

И. В. Огнев, Н. А. Сидорова

ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ МЕТОДАМИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОРФОЛОГИИ В АССОЦИАТИВНОЙ ОСЦИЛЛЯТОРНОЙ СРЕДЕ

Проведен анализ ассоциативной осцилляторной среды, изучены особенности этого нового класса ассоциативных сред [1]. Разработаны способы и аппаратная реализация системы обработки изображений в ассоциативной осцилляторной среде с помощью методов математической морфологии; приведены оценки аппаратных и временных затрат. Исследовано использование механизма ассоциации при хранении и обработке изображений.

Введение

В настоящее время ЭВМ обеспечивает решение самых сложных и разнообразных задач, требующих значительного расхода вычислительных и коммуникационных ресурсов на информационный обмен между элементами системы. Вместе с тем возможности совершенствования вычислительной техники и систем обработки информации, базирующиеся во многом на основополагающих принципах Дж. Фон Неймана, практически исчерпаны.

Востребованными оказываются подходы, альтернативные традиционному экстенсивному наращиванию производительности за счет увеличения объема оперативной памяти, размера кэш-памяти, скорости обмена, частоты работы процессора, числа процессоров в многопроцессорных системах. Поиск и исследование новых методов и алгоритмов обработки информации, а также новых идей в области аппаратных и программных средств приобретают все большую актуальность.

Одним из перспективных направлений в настоящее время являются ассоциативные устройства, совмещающие функции хранения и обработки данных непосредственно в логико-запоминающей среде и обеспечивающие параллельную обработку информации [1, 2]. Разработка новых ассоциативных осцилляторных сред (АОС) [1, 3, 4], успехи электронных технологий открыли принципиально новые возможности для создания разнообразных систем обработки данных. Такие системы на базе ассоциативной осцилляторной среды способны осуществлять потоковую обработку данных без изъятия их из памяти.

Имеется обширный класс задач, эффективное решение которых возможно с использованием ассоциативных устройств хранения и обработки информации. Среди них можно выделить цифровую обработку изображений как одну из важных и активно развивающихся областей. Эта область характеризуется необходимостью обрабатывать большие объемы данных. В универсальных ЭВМ время обработки этих данных растет с ростом их объема и зависит от числа обращений к памяти. Зачастую универсальные ЭВМ не способны обеспечивать обработку изображений в реальном масштабе времени.

Устройства, обладающие свойствами: ассоциативным способом доступа к данным, возможностью обработки информации без изъятия ее из памяти,

одновременным и параллельным доступом ко всем хранящимся данным, – позволяют преодолеть описанные выше трудности. Такими свойствами обладает ассоциативная осцилляторная среда.

1. Морфологические методы обработки изображений

Словом «морфология» обычно обозначают ту область, которая занимается формой и строением. Здесь это слово используется в контексте математической морфологии – инструмента для извлечения некоторых компонент изображения, полезных для его представления и описания, например контуров, остовов, выпуклых оболочек. Математическую морфологию начали разрабатывать Дж. Матерон и Дж. Сера в 1970-е гг. [5]. Интерес также представляют морфологические методы, применяемые на этапах предварительной и заключительной обработки, например морфологическая фильтрация, утончение (утолщение).

В математической морфологии используется язык теории множеств. Множествами в математической морфологии представляются объекты на изображении. Например, множество всех черных пикселей бинарного (двоичного, двухградационного, т.е. содержащего только элементы со значениями 0 и 1) изображения является одним из вариантов его полного морфологического описания. В двоичных изображениях обсуждаемые множества являются подмножествами двумерного целочисленного пространства Z^2 с элементами в виде пар чисел, т.е. двумерных векторов (x, y) , координаты которых указывают на черный (или белый, в зависимости от соглашения) пиксель изображения. Полутоновые цифровые изображения могут быть описаны множествами, состоящими из элементов пространства Z^3 . В этом случае две координаты элемента множества указывают координаты пикселя, а третья соответствует дискретному значению яркости.

Морфологические операции выполняются над двумя изображениями: обрабатываемым и специальным, зависящим от вида операции и решаемой задачи. Такое специальное изображение в математической морфологии называется структурным элементом или примитивом. Размер структурного элемента, как правило, равен 3×3 , 4×4 , 5×5 пикселей, т.к. много меньше обрабатываемого изображения. Это обусловлено самой идеей морфологической обработки, в процессе которой отыскиваются характерные детали изображения. Искомая деталь описывается примитивом и в результате морфологической обработки можно подчеркнуть или удалить такие детали на всем обрабатываемом изображении.

В математической морфологии используются теоретико-множественные операции объединения, пересечения, дополнения, разности, центрального отражения множеств, а также понятие параллельного переноса или сдвига множеств.

Основные морфологические операции:

1. *Дилатация*. Пусть A и B – множества из пространства Z^2 . Дилатация множества A по множеству B обозначается $A \oplus B$ и определяется как

$$A \oplus B = \left\{ z \mid \hat{(B)}_z \cap A \neq \emptyset \right\}. \quad (1)$$

В основе этого соотношения лежит получение центрального отражения множества B относительно его центра и затем сдвиг полученного множества в точку z из пространства изображения A . При этом дилатация множества A по B – это множество всех таких смещений z , при которых множества A и B совпадают по меньшей мере в одном элементе.

2. *Эрозия*. Для множеств A и B из пространства Z^2 эрозия A по B , обозначаемая $A \ominus B$, определяется как

$$A \ominus B = \{z | (B)_z \subseteq A\}. \quad (2)$$

Иначе говоря, эрозия множества A по примитиву B – это множество всех таких точек z , при сдвиге которых множество B целиком содержится в A .

3. *Размыкание*. Размыкание множества A по примитиву B обозначается $A \circ B$ и определяется равенством

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B.$$

Таким образом, размыкание множества A по примитиву B строится как эрозия A по B , результат которой затем подвергается дилатации по тому же примитиву B . В общем случае размыкание сглаживает контуры объекта, обрывает узкие перешейки и ликвидирует выступы небольшой ширины.

4. *Замыкание*. Замыкание множества A по примитиву B обозначается $A \bullet B$ и определяется как

$$A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B,$$

т.е. как дилатация множества A по B , за которой следует эрозия по тому же примитиву B . Замыкание также проявляет тенденцию к сглаживанию участков контуров, но, в отличие от размыкания, в общем случае заполняет узкие разрывы и длинные углубления малой ширины, а также ликвидирует небольшие отверстия и заполняет промежутки контура.

5. *Преобразование «Успех/Неудача»*. Морфологическое преобразование «Успех/Неудача» является основным инструментом для обнаружения объектов определенных размеров и формы. Искомый объект задается с помощью структурного элемента (примитива). Преобразование «Успех/Неудача» обозначается $A \otimes B$ и определяется как

$$A \otimes B = (A \ominus B_1) \cap (A^C \ominus B_2).$$

Таким образом, множество $A \otimes B$ содержит все точки (положения центра), в которых одновременно для B_1 имеется эквивалент в A , а для B_2 – эквивалент в A^C (т.е. имеет место «Успех»). Совместное использование примитива B_1 , представляющего интересующий объект, и примитива B_2 , представляющего фон, базируется на том соображении, что два или более объектов различимы только в том случае, если они образованы непересекающимися множествами. Это гарантируется, если потребовать, чтобы вокруг каждого объекта на изображении присутствовала область фона, шириной как минимум один пиксель.

2. Ассоциативная осцилляторная среда

Одной из последних разработок в области АС является ассоциативная осцилляторная среда (АОС) [1]. В основу разработки ассоциативной осцилляторной среды легла идея потоковой обработки данных. В то же время АОС наследует многие перспективные особенности ранее спроектированных ассоциативных сред: командное управление, возможность конвейеризации обработки; в продолжение клеточной логики применяется принцип неоднородных клеточных автоматов.

Важной особенностью ассоциативных сред хранения и обработки информации является ассоциативный способ доступа к данным. Этот способ основан на установлении некоторого соответствия, ассоциации между хранимой в запоминающем устройстве информацией и поисковыми аргументами. Ассоциативный способ доступа к информации обеспечивает:

- практически одновременный доступ ко всей хранящейся в памяти информации;

- относительную независимость времени поиска информации от емкости памяти;

- внесение элементов обработки информации непосредственно в процесс самого доступа;

- обработку информации непосредственно в среде ее хранения.

Эти, а также ряд других отличительных особенностей ассоциативного способа доступа к информации делают его чрезвычайно перспективным в системах обработки данных [2].

В основе ассоциативной осцилляторной среды лежит принцип неоднородных клеточных автоматов – динамических систем с дискретным временем и пространством, каждый клеточный ансамбль которого может иметь свой закон функционирования.

Ассоциативная осцилляторная среда составляется из клеточных ансамблей – функциональных групп клеток, связанных между собой и совместно реализующих определенный алгоритм обработки спайков. Спайк – информационное воздействие, передающееся между соседними клетками по связям.

Базовые клеточные ансамбли АОС «Проводник», «Узел», «Инвертор», «Блок», «Сумматор», «Умножитель», «Дифференциальный блок» подробно описаны в работе [4].

3. Ассоциативная осцилляторная среда для морфологической обработки изображений

В основе методов математической морфологии лежит сравнение элементов изображения с элементами примитива. Участок обрабатываемого цифрового изображения может вызвать ассоциации с примитивом: похожи (частичное совпадение), совпадают. В случае, если участок изображения ассоциируется с примитивом, его центральный пиксель включается в результат морфологической операции.

Таким образом, в реализации методов математической морфологии в ассоциативной осцилляторной среде будет задействован механизм ассоциативного сравнения. В АОС осуществляется одновременное параллельное по-

компонентное сравнение элементов примитива с пикселями изображения с последующим отбором и обработкой результатов. В контексте математической морфологии требуется сопоставить множество-примитив B с подмножествами обрабатываемого изображения A . При этом в множество B включены те пиксели, значения которых отличны от фона. Пиксели примитива B , окрашенные в цвет фона, как бы «маскируют» сравнение.

На рисунке 1 представлена функциональная схема универсального элемента (УЭ) – участка среды, обрабатывающего один пиксель изображения. Термин «универсальный» используется здесь в том смысле, что этот участок среды может выполнять любые морфологические и элементарные теоретико-множественные операции.

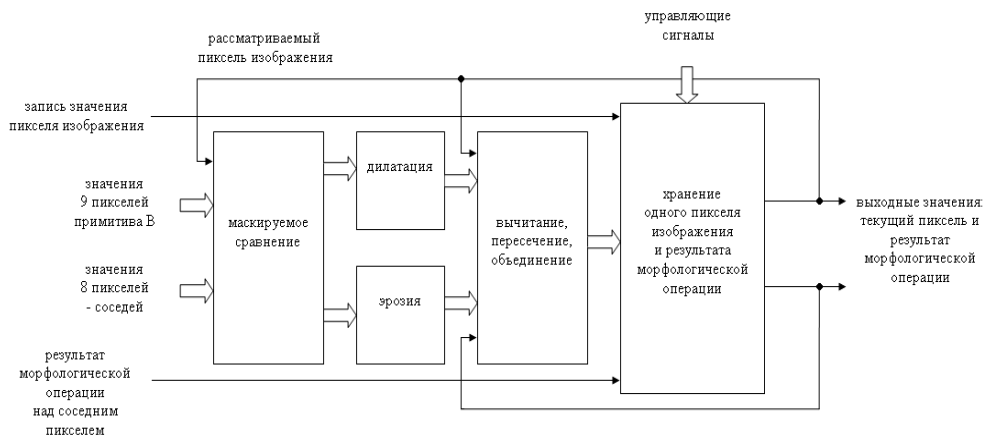


Рис. 1 Функциональная схема универсального элемента для обработки одного пикселя изображения

Такой универсальный элемент может работать в следующих режимах: запись значений пикселей изображения; обработка (объединение, пересечение, вычитание, дилатация, эрозия, пересечение с дилатацией, вычитание дилатации, оконтуривание); вывод результатов обработки. Более сложные морфологические операции (замыкание, размыкание, преобразование «успех/неудача») и алгоритмы (заполнение областей, выделение связных компонент, утончение, утолщение и др.) выполняются с помощью комбинации следующих друг за другом операций обработки, перечисленных выше.

На рисунках 2, 3 представлена схема универсального элемента ассоциативной осцилляторной среды, состоящая из клеточных ансамблей.

В качестве входных данных при морфологической обработке одного пикселя используются: значения 9 пикселей примитива (обозначены $B(1)...B(9)$), значения 8 соседей данного пикселя (обозначены $A(1)...A(8)$), значение обрабатываемого пикселя (обозначено $A(9)$), записывается через вход D). Значение обрабатываемого пикселя ($A(9)$) хранится в замкнутом накапливающем осцилляторе.

Таким образом, в АОС осуществляется одновременное параллельное покомпонентное сравнение элементов примитива с пикселями изображения, с последующим отбором и обработкой результатов. Блоки

«Дилатация» и «Эрозия» (рис. 1–3) выполняют операции, заданные выражениями (1) и (2), с помощью клеточных ансамблей АОС типа «Сумматор» и «Умножитель».

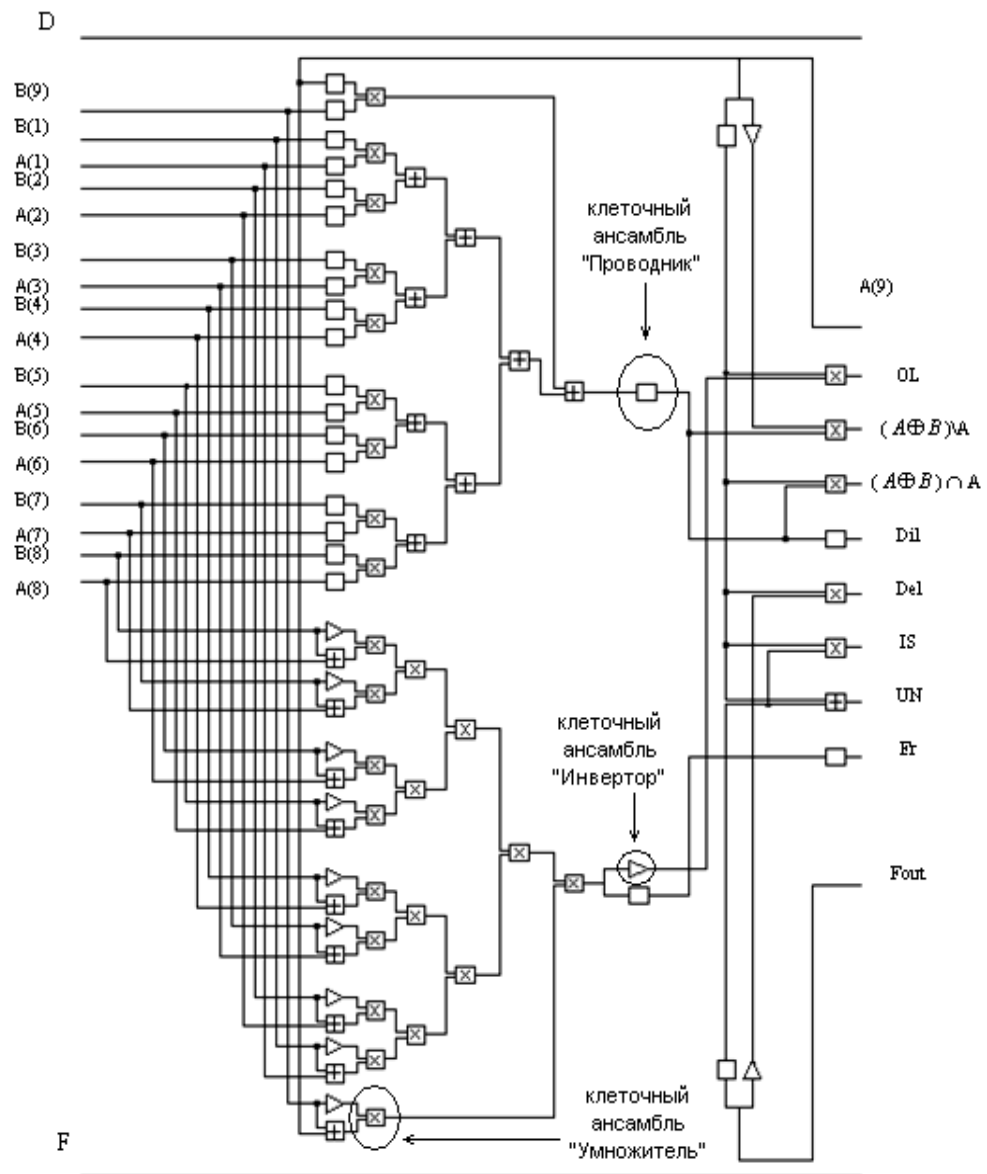


Рис. 2 Схема реализации универсального элемента в АОС

Операции записи изображения и чтения результата обработки выполняются одновременно, независимо друг от друга. Это дает очевидные преимущества при конвейерной обработке поступающих друг за другом изображений (кадров). Для обработки изображения размерностью $N \times M$ пикселей, необходимо $N \times M$ универсальных элементов.

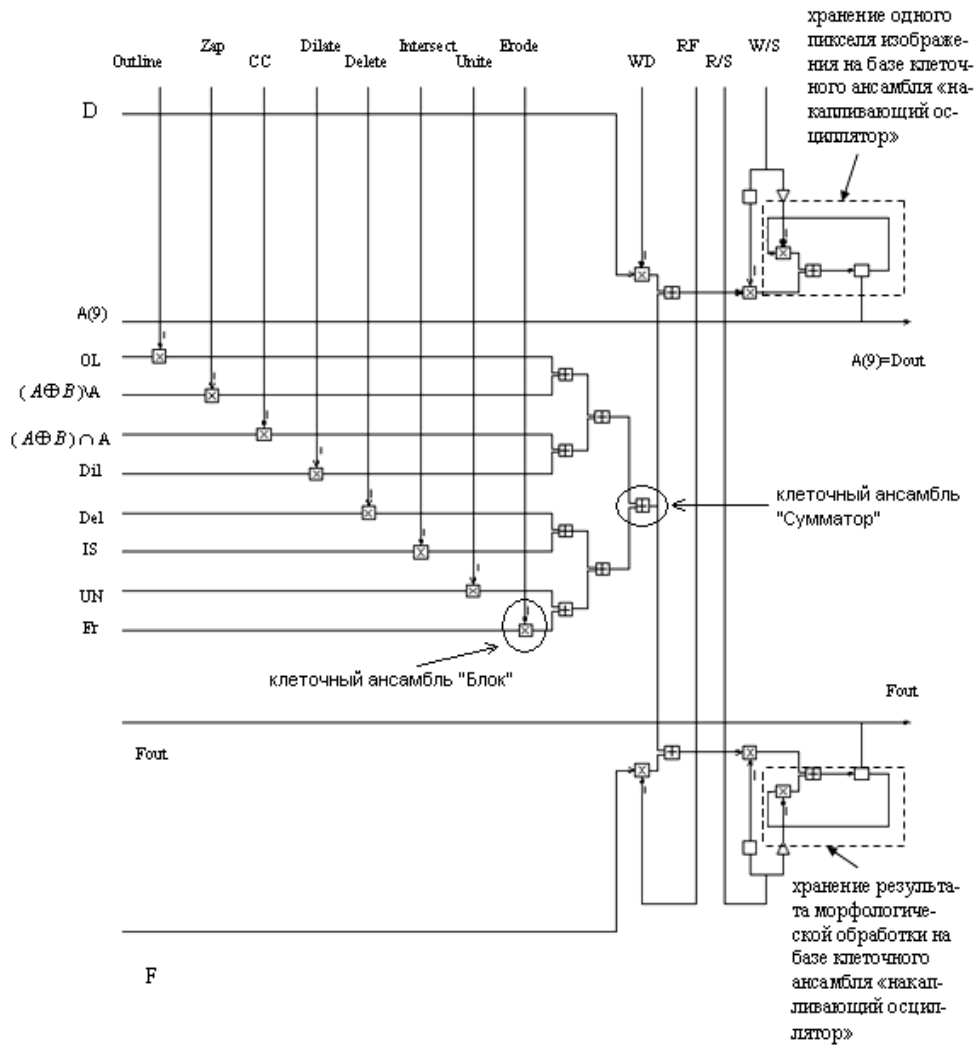


Рис. 3 Схема реализации универсального элемента в АОС (продолжение)

4. Результаты моделирования

В данной работе поставлена задача исследования возможностей использования ассоциативной осцилляторной среды на примере задач обработки цифровых изображений методами математической морфологии. Для решения этой задачи на базе АОС разработан универсальный элемент, выполняющий морфологические операции над одним пикселем изображения. Моделирование универсального элемента осуществлялось с помощью САПР Quartus II 6.0 Web Edition фирмы ALTERA. Для каждого клеточного ансамбля АОС, из предложенных в работе [1], составлено описание на языке VHDL. Также на языке VHDL описана конфигурация универсального элемента, состоящая из ячеек АОС. Результаты моделирования для разных типов ПЛИС фирмы ALTERA представлены в таблице 1.

По результатам моделирования наиболее эффективными по соотношению емкость/быстродействие/стоимость являются ПЛИС серий MAX II, Су-

clone, Cyclone II. Реализации универсальных элементов на ПЛИС серий Startix, Startix II имеют наилучшие результаты по быстродействию и емкости, однако их использование на порядок дороже, чем ПЛИС других серий.

Таблица 1

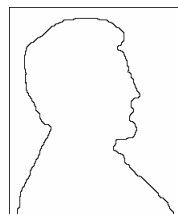
Результаты моделирования реализации морфологических методов в АОС для различных ПЛИС фирмы ALTERA

Архитектура ПЛИС	Серия	Наименование	Логическая емкость, логические элементы (LE)	Кол-во УЭ АОС	Кол-во занятых линий ввода-вывода	Время ввода-вывода изображения, нс	Время обработки изображения, нс	Частота работы, МГц	Стоимость, \$
CPLD	MAX II	EPM2210 F256C3	2210	5x5	89/204	16,5	52,8	305	71,66
FPGA	FLEX 6000	EPF6024 AFC2563	1960	5x5	89/218	47,5	152	105	52,68
FPGA	FLEX 10K	EPF10K7 0RC2404	3744	6x6	115/189	64	204,8	78	283,49
FPGA	FLEX 10KA	EPF10K1 00ARI24 03	4992	8x8	179/189	40	128	125	304,82
FPGA	FLEX 10KE	EPF10K2 00SRC24 03	9984	11x11	182/182	83	132,8	120	291,65
FPGA	ACEX 1K	EP1K100 Q12082	4992	8x8	115/147	58,8	94,08	170	70,72
FPGA	Cyclone	EP1C20F 400I7	20060	15x15	298/301	31,2	50	320	116,03
FPGA	Cyclone II	EP2C70	68416	29x29	557/622	29	46,4	340	361,27
FPGA	Startix	EP1S80	79040	32x32	1171/1203	23,8	38,1	420	4434,30
FPGA	Startix II	EP2S180	179400	47x47	1091/1173	50	32	500	5292,00

Рисунок 4 иллюстрирует морфологический метод выделения границы. Изображение (рис. 4,б) получено с помощью ассоциативной осцилляторной среды, где были выполнены команды *запись*, *контур*, *считывание*. Нахождение контура изображения размером 221×269 пикселей (рис. 4,а) осуществляется в ассоциативной осцилляторной среде за 2264 нс.



а)



б)

Рис. 4 Оконтуривание:

а – исходное изображение 221×269 пикселей; б – найденный в АОС контур

Для оконтуривания именно черно-белых изображений математическая морфология является наиболее простым и эффективным методом. Градиентные методы (Собеля, Превитта и т.п.), как правило, приводят к вынужденному переходу от черно-белого изображения к изображению в тонах серого и затем снова к черно-белому.

Рисунок 5 иллюстрирует аналогичные действия, сделанные над полутоновым изображением. Приведены также примеры результатов оконтуривания черно-белого изображения с помощью методов Собеля, Превитта, Робертса, лапласиана, пересечения по нулям, Канни. Для получения результатов оконтуривания перечисленных выше методов использовалась MATLAB 7.4.1 (R2007a), расширение Image Processing Toolbox, содержащее морфологические операции, а также функции выделения границ различными методами.

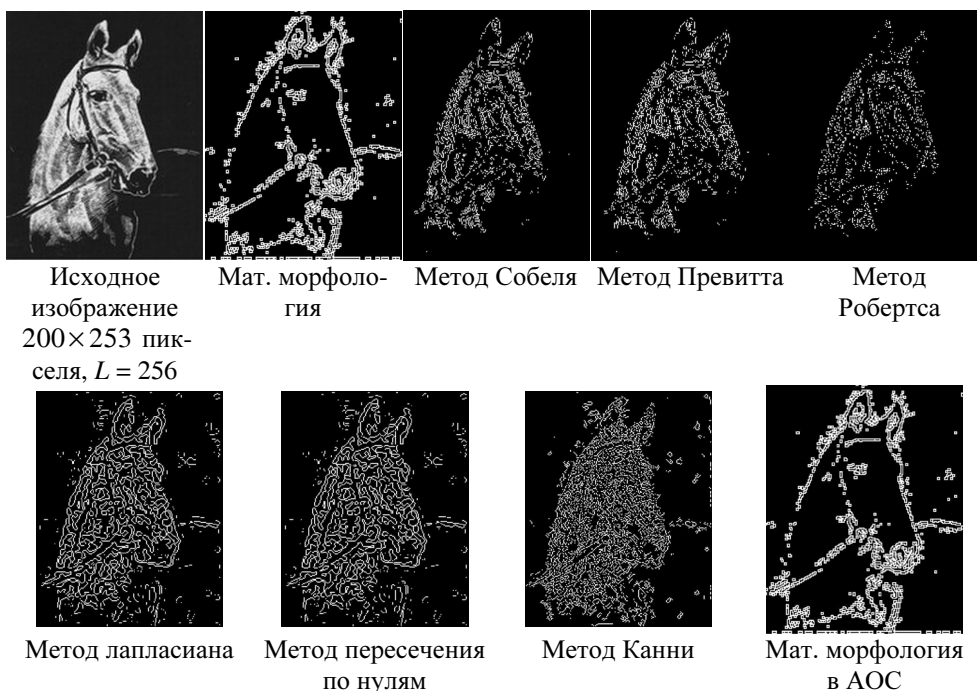


Рис. 5 Примеры оконтуривания полутоновых изображений различными методами

На основе результатов моделирования можно сделать следующий вывод: как в случае черно-белого, так и полутонового изображения морфологическая обработка в АОС проявляет себя как наиболее быстрая и точная.

Морфологические операции можно использовать для построения фильтров, похожих по своему принципу на пространственные фильтры.

На рисунке 6,а приведено двоичное изображение фрагмента отпечатка пальца, искаженное шумом, который проявляется в виде присутствующих на темном фоне светлых элементов, равно как и темных элементов на светлых полосах, составляющих отпечаток. Задача состоит в устранении шума при минимальном искажении формы отпечатка. Для решения этой задачи можно применить морфологический фильтр, выполняющий вначале операцию замыкания, а затем замыкания.

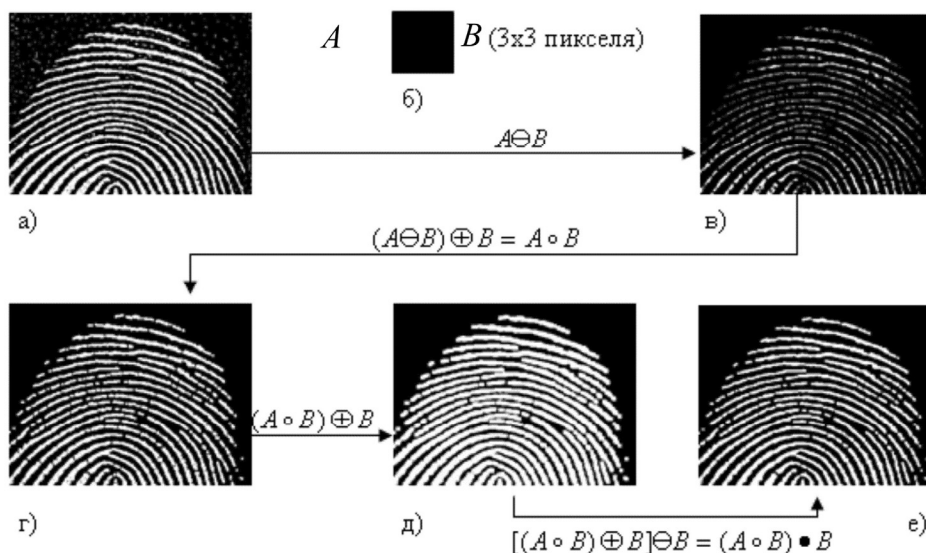


Рис. 6 Морфологическая фильтрация: а – зашумленное изображение 315×238 пикселей; б – примитив B ; в – эрозия A по B ; г – размыкание исходного изображения; д – дилатация размыкания; е – замыкания размыкания

Выполнение примера (рис. 6) в ассоциативной осцилляторной среде в зависимости от количества задействованных ПЛИС может занимать от 228 нс (34 ПЛИС фирмы ALTERA серии Startix II) до 6102 нс (1 ПЛИС фирмы ALTERA серии Startix II).

Заключение

Данная статья посвящена исследованию и реализации методов предварительной обработки изображений в ассоциативной осцилляторной среде с использованием математической морфологии. Приведены конфигурации клеточных ансамблей ассоциативной осцилляторной среды, реализующие все морфологические операции. Предложен универсальный элемент – участок ассоциативной осцилляторной среды, обрабатывающий один пиксель изображения.

Предложенный авторами [1] набор базовых клеточных ансамблей ассоциативной осцилляторной среды является универсальным и позволяет синтезировать устройства для решения широкого круга задач – обработки и распознавания изображений, логического вывода, реализации генетических алгоритмов [3].

Ассоциативная осцилляторная среда обладает большим вычислительным потенциалом и достаточно простой аппаратной реализацией. Потокосцилляторный метод открыл новые возможности для обработки информации. Появились перспективы создания вычислительных систем и систем обработки данных, структура которых представляет собой гомогенный массив ячеек, содержащий как данные, так и алгоритм их обработки, совмещающий в себе функции хранения и обработки данных. Эти системы коренным образом отличаются от классических, построенных на основе архитектуры Фон Неймана.

Эффективная реализация таких систем обработки данных требует дальнейших исследований их возможностей для решения различных классов задач.

Список литературы

1. **Комаров, А. Н.** Исследование и разработка ассоциативных сред и методов обработки информации : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.05 / Комаров А. Н. – М. : МЭИ(ТУ), 2002. – 194 с.
2. **Огнев, И. В.** Ассоциативные среды / И. В. Огнев, В. В. Борисов. – М. : Радио и связь, 2000. – 312 с.
3. **Огнев, И. В.** Реализация генетического алгоритма формирования нечетких логических правил в ассоциативной осцилляторной среде / И. В. Огнев, Н. А. Сидорова // Информационные средства и технологии : труды Международной научно-технической конференции (18–20 октября 2005 г.) : в 3 т. – М. : Янус-К, 2005. – 1 т. – С. 55–58.
4. **Огнев, И. В.** Распознавание символов в ассоциативной осцилляторной среде / И. В. Огнев, П. Б. Подолин // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. – 2006. – № 6. – С. 55–66. – (Технические науки).
5. **Гонсалес, Р.** Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс ; пер. с англ. – М. : Техносфера, 2005. – 1072 с.