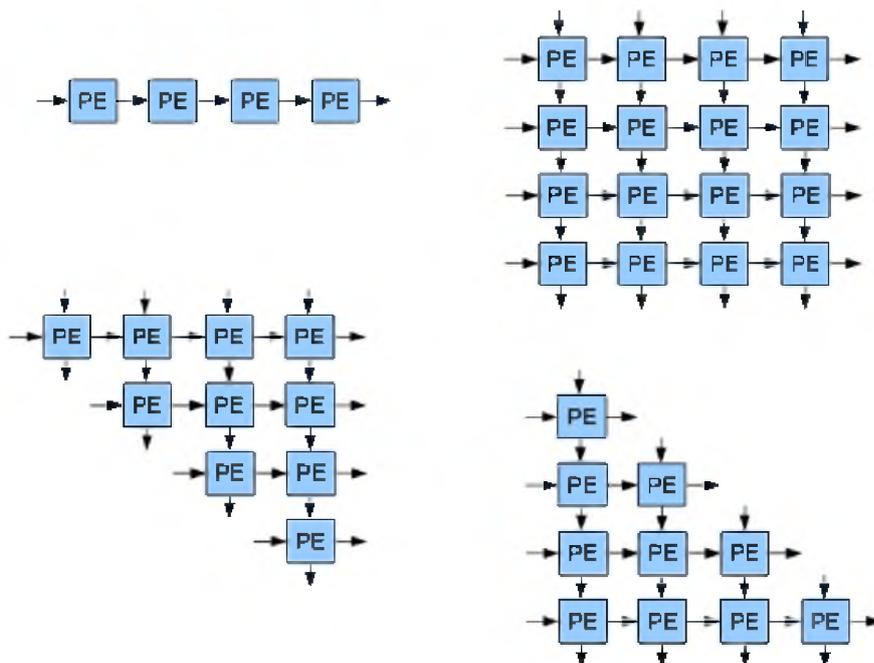


Рис. 2. Возможные варианты соединения PE

Оценка суммарного времени выполнения для последовательной реализации на и различного количества PE приведена в таблице.

Таблица

Оценка времени, необходимая для обработки изображения

Время выполнения (мс)			
Размер изображения	1280x960	640x480	320x240
Последовательное GPU	15361	4570	1652
Последовательное FPGA	12915	3228	807
2 PE	6497	1624	406
4 PE	3198	799	199

Выводы

Фрактальный подход к анализу изображений сводится к получению спектра мультифрактальных размерностей и вычислению на их основе параметров скрытой упорядоченности структуры изображения для каждого оптического слоя. Модель изображения состояния объекта диагностики может быть представлена в виде полиномиальной зависимости параметра скрытой упорядоченности от величины размера ячейки δ . На основе этой модели формируется пространство информативных признаков для создания решающего правила диагностирования и классификации флюорограмм.

Математические алгоритмы формирования фрактальных моделей реализованы с помощью логических функций, встроенных в ПЛИС. Тем самым обеспечивается работа



системы классификации флюорограмм в реальном времени, что позволяет рекомендовать ее для скрининговой диагностики заболеваний легких.

Список литературы

1. Томакова, Р.А. Нечеткая сетевая модель интеллектуального морфологического оператора для формирования границ сегментов / Р.А. Томакова, С.А. Филист, В.В. Руденко // Научные ведомости БелГУ. – Белгород: Изд-во БелГУ, 2011. – № 1(96). Вып. 17/1. – С.188-195.

2. Степанов, В.А. Метод представления флюорограмм в виде трехмерной структуры в скрининговой диагностике туберкулеза на основе компьютерного анализа фрактальных объектов/ В.А. Степанов // Медико-экологические информационные технологии-2013: сборник материалов XVI Междунар. науч.-техн. конф. Юго-Зап. гос. ун-т. Курск, 2013. – С.160-166.

3. С.Н. Маликов, С.М. Чудинов, Л.У. Омерова., Унифицированные электронные модули – универсальный инструмент интеграции высокоуровневых ресурсов для решения научных и инженерных задач. Вопросы радиотехники №2 за 2014 с. 18-30.

FPGA-TECHNOLOGY IN AUTOMATED SYSTEMS FOR RESEARCH IN THE FORM OF IMAGES PHOTOFLUOROGRAM

S.M. CHUDINOV¹
R.A. TOMAKOVA²
V.A. STEPANOV³
I.V. ZUEV⁴

¹⁾ OJSC "NII Super-EVM"

²⁾ VPO "Southwest State University"

³⁾ State University. M.T. Kalashnikov

⁴⁾ Moscow Research Institute of VC

e-mail:

chud35@yandex.ru

tomakova@rambler.ru

Stepanov.vladimi@mail.ru

i.zuev@mchs.gov.ru

The application of FPGA-technology in automated systems for imaging studies in the form of Photofluorogram based on fractal representation of models of digital images. It is shown that the classification Photofluorogram appropriate to implement using technology FPGA, offering enhanced efficiency of decision-making.

Keywords: application of FPGA-technology, fractal image models, electronic modules