

Учреждение образования

**“БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ”**

УДК 681.327.12.001.362

ПРЫТКОВ
Валерий Александрович

**АЛГОРИТМЫ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СТРУКТУРЫ
ДЛЯ ОБРАБОТКИ И ДЕШИФРИРОВАНИЯ
СНИМКОВ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

Специальность 05.13.15 – “Вычислительные машины и системы”

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Минск 2003

Работа выполнена в Учреждении образования “Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники”

Научный руководитель
доктор технических наук, профессор Садыхов Р.Х. (БГУИР, кафедра ЭВМ)

Официальные оппоненты
доктор технических наук Старовойтов В.В. (ОИПИ НАНБ, лаборатория обработки и распознавания изображений)
кандидат технических наук Золотой С.А. (НИРУП “Геоинформационные системы”, лаборатория геоинформационных систем)

Оппонирующая организация –
Научно-исследовательское учреждение “Институт прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко” Белгосуниверситета

Защита состоится 15 мая 2003 года в 14 часов на заседании совета по защите диссертаций Д02.15.04 при Учреждении образования “Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники” по адресу: 220013, г. Минск, ул. П.Бровки, 6, ауд. 232 – корпус 1, тел. 239-89-89

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Развитие цифровых технологий в последнее десятилетие привело к тому, что во многих прикладных областях документы, традиционно хранимые на бумажных носителях, стало намного удобнее хранить и использовать в цифровой форме. Одной из подобных областей явилась картография.

В картографии возникла потребность в переводе в цифровую форму архивов двух разных видов документов: собственно карт на бумажном носителе и снимков земной поверхности (СЗП), которые широко используются при мониторинге окружающей среды и при обновлении картографического материала. Наличие цифровых карт местности (ЦКМ) и СЗП в цифровой форме выдвинуло задачу автоматизации процесса создания (обновления) ЦКМ по СЗП.

В общем виде процесс обновления ЦКМ выполняется следующим образом: 1) на СЗП выделяются объекты, проводится их дешифрирование (определение класса, к которому объект принадлежит, а также некоторых его характеристик), 2) выполняется отождествление объектов на СЗП с объектами ЦКМ, сравнение их существенных признаков, 3) ЦКМ корректируется в соответствии с обнаруженными различиями.

В настоящее время в большинстве случаев все этапы этого процесса выполняются экспертом в специализированных программных пакетах обработки ЦКМ (либо пакетах общего назначения по работе с графикой). На этапе дешифрирования эксперт-оператор для каждого из объектов вручную выделяет контур, либо центральную линию, определяет класс и характеристики объекта. Полученный таким образом фотоплан поступает на дальнейшую обработку, причем отождествление и корректировка ЦКМ также выполняются вручную.

При этом возникают следующие проблемы: 1) неповторяемость результата при одинаковых исходных данных, поскольку даже высококвалифицированный эксперт не сможет выполнить одинаково выделение одного и того же объекта на одном и том же снимке, 2) большие временные затраты на выделение объекта и его признаков, 3) необходимость в высокой квалификации персонала. Разработка алгоритмов автоматического выделения объектов на СЗП позволит в большей или меньшей степени решить эти проблемы. Разработка специализированных вычислительных структур для данных алгоритмов позволит в еще большей степени ускорить процесс обработки, причем анализ возможностей современной аппаратной базы показывает реальность создания подобных высокоскоростных структур.

Таким образом, создание новых алгоритмов и вычислительных структур для обработки и автоматического дешифрирования СЗП является актуальной и современной прикладной научной задачей.

Связь работы с крупными научными программами, темами. Диссертационная работа выполнена на кафедре ЭВМ Учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектрони-

ки” в рамках тем: “Разработка методов и алгоритмов выделения объектов на аэрофотоснимках на основе клеточной логики и дистанционных преобразований” в соответствии с договором, выполняемым по Фонду фундаментальных исследований (№Т00М-018 от 1 апреля 2001г.), “Разработка методов предварительной обработки изображений земной поверхности на базе аппарата клеточной логики” в соответствии с договором № 00-3131В от 1 января 2000г., “Методы и модели предварительной обработки полутоновых изображений” в соответствии с договором с Министерством образования № 01-3063 от 1 января 2001г.

Цель и задачи исследования. Целью работы является разработка алгоритмов и вычислительных структур для обработки и дешифрирования полутоновых изображений на СЗП.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- выполнить анализ локальных операций с целью выявления общих параметров;
- разработать алгоритмы выделения площадных объектов на СЗП в рамках текстурного анализа;
- разработать алгоритмы пред- и постобработки СЗП с использованием локальных операций для повышения достоверности результата;
- разработать вычислительные структуры для выполнения локальных операций;
- спроектировать систему предварительной обработки изображений на основе типовых операций;
- спроектировать систему выделения объектов на СЗП.

Объект и предмет исследования. Объектом исследований являются аэрофотоснимки земной поверхности. Предметом исследования являются площадные объекты на полутоновых аэрофотоснимках земной поверхности.

Методология и методы проведенного исследования. В исследовании использовались следующие подходы:

- аппарат клеточной логики;
- методы дистанционных преобразований;
- статистический текстурный анализ.

Научная новизна и значимость полученных результатов. Выполнен анализ локальных операций, выделены и систематизированы их общие характеристики. На основе систематизации спроектирована система обработки полутоновых изображений, оптимизированная с целью использования клеточной логики. Такой подход позволяет без дополнительных затрат формализовать разработанные алгоритмы на структурах клеточных автоматов (КА).

Разработан полуавтоматический алгоритм выделения площадных объектов на полутоновых СЗП. Для решения поставленной задачи алгоритм исполь-

зует анализ гистограмм. Отличительной чертой алгоритма является ограничение диапазона яркости пикселей фона и перевода задачи распознавания с одним классом к задаче с двумя классами. Сочетание этих особенностей позволяет значительно увеличить скорость выделения площадных объектов.

Разработан алгоритм постобработки выделенных объектов на основе дистанционных преобразований, отфильтровывающий ложный фон и ложные объекты. Отличительной особенностью алгоритма является корректная обработка вложенных областей и частичное вычисление карты расстояний. Данный алгоритм по скорости выполнения сопоставим с алгоритмами на основе математической морфологии, однако позволяет сохранить контур объекта в неизменном виде.

Разработана структура КА с построением локальной памяти в виде сдвигового регистра. Структура позволяет ускорить выполнение операций по сглаживанию контура площадных объектов и снижает аппаратные затраты по сравнению с типовыми структурами КА.

Разработана структура КА с эмуляцией глобальных связей, что позволяет имитировать пирамидальную структуру КА и использовать соответствующие решения по аппроксимации и масштабированию изображения на КА традиционной структуры.

Установлено соотношение для расчета оптимальной глубины перекрытия фрагментов изображения при обработке изображений большого размера на КА, что сокращает временные затраты при обработке.

Практическая значимость полученных результатов. Использование алгоритмов выделения площадных объектов способствует повышению эффективности работы оператора за счет замены ручного труда машинным и получению качественных и повторяемых результатов обработки.

Разработанные алгоритмы и системы на их основе являются экономически эффективными за счет снижения затрат ручного труда при обновлении и создании ЦКМ по СЗП.

Алгоритмы и система выделения площадных объектов внедрены и используются в учебном процессе в БГУИР и в в/ч №44256 в технологическом процессе создания ЦКМ по СЗП.

Разработанные подходы и алгоритмы могут включаться и в другие существующие и разрабатываемые системы создания и обновления ЦКМ и мониторинга окружающей среды; а также в системы обучения персонала.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту. На защиту выносятся:

- способ выделения объектов с использованием ограничения диапазона значений гистограммы фона;
- алгоритм выделения объектов на основе отношения уровней гистограмм с автоматическим выбором порога, минимизирующий суммарную ошибку распознавания;

- алгоритм фильтрации объектов по их метрическим признакам на основе дистанционных преобразований, сохраняющий контуры объектов и связность;
- структура локальной памяти КА в виде сдвигового регистра;
- структура КА с эмуляцией глобальных связей;
- система проектирования алгоритмов предварительной обработки на основе КА.

Личный вклад соискателя. Все предлагаемые алгоритмы и структуры были разработаны и программно реализованы лично автором. Научный руководитель принимал участие в постановке задач, определении возможных путей решения и их предварительном анализе.

Апробация результатов диссертации. Результаты исследований докладывались на следующих международных конференциях:

- Pattern Recognition and Information Processing, PRIP'99, Minsk, 1999.
- International Conference of Neural Networks and Artificial Intelligence, ICNNAI'99, Brest, 1999.
- Computer-Aided Design of Discrete Devices, CAD DD'99, Minsk, 1999.
- Pattern Recognition and Information Processing, PRIP'2001, Minsk, 2001.
- Discrete-Event System Design, DESDes'01, Zielona Gora, Poland, 2001.
- Цифровая обработка изображений и управление в чрезвычайных ситуациях, ЦОИУЧС'02, Минск, 2002.

Опубликованность результатов. По результатам исследований имеется 8 публикаций, из них 6 докладов на международных конференциях, 1 статья в журнале РБ, 1 статья в сборнике ИТК. Общее количество страниц опубликованных материалов – 42.

Структура и объем диссертации. Диссертация включает в себя введение, общую характеристику работы, 4 главы, заключение и приложения. Полный объем диссертации – 200 страниц, в том числе 52 иллюстрации объемом 17 страниц, 7 таблиц объемом 5 страниц и 3 приложения объемом 83 страницы. Количество используемых источников – 113.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** показана актуальность темы диссертационной работы, формулируются цель и задачи исследования.

В **первой** главе подробно рассмотрен предмет исследований – аэрофотоснимки земной поверхности, а именно основные их типы, типовые помехи и искажения, возникающие на таких снимках. Проанализированы основные этапы процесса создания и обновления ЦКМ по аэрофотоснимкам земной поверхности: поиск опорных точек, коррекция геометрических искажений, сшивка

листов карты, выделение объектов и их признаков, распознавание и идентификация объектов, составление описания объектов в форматах ЦКМ. Выполнен анализ типовых операций предварительной обработки изображений, а также исследована возможность применения аппарата дистанционных преобразований для предварительной обработки СЗП. Подробно рассмотрен текстурный анализ, как перспективное научное направление, предоставляющее широкие возможности по выделению площадных объектов на СЗП. Рассмотрены типовые структуры однородных клеточных автоматов, позволяющие значительно ускорить процесс предварительной обработки, а также возможность их аппаратной реализации на ПЛИС.

Наиболее распространенными СЗП на сегодняшний день являются монохромные и спектрозональные СЗП. За прошедшие десятилетия накоплена огромная база таких снимков, в силу чего имеется необходимость перевода этой базы в формат ЦКМ.

Технологии создания и обновления ЦКМ по СЗП ориентированы, в основном, на ручную обработку информации с использованием средств вычислительной техники. Наибольшего развития достигли алгоритмы поиска опорных точек, сшивки листов карты, коррекции геометрических искажений, и в то же время недостаточно проработаны методы и алгоритмы последующих этапов технологии обновления ЦКМ. Показана необходимость в создании полуавтоматических и автоматических методов и алгоритмов выделения и дешифрирования объектов, их распознавания и идентификации, составления описания объектов в форматах ЦКМ.

Анализ алгоритмов предварительной обработки показывает, что значительная их часть может быть реализована на базе локальных операций, в частности, клеточной логики. Анализ дистанционных преобразований позволяет сделать вывод, что ряд дистанционных алгоритмов также может быть реализован на клеточной логике, что позволяет использовать единый математический аппарат для их описания.

Операции предварительной обработки на растровом изображении требуют значительных временных затрат. Показано, что их можно в значительной степени снизить при использовании специализированных вычислительных структур, в частности, однородных клеточных автоматов. Возможности современной аппаратной базы, в частности, ПЛИС, позволяют реализовать на практике достаточно сложные структурные модели, в том числе и КА.

Объекты на СЗП имеют ярко выраженную текстуру, в силу чего рассмотрено направление текстурного анализа. Несмотря на то, что текстурный анализ является сравнительно молодым и активно развивающимся научным направлением, в котором еще нет устоявшейся терминологии, отсутствует четкая формализация и теоретические проработки, проведенный анализ показывает, что данный подход является весьма перспективным при решении задачи выделения объектов на СЗП.

Таким образом, имеет место необходимость в разработке алгоритмов и

вычислительных структур для обработки и дешифрирования СЗП, при этом следует опираться на локальные операции при предварительной обработке и текстурный анализ при дешифрировании.

Во второй главе предложен новый подход для полуавтоматического выделения площадных объектов. Отличительной чертой подхода является использование принципа ограничения диапазона значений гистограммы фона, что переводит задачу распознавания с одним базовым классом в задачу распознавания с двумя базовыми классами (рис. 1).

Гистограмма яркости объекта имеет определенный диапазон значений. Однако пиксели фона могут быть распределены по всему диапазону возможных значений, в том числе могут и перекрывать диапазон значений объекта. Предлагаемый подход устраняет такую неопределенность и локализует диапазон значений гистограммы фона в конкретных пределах (рис. 1, б). Обработка производится в полуавтоматическом режиме, и оператор вначале выделяет прямоугольную область, принадлежащую объекту, а затем – область, принадлежащую фону. На основе этих областей строятся гистограммы яркости, причем задача распознавания при этом переводится в задачу с двумя классами. При выделении объектов сложность представляет вопрос принятия решения о принадлежности пикселей, яркость которых лежит в диапазоне перекрытия.

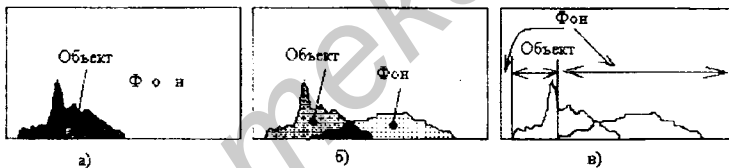


Рис. 1. Ограничение диапазона значений гистограммы фона: а) один класс, б) два класса, в) отсеечение области перекрытия

Предложены способы повышения качества выделения объектов, а именно: разнесение гистограмм, использование отношения значений гистограмм, анализ окрестностей, использование многомерных гистограмм. Однако разнесение гистограмм и анализ окрестностей не обладают универсальностью, требуют подбора масок и конфигурации окрестности для каждого конкретного случая отдельно. Использование многомерных гистограмм значительно замедляет скорость выделения, и также требует подбора окрестности. Предложенный подход на основе использования значений уровней гистограмм лишен подобных недостатков.

Пусть I – множество пикселей исходного изображения, $B \subseteq I$ – множество пикселей объекта, $G \subseteq I$ – множество пикселей фона, и b_k – относительное содержание пикселей объекта яркости k в его гистограмме, а g_k – относительное содержание пикселей фона яркости k в его гистограмме. Пиксель с яркостью q (i_{xy}) будет принадлежать объекту, если $b_{q(i)} / g_{q(i)} > s$, где s – заданный порог.

Отметим, что такой подход обобщает случаи с полным исключением фо-

на и без исключения вообще. Так, при $s=0$, будут выделяться все пиксели объекта без отсеечения фона. Действительно, $b_{\varphi(i)} / g_{\varphi(i)} > 0 \Leftrightarrow b_{\varphi(i)} > 0$, или, что то же самое, $i_{xy} \in V$. При $s \rightarrow \infty$ будет происходить отсеечение фона, поскольку $b_{\varphi(i)} / g_{\varphi(i)} \rightarrow \infty \Leftrightarrow g_{\varphi(i)} = 0, b_{\varphi(i)} > 0$, или, что то же самое, $i_{xy} \in V, i_{xy} \notin G$. $S=1$ соответствует случаю, когда количество пикселей объекта данной яркости превышает количество пикселей фона данной яркости, поскольку $b_{\varphi(i)} / g_{\varphi(i)} > 1 \Leftrightarrow b_{\varphi(i)} > g_{\varphi(i)}$.

Для данного подхода разработан алгоритм автоматического определения порога, минимизирующий суммарную ошибку распознавания. В общем случае, суммарная ошибка распознавания лежит в пределах 5-7% по сравнению с эталонным выделением объекта экспертом. Для изображений, у которых гистограммы объекта и фона пересекаются слабо, она снижается до 2-3%.

Для порога s , величина ξ ошибочно распознанных пикселей составит

$$\xi = \sum_{k, b_k / g_k > s} g_k + \sum_{k, b_k / g_k \leq s} b_k \quad (1)$$

С учетом того, что хотя s может принимать любое значение, но реально ξ будет иметь дискретный ряд значений, определяемый при $s=0, b_1/g_1, b_2/g_2, \dots, b_N/g_N$, где N - максимально допустимое значение, ограниченное глубиной цвета, то порог s_{opt} будет выбран по следующему критерию:

$$s_{opt} = \min \left(\sum_{k, b_k / g_k > s} g_k + \sum_{k, b_k / g_k \leq s} b_k \right), s = 0, b_1 / g_1, b_2 / g_2, \dots, b_N / g_N \quad (2)$$

Это соотношение будет справедливо, если ошибка 1 рода (пиксель, реально принадлежащий объекту, распознается как принадлежащий фону) равноценна ошибке 2 рода (пиксель, реально не принадлежащий объекту, распознается как ему принадлежащий). Предлагается использовать более точное соотношение, учитывающее распределение объекта по снимку. Пусть α - отношение объект/фон, тогда:

$$s_{opt} = \min \left(\frac{1}{\alpha + 1} \sum_{k, b_k / g_k > s} g_k + \frac{\alpha}{\alpha + 1} \sum_{k, b_k / g_k \leq s} b_k \right), s = 0, b_1 / g_1, b_2 / g_2, \dots, b_N / g_N \quad (3)$$

Учитывая, что размеры изображения значительно больше размеров эталонных фрагментов, а число градаций яркости при построении гистограмм за исключением случая многомерных гистограмм равно 256, сложность любого из рассмотренных алгоритмов определяется как $\approx XM^2$, где M - ширина изображения, а X - некоторый коэффициент.

Разработаны алгоритмы определения линейных параметров объектов на базе дистанционных преобразований, на основе которых предложен двухпроходный алгоритм устранения ложных объектов, отличительными чертами которого является сохранение контуров объектов и связности, а также корректная обработка вложенных областей.

Пусть I - множество пикселей исходного изображения, I_k - множество пикселей с яркостью k , $I_k \subseteq I$, тогда для исходного бинарного изображения $I = I_0 \cup I_N$, где N - максимально допустимая яркость, ограниченная глубиной цве-

та. Без потери общности можно принять $N=255$, что соответствует глубине цвета в 8 бит, используемой для представления полутонового изображения в большинстве графических форматов. Пусть $p_{ij} \in I$ и $q_{st} \in I$ – некоторые пиксели изображения, тогда алгоритм фильтрации имеет вид:

1) выделяется контур объекта:

$$\forall p_{ij} = 0 : p_{ij} = 1, \text{ если } \exists q_{i+k, j+m} = N, k = -1 \dots 1, m = -1 \dots 1$$

$$\forall p_{ij} = N : p_{ij} = 0$$

2) вычисляется карта расстояний:

пока $\exists p_{ij} = 0$ *повторяется операция*

$$\forall p_{ij} = 0 : p_{ij} = q_{i+k, j+m} + 2, \text{ если } \exists q_{i+k, j+m} > 0, k = -1 \dots 1, m = -1 \dots 1$$

3) выполняется заливка объекта цветом, равным его ширине:

пока не устанавливается статическое состояние,

повторяется операция

$$\forall p_{ij} \neq 1 : p_{ij} = q_{i+k, j+m}, \text{ если } \exists q_{i+k, j+m} > p_{ij}, k = -1 \dots 1, m = -1 \dots 1$$

4) производится бинаризация по выбранному порогу ширины w , результат является маской для дальнейшей обработки:

$$\forall p_{ij} : p_{ij} = \begin{cases} 1, & p_{ij} < w \\ 0, & p_{ij} \geq w \end{cases}$$

5) пиксели исходного изображения инвертируются согласно маске:

$$\forall p_{ij}, b_{ij} = 1 : p_{ij} = \bar{p}_{ij}$$

Использование данного алгоритма фильтрации после выделения объектов алгоритмом на основе отношения уровней гистограмм позволяет дополнительно снизить суммарную ошибку распознавания еще на 2-5%. Сложность алгоритма определяется величиной $(22+16L)M^2$, где L – длина объекта.

Результаты выполнения алгоритмов представлены на рис 2.

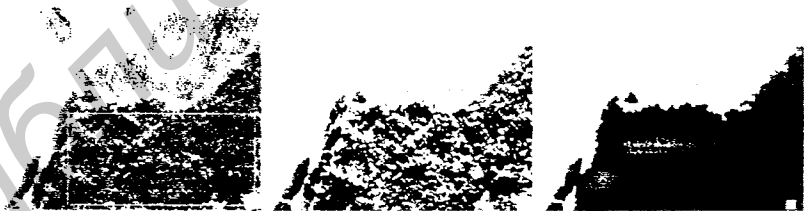


Рис. 2. Результат обработки: а) исходное изображение, б) выделение объекта, в) фильтрация

Таким образом, предложенные алгоритмы позволяют с высокой степенью точности (93-98%) производить выделение площадных объектов на полутоновых СЗП на основе анализа гистограмм и последующей фильтрации на базе дистанционных преобразований.

В третьей главе предлагаются структурные решения для выполнения

операций предварительной обработки, позволяющие существенно ускорить указанный процесс.

Предложена эффективная структура локальной памяти КА (рис. 3), отличающаяся от типовой структуры организацией локальной памяти в виде сдвигового регистра. Структура предназначена для эффективного выполнения операции подсчета числа соседей с определенным состоянием, которые используются, в частности, в операциях сглаживания контуров. В типовой структуре для этого вводится либо полусумматор (с программной реализацией накопления суммы), либо счетчик и компаратор, что значительно усложняет структуру. Предлагаемая структура не требует подобных узлов. Вместо этого локальная память организуется в виде сдвигового регистра, а подсчет ведется в унарном коде.

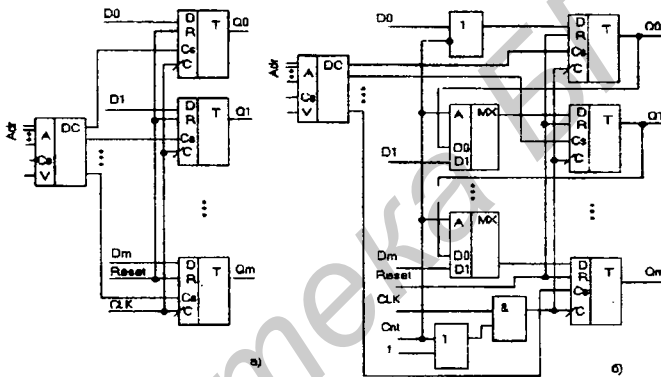


Рис.3. Организация локальной памяти: а) типовая, б) сдвиговый регистр

На входе каждого триггера локальной памяти дополнительно включен мультиплексор. В обычном режиме он пропускает на вход триггера сигнал с линии данных D_i , а в режиме сдвигового регистра - значение предыдущего разряда. Мультиплексор младшего разряда вырождается в элемент 2ИЛИ с одним инверсным входом, и в режиме сдвигового регистра на вход младшего разряда поступает уровень логической '1'. Режим работы задается с помощью сигнала Cnt . Сдвиговый регистр образуется при Cnt , равном логическому '0'. Синхросигнал формируется с помощью элементов 2И и 2ИЛИ.

В обычном режиме функционирования $Cnt=1$, и на входы триггеров поступают значения с линий данных D_0-D_m , где m - число триггеров. Значение $Cnt=1$ формирует на выходе элемента 2ИЛИ значение логической '1', и на выход элемента 2И пропускается сигнал CLK .

В режиме сдвигового регистра $Cnt=0$, и по входу V дешифратора разрешается параллельная работа регистров. Перед выполнением операции подсчета числа соседей все триггеры сбрасываются в 0 с помощью сигнала $Reset$. На входы данных триггеров пропускаются значения предыдущего разряда, а на вход данных младшего разряда - логическая '1'. Подсчет числа соседей произ-

водится за N тактов, где N - число соседей. В каждый такт на выход f поступает значение одного из соседей процессорного элемента (ПЭ). Поскольку $C_{in} = 0$, то синхросигнал пропускается на входы триггеров лишь тогда, когда $f = 1$. В итоге в регистре формируется код, в младших разрядах которого содержится столько 1, сколько соседей имеют значение логической '1'.

Диаграммы требуемого количества разрядов для хранения результата, скорости выполнения операции, требуемых аппаратных затрат в зависимости от топологии соседства для предложенной структуры и типовых вариантов представлены на рис 4. Моделирование на ПЛИС показало, что при увеличении аппаратных затрат до 10% предлагаемая структура дает выигрыш в скорости порядка 50% при окрестности с малым количеством соседей (до 8 - 16).

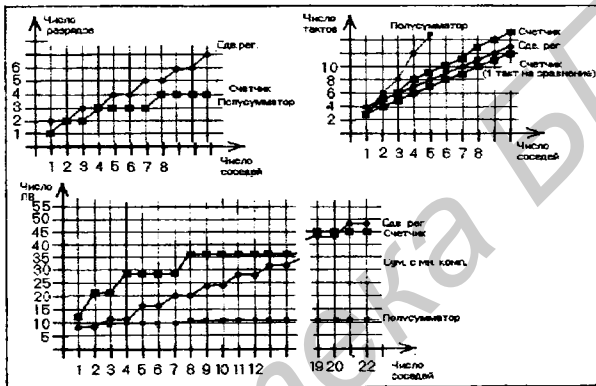


Рис. 4. Сравнение структуры с одноразрядным сумматором и локальной памятью в виде сдвигового регистра

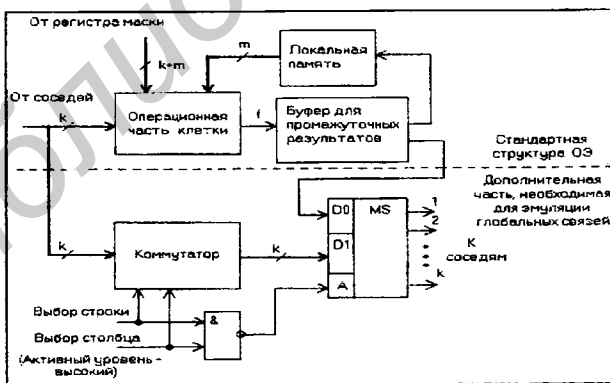


Рис.5. Структура ПЭ при эмуляции глобальных связей

Разработана структура КА, отличающаяся от типовой тем, что позволяет эмулировать глобальные связи. Кроме того, структура позволяет повысить от-

казоустойчивость системы. Результат достигается введением в ПЭ коммутатора и сигнала управления, переводящего ПЭ в “транзитный” режим (рис. 5).

На рис. 6 представлены все возможные варианты “транзита” сигналов. Существует 4 области, принципиально отличающихся типами связей: А-область, в которой топология связей не изменяется, В-область, где связь происходит с соседним вертикальным рядом через несколько клеток, С-область, где связь происходит с соседним горизонтальным рядом через несколько клеток, и D-область с диагональной связью.

Группа клеток А принимает данные от всех соседей, выполняет операцию, ее результат передается всем соседним клеткам. Группа клеток В принимает сигнал от верхнего соседа и передает всем нижним соседям, принимает сигнал от нижнего соседа и передает его всем верхним соседям. Кратко это можно записать так: $H \rightarrow B$, $H \rightarrow LB$, $H \rightarrow PB$, $B \rightarrow H$, $B \rightarrow LH$, $B \rightarrow PH$. Группа клеток С выполняет передачу $L \rightarrow P$, $L \rightarrow PL$, $L \rightarrow PL$, $P \rightarrow L$, $P \rightarrow LP$, $P \rightarrow LP$. Группа клеток D передает следующим образом: $LB \rightarrow PL$, $PB \rightarrow PL$, $LH \rightarrow PL$, $PH \rightarrow LB$.

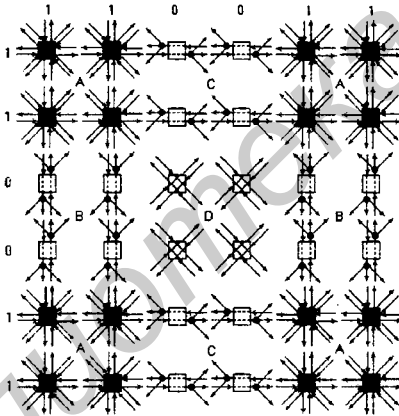


Рис. 6. Схема функционирования матрицы ПЭ с использованием “транзитного” режима

ПЭ получает два сигнала - выбор строки и выбор столбца. Если оба сигнала в активном состоянии, то выполняется заданная кодом микрокоманды операция, результат которой поступает на выход и далее ко всем соседним элементам (группа клеток А). Если хотя бы один из сигналов в неактивном состоянии, то мультиплексор пропускает на выход сигналы, формируемые на коммутаторе, задача которого - имитировать глобальные связи. При активном сигнале выбора строки организуются пересылки, характерные для группы клеток С, при активном сигнале выбора столбца - пересылки, характерные для группы клеток В. Если оба сигнала выбора в неактивном состоянии, то выполняются диагональные пересылки, характерные для группы клеток D.

Моделирование на ПЛИС показало, что аппаратные затраты возрастают

примерно на 30% без потери в скорости обработки. Структура может применяться при решении задач сжатия и масштабирования изображений, при моделировании физических процессов, для эмуляции пирамидальных структур КА.

Установлено соотношение для вычисления оптимальной глубины перекрытия при обработке изображений отдельными окнами в зависимости от размеров изображения и окна, скорости перезагрузки КА и числа выполняемых операций.

Пусть $m \times n$ - размер окна, $M \times N$ - размер изображения, p - глубина перекрытия, k - число операций, которые необходимо выполнить, $t_{оп}$ - время выполнения одной операции (предполагается, что любая операция выполняется за одинаковое количество времени), $t_{пер}$ - время, затрачиваемое на перезагрузку КА при переходе от одного окна к другому.

Если выразить параметры M, N, m, p через n , а $t_{пер}$ через $t_{оп}$, введя соответствующие коэффициенты и полагая $n \leq m$ и $t_{пер} \geq t_{оп}$, то:

$$\begin{aligned} m &= S_1 \cdot n, & S_1 &\geq 1 \\ N &= S_2 \cdot n, & S_2 &\geq 1 \\ M &= S_3 \cdot n, & S_3 &\geq 1 \\ p &= S_4 \cdot n, & 0 < S_4 < 1 \\ t_{пер} &= S_5 \cdot t_{оп}, & S_5 &\geq 1 \end{aligned} \quad (4)$$

Получим следующую оценку эффективности выбранной глубины перекрытия:

$$R = \frac{\text{int}^* \left[\frac{S_2 - S_4}{1 - S_4} \right] \cdot \text{int}^* \left[\frac{S_3 - S_4}{S_1 - S_4} \right] \cdot (k + S_5 \cdot \text{int}^* \left[\frac{k}{\text{int} \left[\frac{n \cdot S_4}{2} \right]} \right])}{\text{int}^* [S_2] \cdot \text{int}^* \left[\frac{S_3}{S_1} \right] \cdot k \cdot (1 + S_5)} \quad (5)$$

Полученная зависимость позволяет оптимизировать обработку больших изображений на КА по скорости.

В четвертой главе описаны программные системы, реализующие представленные результаты.

Разработана система для исследования алгоритмов предварительной обработки полутонных изображений на основе клеточной логики. В системе используется специальный язык описания алгоритмов, оптимизированный под ОКЛ, что позволяет без дополнительных затрат времени модифицировать существующие и разрабатывать новые алгоритмы предварительной обработки, а также выполнять их проверку на реальных изображениях. Простота пользовательского интерфейса практически не требует времени на освоение системы.

Программная модель системы эмулирует структуру КА. В обобщенном виде КА включает в себя устройство управления, матрицу ПЭ, интерфейс с внешними устройствами (рис 7,а). Соответственно разработанная программная модель состоит из модели устройства управления, модели матрицы ПЭ, модели

интерфейса. В свою очередь, модель интерфейса состоит из двух частей: транслятора команд и блока визуализации (рис 7,б). Кроме того, модель системы включает модуль программного интерфейса, определяющего порядок взаимодействия пользователя с системой.

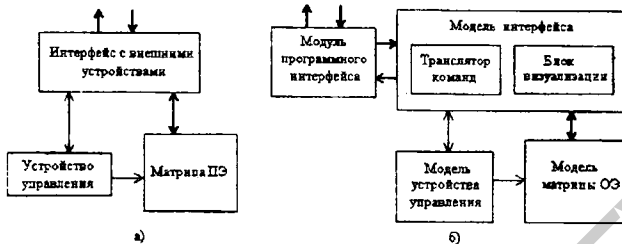


Рис. 7. Структура КА (а) и программная модель системы (б)

Блок визуализации отвечает за взаимодействие матрицы ПЭ с модулем программного интерфейса, отображает на экране исходное и обработанное изображения и их фрагменты. Операции, которые необходимо выполнить над исходным изображением, записываются в виде текста (синтаксис определен заранее). Транслятор команд следит за соблюдением синтаксиса и за перевод текста в структуру, воспринимаемую устройством управления. Модель матрицы ПЭ организована таким образом, что позволяет гибко адаптироваться к размеру обрабатываемого изображения и к количеству слоев КА, необходимых для выполнения алгоритма. На уровне устройства управления происходит синхронизация всех действий по отображению изображений, выполнению операций с матрицей ПЭ, а также выполнению управляющих конструкций алгоритма - условных и безусловных переходов, циклов и ветвлений.

При разработке программного обеспечения был использован объектно-ориентированный подход. В частности, были сформированы два класса, позволяющие работать в рамках разработанной модели. Первый - класс CellAuto - определяет основные параметры матрицы ПЭ и операции, которые могут быть с ней выполнены. В этот класс входят процедуры визуализации, отвечающие за передачу данных от объекта-изображения к объекту-матрице и наоборот. Второй - класс Compiler - определяет структуру команды для матрицы и набор операций конкретного алгоритма, выполняет трансляцию текста алгоритма в эту структуру, а также отвечает за поиск точек переходов в соответствии с управляющими конструкциями. Транслятор команд является функцией этого класса. Модель устройства управления представлена процедурой, определяющей порядок выполнения алгоритма пользователя, ввод данных в матрицу и вывод.

Анализ ОКЛ позволил разработать структуру операций и состав параметров таким образом, что практически для всех ОКЛ доступен широкий ряд функциональных возможностей. Во-первых, операции могут быть выполнены

не только для всех пикселей исходного изображения, но и для указанного диапазона значений. Яркость пикселей, не входящих в этот диапазон, либо не меняется, либо устанавливается в указанное значение, либо изменяется на указанную величину. Во-вторых, операция может выполняться параллельным или последовательным образом. Кроме того, операция может выполняться итерационно: либо указанное число раз, либо до получения статического состояния. В-третьих, возможна работа с 4- и 8-связной окрестностью как с участием центрального элемента, так и без него. Кроме того, имеется возможность задания произвольной маски участвующих в операции соседей.

Базовый набор включает следующие операции: бинаризацию; изменение значений пикселей, соседи которых отвечают заданной маске; поиск локальных экстремумов с учетом некоторого допустимого отклонения; разметку объектов; усредняющую, медианную и минимаксную фильтрации; обработку матрицей весовых коэффициентов. Дополнительно разработан ряд оригинальных операций.

Для записи алгоритмов используется специально разработанный язык описания, оптимизированный под операции КА.

Все алгоритмы фильтрации объектов и алгоритм постобработки по удалению ложного фона и ложных объектов, описанные в диссертационной работе, были разработаны с использованием данной системы.

Разработана система выделения площадных объектов на полутонových СЗП. В системе используются ранее разработанные алгоритмы выделения на основе гистограммного анализа. Высокая скорость обработки позволяет проводить выделение объектов в режиме реального времени, а возможность чтения и записи tiff и bmp и выбора формы представления результатов файлов позволяет использовать систему в качестве составной части в процессе создания и обновления ЦКМ. Простой пользовательский интерфейс позволяет быстро освоить систему.

Для реализации системы был выбран модульный принцип. Такое решение обусловлено необходимостью максимального ускорения вычислений, и относительной простотой объектной модели с линейной схемой вычислений. Система состоит из четырех модулей (рис 8): модули для работы с tiff и bmp файлами, модуль для работы с гистограммами и головной модуль. Такое разделение позволяет использовать данные модули при построении других систем обработки изображений. Головной модуль отвечает главным образом за взаимодействие системы с пользователем, реализует выполнение алгоритма выделения в соответствии с установленными настройками.

Система позволяет выбирать активный слой (RGB) для цветных изображений, использовать автоматический выбор порога разделения гистограмм или ручную его установку при работе со специфическими типами изображений, изменять пороги фильтрации при настройке системы на работу с объектами близких классов.

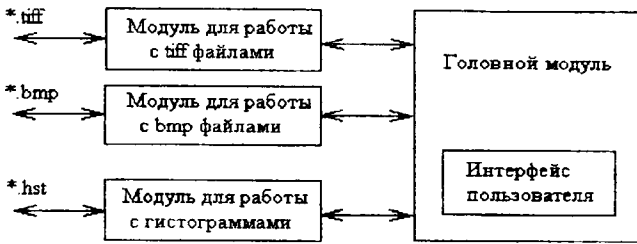


Рис.8. Структура системы выделения объектов на основе текстурного анализа

Результат может быть представлен в виде контура выделенных областей или в виде заливки выделенного объекта. Цвет – красный, зеленый, синий, белый, черный. Фон может быть либо белым, либо черным. Результат может представлять просто маску, а может быть наложен на исходное изображение в двух режимах: прозрачное наложение (изменяется только один из слоев RGB, соответствующий цвету результата) либо полное наложение (в этом случае фоном служит исходное изображение). После выполнения выделения, форма представления результатов может быть изменена без повторного выполнения обработки.

Данная система внедрена в в/ч №44256 в технологический процесс создания ЦКМ по СЗП.

В **заключении** кратко сформулированы результаты, отражающие научный вклад автора в разработку избранной научной проблемы.

В **приложении** приведены программные коды разработанных систем и документы, подтверждающие внедрение результатов диссертационной работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты, полученные в ходе диссертационного исследования, можно сформулировать следующим образом:

1. Предложен новый подход для полуавтоматического выделения площадных объектов на СЗП на основе анализа гистограмм. Отличительной чертой подхода является использование принципа ограничения диапазона яркости фона, что переводит задачу распознавания с одним базовым классом в задачу распознавания с двумя базовыми классами [6]. В рамках данного подхода разработан алгоритм выделения по отношению уровней гистограмм с автоматическим выбором порога [7, 8], позволяющий минимизировать суммарную ошибку распознавания в среднем до 5-7%.

2. Разработан двухпроходный алгоритм устранения ложных объектов на основе дистанционных преобразований, отличительными чертами которого является сохранение контуров объектов и связности, а также корректная обра-

ботка вложенных областей [7, 8]. Использование данного алгоритма фильтрации после выделения объектов алгоритмом на основе отношения уровней гистограмм позволяет снизить суммарную ошибку распознавания до 1,5-5%.

3. Предложена эффективная структура локальной памяти КА, отличающаяся от типовой структурой организацией локальной памяти в виде сдвигового регистра [4]. Структура предназначена для эффективного выполнения операции подсчета числа соседей с определенным состоянием. При увеличении аппаратных затрат до 10% предлагаемая структура дает выигрыш в скорости порядка 50% при окрестности с малым количеством соседей (до 8 – 16). Структура может использоваться в операциях сглаживания контура объектов.

4. Разработана структура КА, отличающаяся от типовой тем, что позволяет эмулировать глобальные связи [2]. Кроме того, структура позволяет повысить отказоустойчивость системы. Аппаратные затраты возрастают примерно на 30% без потери в скорости обработки. Структура может применяться при решении задач сжатия и масштабирования изображений, при моделировании физических процессов, для эмуляции пирамидальных структур КА.

5. Выведено соотношение для вычисления оптимальной глубины перекрытия при обработке изображений отдельными окнами в зависимости от размеров изображения и окна, скорости перезагрузки КА и числа выполняемых операций [5]. Полученная зависимость позволяет оптимизировать обработку больших изображений по скорости.

6. Разработана система для проектирования и отладки алгоритмов предварительной обработки полутоновых изображений на основе клеточной логики [1, 3]. Использование специального языка описания алгоритмов, оптимизированного под ОКЛ, позволяет без дополнительных затрат времени модифицировать существующие и разрабатывать новые алгоритмы предварительной обработки, а также выполнять их проверку на реальных изображениях. Разработана система выделения площадных объектов на полутоновых СЗП. В системе используются ранее разработанные алгоритмы выделения на основе гистограммного анализа и фильтрации на базе ДП. Система внедрена в производственный процесс в в/ч № 44256.

Представляется необходимым продолжить работу в данном направлении. В перспективе возможен переход к автоматической сегментации исходного изображения по текстурным признакам. Для этого, в первую очередь, следует снизить ошибку распознавания, добиться максимальной автоматизации процесса, увеличить скорость выполнения алгоритмов. В рамках рассмотренного подхода данные задачи могут быть решены путем использования многомерных гистограмм, которые могут строиться не только по яркостным характеристикам пикселей некоторой окрестности, но и по другим текстурным признакам.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ РАБОТ**Статьи в журналах и научных сборниках**

1. Прытков В.А., Татур М.М. Система для исследования алгоритмов предварительной обработки полутоновых изображений // Идентификация образов: Сб. научн. тр. - Минск, 2001. - С.17-23.
2. Прытков В.А., Садыхов Р.Х., Татур М.М. Структура клеточного автомата для решения задач сжатия изображений // Вести НАН РБ. Сер. физ.-техн. наук. - Минск, 2002. - N1. - С. 73-76.

Доклады на международных и республиканских конференциях

3. Прытков В.А., Татур М.М., Одинец Д.Н. Алгоритм нормализации бинарных изображений // Pattern Recognition and Information Processing: Proc. of 5th Intern. Conf. (PRIP'99). - Minsk, 1999. - Vol. 2. - P.148-152.
4. Прытков В.А., Татур М.М., Садыхов Р.Х. Метод организации локальной памяти клеточного автомата // Автоматизация проектирования дискретных систем (CAD DD'99). - Минск, 1999. - Т.2. - С. 85-92.
5. Prytkov V.A. Research of optimum depth of overlapping in cellular automata // International Conference of Neural Networks and Artificial Intelligence (ICNNAI'99). - Brest, 1999. - P. 142-145.
6. Prytkov V.A. Method of semi-automatic selection of objects on grayscale images of a terrestrial surface // Pattern Recognition and Information Processing: Proc. of 6th Intern. Conf. (PRIP'2001). - Minsk, 2001. - P. 47-50.
7. Prytkov V.A., Sadykhov R.H. Selection of close classes objects using brightness histogram // The International Workshop on Discrete-Event System Design (DESDes'01). - Zielona Gora, 2001. - P. 255-258.
8. Метод выделения площадных объектов на полутоновых снимках земной поверхности / А.А. Кравцов, В.А. Прытков, Р.Х. Садыхов, М.М. Татур // Цифровая обработка изображений и управление в чрезвычайных ситуациях: 3-я международная конференция (ЦОИУЧС'2002). - Минск, 2002. - Т.2. - С. 64-69.



Прыткоў Валерый Александравіч

Алгарытмы і вылічальныя структуры для апрацоўкі і дэшыфравання здымкаў зямной паверхні

Ключавыя словы: апрацоўка ізабражэній, здымкі зямной паверхні, палутанавыя ізабражэння, выдзяленне пляцоўных аб'ектаў, аналіз гістаграм, дыстанцыйныя алгарытмы, фільтрацыя, лакальныя аперацыі, папярэдняя апрацоўка, клетачная логіка, аднародныя клетачныя аўтаматы, эмуляцыя глабальных сувязей.

У дысертацыйнай працы дасядаецца важнейшы ў тэхналогіі стварэння і абнаўлення цыфравых карт мясцовасці па аэрафотаздымкам зямной паверхні этап выдзялення аб'ектаў, у значнай меры ўплываючы на працаемкасць тэхпрацэсу ў вогуле і на дакладнасць рэзультату. Мэтай працы з'явілася стварэнне алгарытмаў палуаўтаматычнага выдзялення пляцоўных аб'ектаў на палутанавых здымках зямной паверхні і стварэнне структурных мадэлей клетачных аўтаматаў для выканання этапа папярэдняй і постапрацоўкі ізабражэній.

Прапанаваны падыход палуаўтаматычнага выдзялення пляцоўных аб'ектаў на здымках зямной паверхні на аснове аналізу гістаграм. Асабістай рысай падыходу з'яўляецца выкарыстанне прынцыпа абмяжоўвання дыяпазону яркасці фона, што перакладае задачу распазнавання з адным базавым класам у задачу з двума базавымі класамі. У рамках даннага падыходу распрацаваны алгарытм выдзялення аб'ектаў па адносінам узроўняў гістаграм з аўтаматычным выяўленнем парога, мінімізуючага сумарную памылку распазнавання. Распрацаваны двухпраходны алгарытм фільтрацыі на аснове дыстанцыйных пераўтварэнняў, асабістымі рысамі якога з'яўляецца захоўванне контураў і звязнасці аб'ектаў. Прапанавана структура лакальнай памяці КА, якая адрозніваецца ад тыповай структуры арганізацыяй лакальнай памяці ў выглядзе здвігавага рэгістру. Структура прэдазначана для эфектыўнага выканання аперацыі падліку лічбы суседзей з вызначаным станам, якое шырока выкарыстоўваецца ў алгарытмах фільтрацыі і згладжвання контураў. Распрацавана структура КА, якая адрозніваецца ад тыповай тым, што дазваляе эмуляваць глабальныя сувязі. Гэта дазваляе выконваць алгарытмы, арыентаваныя на іерархічную структуру і павышае адказаўстойлівасць сістэмы. Выведзена формула для вылічэння аптымальнай глыбіні перакрыцця пры апрацоўцы ізабражэнняў асобнымі вокнамі ў залежнасці ад параметраў КА і ізабражэння.

Прытков Валерий Александрович

Алгоритмы и вычислительные структуры для обработки
и дешифрирования снимков земной поверхности

Ключевые слова: обработка изображений, снимки земной поверхности, полутонные изображения, выделение площадных объектов, анализ гистограмм, дистанционные алгоритмы, фильтрация, локальные операции, предварительная обработка, клеточная логика, однородные клеточные автоматы, эмуляция глобальных связей.

В диссертационной работе исследуется важнейший в технологии создания и обновления цифровых карт местности по аэрофотоснимкам земной поверхности этап выделения объектов, в значительной мере влияющий на трудоемкость техпроцесса в целом и на точность результата. Целью работы явилось создание алгоритмов полуавтоматического выделения площадных объектов на полутонных снимках земной поверхности и создание структурных моделей клеточных автоматов для выполнения этапа предварительной и постобработки изображений.

Предложен подход для полуавтоматического выделения площадных объектов на СЗП на основе анализа гистограмм. Отличительной чертой подхода является использование принципа ограничения диапазона значений гистограммы фона, что переводит задачу распознавания с одним базовым классом в задачу распознавания с двумя базовыми классами. В рамках данного подхода разработан алгоритм выделения объектов по отношению уровней гистограмм с автоматическим определением порога, минимизирующего суммарную ошибку распознавания. Разработан двухпроходный алгоритм фильтрации на основе дистанционных преобразований, отличительными чертами которого является сохранение контуров и связности объектов. Предложена структура локальной памяти КА, отличающаяся от типовой структуры организацией локальной памяти в виде сдвигового регистра. Структура предназначена для эффективного выполнения операции подсчета числа соседей с определенным состоянием, которая широко используется в алгоритмах фильтрации и сглаживания контуров. Разработана структура КА, отличающаяся от типовой тем, что позволяет эмулировать глобальные связи. Подобная эмуляция позволяет выполнять алгоритмы, ориентированные на иерархическую структуру и повышает отказоустойчивость системы. Установлено соотношение для вычисления оптимальной глубины перекрытия при обработке изображений отдельными окнами в зависимости от параметров КА и изображения.

Prytkov Valery Alexandrovich

The Algorithms and Computer Structures for Processing and Decoding
the Earth Surface Photos

Key words: image processing, Earth surface photos, grayscale image, extraction squared objects, histogram analysis, distance transforms, filtration, local operations, preliminary processing, cellular logic, cellular automaton, global links emulation.

In the PhD thesis the most important task of extraction of objects in technology of creation and updating digital maps on aero photos of Earth surface is investigated. Separation of objects significantly influences on work capacity of technological process and the accuracy of result. The main objective of the work is the development of an algorithms of semiautomatic identification of squared objects on grayscale Earth surface images and the development of structural models of a cellular automaton for preliminary image processing.

The approach of semiautomatic extraction of squared objects on Earth surface images based on histogram analysis has been proposed. The restriction of brightness range of the background pixels is the main feature of this approach. It transforms the recognition task with one class into task with two classes. The algorithm of extraction the objects on level relation of histograms with automatic calculation of threshold has been developed. This algorithm has minimized the total error of recognition. The two-pass algorithm of filtration based on distance transforms has been developed. Storing of contours and linking of objects is the main feature of this algorithm. The new structure of local memory of the cellular automaton has been proposed, that differs from classical by organization the local memory as shift register. It can effectively calculate the operation for counting of neighbours that is used in filtration and approximation algorithms. The new structure of cellular logic is differed from classical by global link emulation feature. Such emulation can use algorithm oriented on hierarchical structure and increase fault-tolerance of system. The relation for calculation of optimal depth of overlapping in process images by separate windows is proposed in dependence of cellular automaton parameters and image size.

ПРЫТКОВ Валерий Александрович

**АЛГОРИТМЫ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СТРУКТУРЫ
ДЛЯ ОБРАБОТКИ И ДЕШИФРИРОВАНИЯ
СНИМКОВ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

Специальность 05.13.15 – Вычислительные машины и системы

Автореферат диссертации
на соискание учёной степени кандидата технических наук

Подписано в печать 24.03.2003.	Формат 60×84 1/16.	Бумага офсетная.
Гарнитура «Таймс».	Печать ризографическая.	Усл. печ. л. 1,4.
Уч. - изд. л. 1,3.	Тираж 90 экз.	Заказ 169.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Учреждение образования
“Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники”
Лицензия Л11 №156 от 30.12.2002.
Лицензия ЛВ №509 от 03.08.2001.
220013, Минск, ул. П. Бровки, 6.