



КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

УДК 004.932: 004.83: 004.8.032.26

ПРИМЕНЕНИЕ УСТРОЙСТВ FPGA-ТЕХНОЛОГИИ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ ДЛЯ СЕГМЕНТАЦИИ СЛОЖНОСТРУКТУРИРУЕМЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

С.М. ЧУДИНОВ¹
Р.А. ТОМАКОВА²
И.В. ЗУЕВ³

¹ ОАО «НИИ Супер-ЭВМ»
² ФГБОУ ВПО «Юго-Западный
Государственный
университет»
³ ОАО «НИИ ВК
им. М.А. Карцева, г. Москва

e-mail:
tomakova@rambler.ru
i.zuev@mchs.gov.ru
chud35@yandex.ru

Рассматривается применение FPGA-технологии в автоматизированных системах для сегментации сложноструктурируемых изображений. Показано, что гибридные методы построения вычислительных структур на основе применения FPGA-технологий позволяют значительно снизить время выполнения морфологических операций.

Ключевые слова: сегментация изображений, интеллектуальный морфологический оператор, сложноструктурируемые изображения, FPGA-технологии

При выделении контуров объектов на изображениях в большинстве случаев используется последовательность градиентной и морфологической обработки [1]. Наиболее узким местом такого подхода является время обработки данных, которое становится критическим при использовании многомасштабных преобразований или гибридных методов обработки данных.

Для морфологической обработки сложноструктурируемых изображений в [2] предложено использовать интеллектуальный морфологический оператор, использующий гибридный подход к выделению сегментов изображения. Бинарное изображение границ сегментов получают из градиентного изображения путем использования сетевой модели преобразований, представленной на рисунке 1. Эта модель включает пять слоев.

За основу формирования слоя взята девятиэлементная маска с восьмью направлениями θ ($\theta = \overline{0, 7}$) в активном пикселе, определяющими возможные координаты следующего пикселя границы сегмента.

Для формирования множества альтернативных решений по выбору пикселя границы сегмента сформированы три решающих правила. Эти правила реализуются тремя слоями сети.

Первое решающее правило основывается на том, что движение границы сегмента должно осуществляться в направлении, перпендикулярном направлению градиента яркости.

Второе решающее правило поддерживает утверждение, что наибольшую уверенность активации имеет тот пиксель, градиент которого ψ_i наиболее близок к градиенту

текущего активизированного пикселя ψ_9 , то есть необходимо проверить условие:

$$|\psi_9 - \psi_i| \rightarrow \min, \quad i = \overline{1, 8}. \quad (1)$$



Третье решающее правило основано на том положении, что яркость I_i активируемого пикселя должна быть близка к яркости предшествующего пикселя границы сегмента:

$$|I_9 - I_i| \rightarrow \min, \quad i = \overline{1,8}. \quad (2)$$

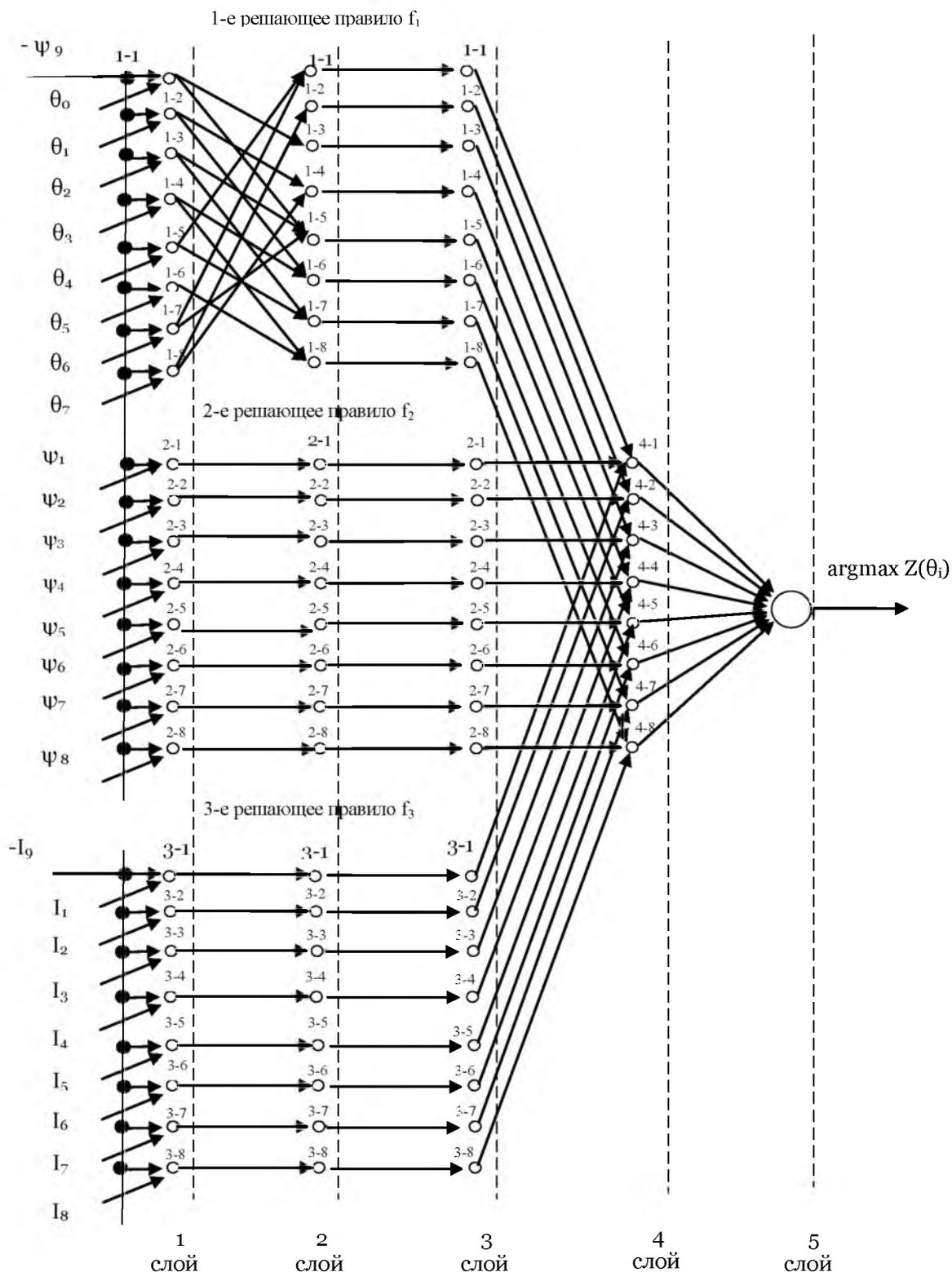


Рис. 1. Сетевая модель интеллектуального морфологического оператора

Таким образом, в первом слое сетевой модели (рис.1) происходит формирование условий для трех используемых решающих правил. Второй слой сети (рис.1) реализует



математическую обработку условий, полученных в первом слое. Для первого решающего правила (узлы 1-1 ... 1-8) математическая обработка сводится к нахождению минимального значения сигнала, приходящего в узел. В узел поступают два сигнала, каждый из которых вычисляется в первом слое как

$$\xi_i = -\psi_9 + \theta_i, \quad i = \overline{1,8}. \tag{3}$$

В каждом из узлов второго слоя вычисляется минимальный сигнал, который и поступает на третий слой (узлы 1-1 ... 1-8):

$$u1_i = \min(\xi_i^\ell, \xi_i^k), \tag{4}$$

где $\ell, k = \overline{1,8}; \theta_\ell \perp \theta_k$.

В третьем слое осуществляется формирование нечетких решающих правил $S1, S2, S3$. Каждое из трех решающих правил выполняет нелинейное преобразование величин, вычисленных в узлах второго слоя, в соответствующее число, лежащее в диапазоне $0 \dots v$. Величина $v, v \in [0,1]$ определяет вес решающего правила, задается эмпирически.

В четвертом слое сети осуществляется агрегация решающих правил $S1, S2, S3$ для каждого из восьми пикселей девятиэлементной маски.

В пятом слое выбирается один из восьми пикселей, агрегирующая функция Z для которого имеет максимальное значение. Агрегатор определяется как

$$Z = S1 + S2 + S3. \tag{5}$$

Процесс обработки данных интеллектуальным оператором может рассматриваться как потоковый и заключается в преобразовании кортежа (потока) вектора входных данных D в кортеж (поток) вектора выходных данных B . Учитывая, что на входе сети, представленной на рисунке 1, имеется три независимых потока данных, то одним из возможных путей сокращения времени обработки изображения является распараллеливание процесса обработки. В простейшем случае параллельный способ подразумевает наличие трех процессоров в первом-третьем слоях сети (см. рис.1), как это показано на рисунке 2.

Так как граф сети, показанный на рисунке 1, состоит из непересекающихся подграфов в слоях 1-3 сети, то для дальнейшего сокращения времени обработки данных можем использовать конвейерный способ обработки. В данном случае он предусматривает в каждом из трех первых слоев сети (рис.1) использовать по три процессора. В этом случае, как показано в [3], время обработки массива из N элементов на конвейере процессоров будет определяться временем обработки данных на самой «медленной» ступени конвейера.

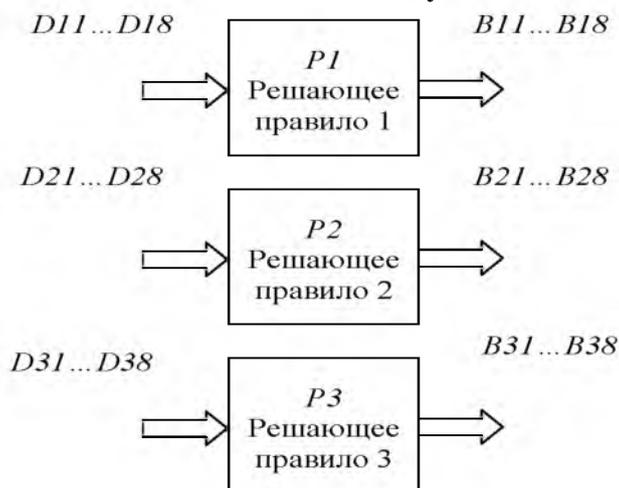


Рис. 2. Параллельный способ обработки векторов в слоях 1-3 морфологического интеллектуального оператора

Каждый из процессоров, изображенных на рисунке 2, включает три процессора, как это показано на рисунке 3 для первого решающего правила.

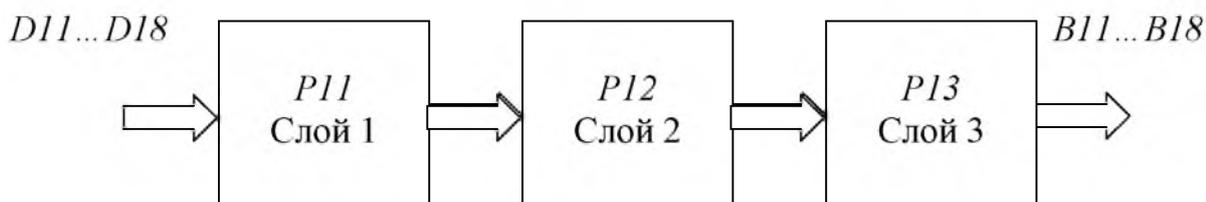


Рис.3. Соединение процессоров в первом потоке данных в конвейер

Очевидный путь увеличения темпа обработки информации в конвейере – это распараллеливание обработки на каждой ступени конвейера, то есть в реализации каждого процессора в структуре, изображенной на рисунке 1, посредством структуры, представленной на рисунке 2. В предельном случае можно представить i -ю ступень конвейера в виде восьми параллельно работающих процессоров, каждый из которых реализует операцию, соответствующую узлу графа сети, приведенной на рисунке 1.

Таким образом, вышеописанная вычислительная структура основана на гибридной технологии обработки данных, сочетает в себе как параллельный, так и конвейерный способ обработки информации, поскольку входные данные обрабатываются одновременно по различным конвейерным цепочкам процессов.

Реализовать данную гибридную технологию обработки данных можно на основе двух базовых аппаратных технологий: микропроцессорной техники и программируемых логических интегральных схемах (ПЛИС). Обе технологии имеют как преимущества, так и недостатки. К преимуществам микропроцессоров можно отнести простоту разработки устройств на их базе, которая, в сущности, сводится к написанию программного обеспечения. Наиболее перспективно проектирование таких устройств обработки данных на базе последней технологии, а именно FPGA (field-programmable gate array).

Задачей пользователя системы является правильная организация программы и распределение команд по отдельным обрабатывающим устройствам в системе. Как правило, балансировку нагрузки осуществляет операционная система (ОС), запущенная на данном устройстве. Поэтому в таких устройствах на входе обычно размещают специальное устройство-планировщик (scheduler), которое и производит распределение поступающих данных по отдельным процессорам в системе (см. рис. 4). Это устройство может быть достаточно примитивно, если отсутствует зависимость между поступающими на обработку пакетами данных, так и достаточно сложным, если требуется отслеживать эти зависимости и соблюдать порядок выполнения команд. Кроме того, на устройство обработки могут быть возложены задачи по включению/отключению отдельных процессоров, их переконфигурированию и управлению частотой.

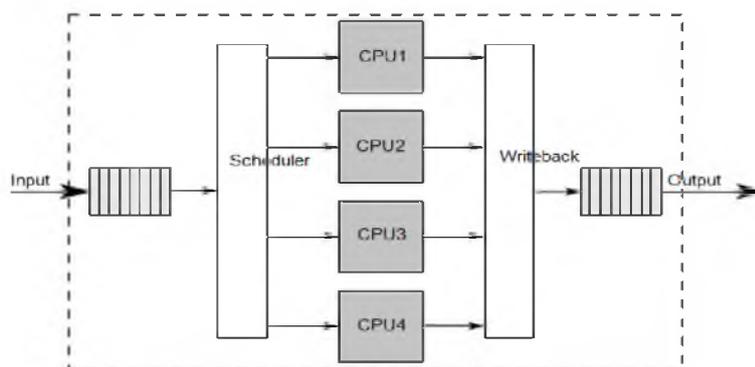


Рис. 4. Многопроцессорная обработка в гибридных системах обработки данных

Высокая производительность вычислительных устройств на основе УЭМ (унифицированные электронные модули) достигается использованием современных алгоритмов, оптимально сочетающей параллельные и потоковые вычисления [4]. 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 субмодулями занимает 1 слот в крейте. Межмодульные связи модулей МЦЛ реализуются по медным витым парам через субмодули типа 2 и дополнительно через кроссплату по шине сРСІ.

Основу модулей составляет универсальная основная плата с электрорадиоэлементами (ЭРИ), рассчитанная на установку одного, двух или трех мезонинных коммуникационных субмодулей 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 разъем FMC в группе может устанавливаться субмодуль любого типа (любой субмодуль УЭМ). Вариант работы с субмодулем 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 устройств 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.

Использование описанных выше особенностей FPGA дает широкие возможности для реализации аппаратным способом различных алгоритмов обработки изображений.

Использование FPGA технологии для ускорения процесса 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. Для реализации сетевой структуры интеллектуального морфологического оператора требуется структура PE, показанная на рис. 5.

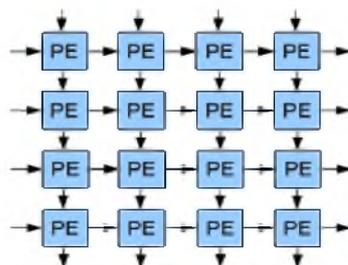


Рис. 5. Вариант соединения PE для реализации интеллектуального морфологического оператора

Выводы

Имеющийся в настоящее время инструментарий морфологической обработки изображений не позволяет обеспечить требуемое качество сегментации сложноструктурируемых изображений.

Интеллектуальные морфологические операторы, построенные на основе гибридных технологий, позволяют повысить качество сегментации сложноструктурируемых изображений, но не обеспечивают быстродействия, необходимого для современных систем обработки данных.

Математические алгоритмы интеллектуальных морфологических операторов могут быть реализованы с помощью логических функций, встроенных в ПЛИС. Тем самым обеспечивается работа системы сегментации сложноструктурируемых изображений в реальном времени, что позволяет рекомендовать ее для обработки сложноструктурируемых изображений, в частности, для систем поддержки принятия диагностических решений медицинского назначения.

**Список литературы**

1. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений в среде Matlab / Р. Гонсалес, Р. Вудс, С. Эддинс. – М.: Техносфера, 2006. – 616 с.
2. 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.
3. Реконфигурируемые мультиконвейерные вычислительные структуры/ И.А. Каляев, И.И. Левин, Е.А. Семерников, В.И. Шмойлов. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2008. – 398 с.
4. 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 Серия ЭВТ № 1 за 2014 с. 21-48.

**APPLICATION DEVICE TECHNOLOGY FPGA-AUTOMATED SYSTEMS
FOR IMAGE SEGMENTATION SLOZHNOSTRUKTURIRUEMYH**

S.M. CHUDINOV¹
R.A. TOMAKOVA²
I.V. ZUEV³

¹⁾ of "Institute
of Super-computers"
²⁾ VPO "Southwest
State University "

³⁾ Moscow Reserch Institute of VC

e-mail:
i.zuev@mchs.gov.ru
chud35@yandex.ru
tomakova@rambler.ru

Examines the use of FPGA-technologies in automated systems for segmentation of complex-structured images. It is shown that hybrid methods of construction of computing structures on the basis of application of FPGA-technologies allow to reduce considerably the time of execution of morphological operations.

Keywords: image segmentation, intelligent morphological operator, complex-structured images, FPGA-technology.