

## МОДЕЛИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ РАСТРОВЫХ ГРАФИЧЕСКИХ ДОКУМЕНТОВ СО СЛАБО ФОРМАЛИЗОВАННЫМ ОПИСАНИЕМ ОБЪЕКТОВ

Васин Д.Ю.<sup>1</sup>, Громов В.П.<sup>1</sup>, Ротков С.И.<sup>2</sup>  
dm04@list.ru|gvp1941@bk.ru|rotkov@nngasu.ru

Нижний Новгород, Россия,

<sup>1</sup>ИТММ, Нижегородский Государственный Университет им. Н.И. Лобачевского  
<sup>2</sup>Нижегородский Государственный Архитектурно-Строительный Университет

*В докладе в рамках развития комбинаторно–геометрического подхода к обработке пространственно–распределенных данных изложены оригинальные модели представления растровых и векторных графических документов со слабо формализованным описанием объектов, предложены алгоритмы их формирования и поддержки, а так же разработанные на основе указанных моделей алгоритмы фильтрации растровых данных и распознавания объектов по растровым данным планов поэтажной застройки, символов на растровых изображениях текстовых документов.*

**Ключевые слова:** растровые изображения, векторные изображения, планы поэтажной застройки зданий, гиперспектральные растровые данные ДЗЗ, комбинаторно–геометрический подход к обработке пространственно–распределенных данных, большеформатные, сложноструктурированные графические документы со слабо формализованным описанием объектов, фильтрация растровых данных, автоматическое распознавание символов.

## MODELS OF SUBMISSION OF RASTER GRAPHIC DOCUMENTS WITH POORLY FORMALIZED DESCRIPTION OF OBJECTS

Vasin D.Yu.<sup>1</sup>, Gromov V. P.<sup>1</sup>, Rotkov S.I. <sup>2</sup>  
dm04@list.ru|gvp1941@bk.ru|rotkov@nngasu.ru

Nizhny Novgorod, Russia,

<sup>1</sup>ITMM Nizhny Novgorod State University. N.I. Lobachevsky  
<sup>2</sup>Nizhny Novgorod State Architectural and Construction University

*In the report within development of combinatory and geometrical approach to processing of the spatial distributed data original models of submission of raster and vector graphic documents with poorly formalized description of objects, the developed algorithms of their formation and support, and algorithms of filtration of raster data and recognition of objects which are also developed on the basis of the specified models according to raster data of plans of floor-by-floor building and symbols narastrovy images of text documents are stated.*

**Keywords:** raster images, vector images, plans of floor-by-floor building of buildings, hyper spectral raster data of remote sensing of the earth, combinatory and geometrical approach to processing of the spatial distributed data, bolsheformatny, slozhnostrukturirovanny graphic documents with poorly formalized description of objects, filtration of raster data, automatic recognition of symbols.

### Введение

Цифровая обработка графической информации (ГИ) относится к числу наиболее трудоемких задач современной кибернетики, информатики и вычислительной техники. При этом ГИ является наиболее естественным носителем исходной информации практически во всех областях науки и техники. Цифровая обработка графической информации широко используется при решении многих важных отраслевых задач, автоматизации проектирования (САПР), автоматизации научных исследований (АСНИ), в робототехнике, медицинской и технической диагностике, мониторинге природных ресурсов, геоинформационных технологиях (ГИС) и т.д.

Расширение сфер, требующих автоматизации обработки графической информации, привело к качественному усложнению графических документов (ГД)– большие размеры, отсутствие строгих ограничений на шрифты и

типоразмеры, наличие фона, большое количество пространственно–логических и топологических связей и метрических отношений между линейными, площадными и дискретными объектами. Практикой выдвинута проблема обработки большеформатных, сложноструктурированных графических данных (БФГД) БФГД – это материальный объект (конструкторские проекты, географические и топографические карты и планы, графические материалы медицинской диагностики и поэтажные планы БТИ, растровые данные дистанционного зондирования Земли – ДЗЗ и др.), содержащий образно–знаковые модели действительности в форме графических изображений и терминов естественного языка. Размеры документов не менее 1000 мм по обеим осям, объекты могут изменяться от 0.1 мм до нескольких метров, точность обработки составляет порядка 0.1 мм. Это предопределяет огромные размеры исходных данных, которые превышают десятки и сотни

мегабайт. При этом источником, как правило, являются графические изображения на бумажных носителях, а создание цифровых документов необходимо обеспечить в терминах соответствующей проблемной области. Однако, значительный класс БФГД выполняется ручным способом со слабо формализованным начертанием объектов, произвольной ориентацией, произвольными размерами символов, наличием большого количества межобъектных наложений, примыканий и пересечений, образуя подкласс БФГД со слабо формализованным описанием объектов (СФГД). На такие документы наносятся условные обозначения объектов четырех классов: точечных (дискретных), линейных, двумерных (площадных) и изображения символов

– пространственно–распределенные данные (ПРД). Объекты ПРД распределены в пространстве, имеют координатную привязку ( $X, Y, Z$ ), метрическое описание объектов сложноструктурировано, может включать в себя, полностью или частично, другие объекты, менять свойства (атрибуты) в зависимости от их местонахождения. Объекты могут взаимодействовать между собой, имея либо пространственно–логические (ПЛС), либо тополого–метрические связи (ТМС), число которых может значительно изменяться [2, 3].

Характеристики (атрибуты) объектов также имеют пространственную привязку, могут меняться в зависимости от местонахождения объекта, иметь сложноструктурированный характер, то есть состоять (включать в себя) большой набор уточняющих свойств.

В процессе первичного анализа документов, относящихся к СФГД, выявляются характерные особенности, присущие данному классу документов, а именно: СФГД типа машиностроительных чертежей, схем, планов поэтажной застройки зданий являются документами массового типа; как правило, данный класс документов исполнен на бумажных носителях среднего и плохого качества; на планах и схемах отсутствует жесткий стандарт и часто не соблюдены правила отрисовки отдельных графических знаков; в зависимости от качества носителя СФГД и правильности выбора параметров оцифровки, степень зашумленности растрового изображения графического документа (РИГД) может варьироваться в широких пределах; метрическая точность графических знаков также варьируется широко диапазоне значений. Таким образом, основные особенности ПРД, влияющие на выбор моделей и способов описания объектов, можно сформулировать следующим образом [2, 3]:

- переменное сложно–структурированное метрическое описание информационных объектов;
- пространственная привязка атрибутивных данных, число которых может значительно изменяться;
- переменное число различных внутри и межобъектных связей с их пространственной локализацией;
- переменное число внутриобъектных и межобъектных топологических связей.

Определим основные графические объекты, встречающиеся на БФГД [2, 3]:

- *линейный* – это объект, характеризующийся некоторой протяженностью (линией) на местности и БФГД;
- *площадный* – это объект, площадь которого выражается в масштабе БФГД и ограничивается контуром (внешней границей). Для их обозначения соответствующие области заполняются определенным цветом, штриховкой или структурными элементами (точками, значками и т.п.). Очертания областей достаточно точно отражают очертания реальных объектов в масштабе БФГД;

- *дискретный* – это объект, имеющий "точечный" характер или площадь которого не выражается в масштабе БФГД. К этому классу относятся различные условные знаки и специальные символы. Совокупность дискретных объектов может определять характеристики объектов остальных классов.

- *без метрики* – это объект, не имеющий пространственной локализации, или имеющий неопределенную локализацию на местности и БФГД. Каждый объект содержит определенный набор характеризующих его признаков. В общем случае все признаки могут быть разделены на две основные группы [2, 3]:

1. *метрическая информация* – содержит сведения о местоположении объекта на БФГД;

2. *семантическая информация* – содержит сведения о свойствах данного объекта.

Метрическая информация включает координаты точек объекта. Метрика дискретных объектов содержит от 1 до 3 точек, метрика площадных объектов – упорядоченную последовательность точек, описывающих внешний и внутренний контуры соответствующей области. Основное требование к метрической информации – точность. Это означает, что пространственные характеристики с требуемой точностью определяют положение объекта в системе координат и относительно других объектов.

К семантической информации относят непосредственно качественные и количественные характеристики объектов:

- временные характеристики, определяющие время исследования объекта и иногда показывающие зависимость изменения свойств объекта с течением времени;

- тематические характеристики, описывающие свойства объекта, не включенные в пространственные и временные. Это могут быть экономические, статистические, технические, организационные, управленческие и прочие виды данных. Основное требование к тематическим данным – полнота. Полнота тематических данных означает, что этих данных достаточно для решения практических задач и нет необходимости проводить дополнительный сбор данных. Временные и особенно тематические данные фиксируют с помощью разных описательных характеристик, частично или полностью формализованных. Поэтому эти данные определяют в виде кодов, дескрипторов, словарей и т.п.

Все это усложняется еще и тем обстоятельством, что необходимо производить обработку ГИ в реальном масштабе времени и при ограниченных ресурсах памяти. Указанные особенности рассматриваемого класса БФГД обуславливают повышенные требования к геометрическому моделированию отсканированных изображений такого рода графических документов.

На протяжении более 40 лет в НИИ ПМК ННГУ (ныне Центр информатики и интеллектуальных информационных технологий ИТММ ННГУ– ЦИИИТ ИТММ ННГУ) разрабатываются программно–аппаратные комплексы обработки БФГД. Необходимо отметить, что технология автоматического анализа графической информации (ГИ) – сложный многоэтапный процесс, включающий в себя большое количество методов и алгоритмов обработки – фильтрации, сжатия, хранения и поиска, анализа и принятия решений. Для эффективной работы этого «конвейера» необходимо, чтобы все математические модели, методы и алгоритмы, а также структуры представления данных, что очень важно, были взаимосвязаны и взаимозаменяемы, так как очевидно, что сколь угодно высокая эффективность на каком-то отдельном участке обработки может быть сведена на нет на других этапах. Таким образом, модели и методы

обработки должны быть технологичными и удовлетворять некоторым общим требованиям, предопределенным эффективностью решения задач анализа ГИ в целом. Однако, в настоящее время большинство методов и математических моделей описания растровых изображений, позволяющих решать частную задачу, малоэффективны для работы в «конвейере» обработки ГИ. Это особенно важно на нижних уровнях иерархии. Проблемы еще более усугубляются в ГИС в связи с необходимостью осуществлять обработку очень большого объема растровой информации в реальном масштабе времени, при ограниченных ресурсах оперативной памяти и необходимости их естественной интеграции в геоинформационные технологии и системы. Таким образом, основные требования, предъявляемые к моделям описания, методам и алгоритмам обработки растровой информации ГД в ГИС следующие [2, 3]:

- технологичность;
- высокая емкостная и временная эффективность;
- естественная интегрируемость в общую схему ГИС.

Все это определяет актуальность проблемы развития новых математических моделей описания и методов обработки растровых изображений БФГД.

В работах нижегородских ученых Васина Ю.Г., Башкирова О.А., Чудиновича Б.М. и др. (НИИ ПМК ННГУ) [2, 3] был предложен комбинаторно-геометрический подход к обработке растровых изображений графической информации пространственно-распределенных данных (ПРД) в основе которого весь сложный комплекс задач, связанный с анализом видеоданных, рассматривается с единой точки зрения построения иерархии взаимосвязанных математических моделей описания, структур представления и принятия решений, нижний уровень которых обрабатывает растровую информацию со сканирующего устройства, а верхний уровень соответствует описанию ГД в терминах пользователя. Были предложены математические модели нижних уровней иерархии для описания изображений, в которых графические изображения представлялись в виде раstra (набора пикселей), совокупности линий, контуров и точек (контурная, линейно-контурная модели) [3]. Линейно-контурная модель изображения ГД рассматривалась как базовая для всех последующих уровней моделей. На базе контурной и линейно-контурной моделей строились модели высших уровней. Для моделей высших уровней были развиты эффективные методы вычислительной геометрии (метод от общего к частному на базе иерархических структур представления векторных данных), методы распознавания графических объектов (корреляционно-экстремальный метод) и пр. Однако, практика обработки БФГД, а особенно СФГД, особенно ГД, взятых из архивов, вызвало новые серьезные проблемы, связанные с переходом от нижнего (пиксельного) представления к векторному, что, в свою очередь, привело к необходимости дальнейшего развития иерархии моделей описания растровых изображений, особенно на нижних уровнях, где наиболее велики объемы обрабатываемых данных и временные затраты.

**Низкоуровневая структурированная модель растровых данных**

В рамках комбинаторно-геометрического подхода [2] под математической моделью изображения будем понимать тройку вида  $M_V^\alpha = \{E_V^\alpha, C_V^\alpha, R_V^\alpha\}$ ,

где:

$E_V^\alpha = \{e_1^\alpha, e_2^\alpha, \dots, e_s^\alpha\}$  – множество произвольных элементов модели ранга  $\alpha$ ;

$R_V^\alpha = \{r_1^\alpha, r_2^\alpha, \dots, r_t^\alpha\}$  – множество допустимых отношений между произвольными элементами модели ранга  $\alpha$ ;

$C_V^\alpha = \{c_1^\alpha, c_2^\alpha, \dots, c_n^\alpha\}$  – множество характеристик произвольных элементов модели ранга  $\alpha=1,2,3,\dots,N$ .

Исходя из этого, предлагаются класс растровых и класс векторных моделей БФГД [1].

Класс растровых моделей ( $v=1$ ):

- $M_1^1 = \{E_1^1, C_1^1, R_1^1\}$  – пиксельная модель (ПМ);
- $M_1^2 = \{E_1^2, C_1^2, R_1^2\}$  – штриховая модель на базе «линейных» штрихов (ШМ);
- $M_1^3 = \{E_1^3, C_1^3, R_1^3\}$  – модель простых растровых объектов (ПРО);
- $M_1^4 = \{E_1^4, C_1^4, R_1^4\}$  – модель растровых составных объектов (PCO);
- $M_1^5 = \{E_1^5, C_1^5, R_1^5\}$  – линейно-площадная растровая модель (ЛПРМ).

ПМ – это общепринятая в цифровой обработке изображений пиксельная прямоугольная матрица  $[P_{ij}]$  ( $i=1, 2, \dots, N; j=1, 2, \dots, M$ ), элемент  $p$  – пиксель, который является кодом цвета точки изображения с координатой  $X_i=i \cdot hX$  и  $Y_j=j \cdot hY$ , где  $hX$  и  $hY$  – шаг пространственной дискретизации изображения соответственно по координатам  $X$  и  $Y$ .

В общем случае пиксель, как элементарный произвольный элемент РИГД, можно описать четверкой типа  $p=\{x,y,c,sw\}$ , где:

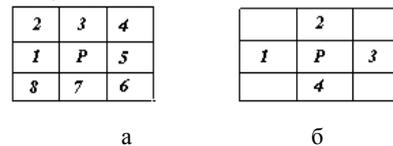
- $x, y$  – растровые координаты пикселя (номер строки и номер столбца пиксельной матрицы);
- $c$  – структурная переменная, описывающая цветовое значение пикселя. В зависимости от цветовой гаммы исходного изображения эта переменная принимает следующие значения:

- для бинарных растровых изображений (БРИ) это бинарная переменная, принимающая два фиксированных значения  $c=\{0,1\}$ , при этом  $c=0$  (черное) соответствует не фоновому пикселю изображения, а  $c=1$  (белое) – фоновому пикселю;

- для серых полутоновых изображений это дискретная переменная, заданная на некотором интервале значений  $c=\{0,1,\dots,R\}$ ;

- для цветных изображений используется RGB формат описания цвета пикселя и для него структурная переменная  $c$  имеет вид трехкомпонентного вектора, то есть  $c=\{r, g, b\}$ , где каждая компонента принимает значение из заданного интервала.

- $sw$  – коэффициент связи, измеренный в четырех- или восьмиэлементной окрестности пикселя  $P$  и описывающий его топологические свойства (рис. 1).



**Рисунок 1** Восьми- (а) и четырехсвязная (б) области пикселей и условная их нумерация в зоне единичной окрестности пикселя P

Например, при выборе четырехсвязной области  $sw=\{0-4\}$ . Причем, если

- $sw = \begin{cases} 0, & P - \text{изолированный пиксель, не имеющий соседей своего цвета;} \\ 1, & P - \text{граничный пиксель с одним соседом своего цвета;} \\ 2, & P - \text{граничный пиксель с двумя соседями своего цвета;} \\ 3, & P - \text{граничный пиксель с тремя соседями своего цвета;} \\ 4, & P - \text{внутренний пиксель, не имеющий соседей не своего цвета.} \end{cases}$

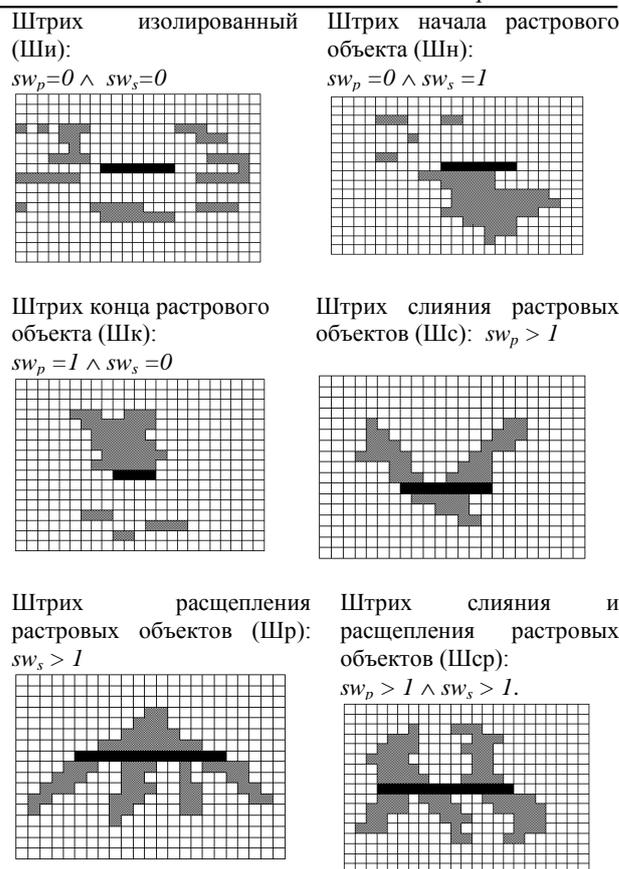
На базе понятия пикселя и его топологических свойств можно построить структурные компоненты РИГД: штрих, ПРО, РСО, являющиеся результатами одномерной, либо двухмерной кластеризации связанных пикселей [1].

**Штрих** – одномерный кластер связанных пикселей заданного цвета, представляет набор чисел  $H=(S, N, K, C)$ , где:  $S$  – текущий номер линии сканирования РИГД;  $N, K$  – координаты начала и конца совокупности подряд идущих пикселей одного цвета вдоль линии растра;  $C$  – код цвета связанных пикселей, образующих штрих. Для бинарных изображений кодируются только «объектовые» связанные области черного цвета, поэтому штрих описывается тройкой типа  $H=(t, N, K)$ , где:  $t$  – номер строки растра;  $N, K$  – координаты начала и конца штриха. Совокупность штрихов для заданной строки растра  $t$  определяет строку штрихов  $SH=\{H_i\}(i=1,2,\dots,m)$ , где  $H_i$  – текущий штрих в строке. Описание растра с помощью набора строк штрихов является однозначным и задает векторно-растровый, или штриховой, формат представления пиксельных матриц. Необходимо отметить, что штриховой формат представления и хранения РИГД является в  $L$  раз более компактным, чем пиксельный, где  $L$  – средняя длина штриха для выбранного направления линии сканирования данного растра. Опыт применения штрихового формата для описания БФГД типа топографических карт показал, что  $L=10-20$  и зависит от насыщенности растра разноцветными компонентами. Кроме того, многие алгоритмы локальной фильтрации, сглаживания, форматирования и векторизации также в среднем в  $L$  раз эффективнее по времени для штрихового формата по сравнению с пиксельным.

Топологические свойства штриха  $(t, N, K)$  определяются через его связность со штрихами смежных строк. Формально можно дать следующее определение меры связности штриха  $(t, N, K)$ . Пусть  $sw_p, sw_s$  определяют топологические свойства штриха, то есть его связность со штрихами смежных строк, а  $t$  является номером текущей строки штрихов растра. Тогда, если в предыдущей строке  $p=t-1$  нет ни одного штриха, для которого выполняется условие  $N_p \geq N_t \wedge N_p \leq K_t \vee K_p \geq N_t \wedge K_p \leq K_t$  (1) то  $sw_p=0$ ; иначе,  $sw_p$  равно числу раз выполнения условия (1), где  $sw_p$  – количество штрихов строки  $p$ , связанных с текущим штрихом строки  $t$ . Если в следующей строке  $s=t+1$  нет ни одного штриха для которого выполняется условие  $N_s \geq N_t \wedge N_s \leq K_t \vee K_s \geq N_t \wedge K_s \leq K_t$  (2) то  $sw_s=0$ , иначе  $sw_s$  равно числу раз выполнения условия (2), где  $sw_s$  – количество штрихов строки  $s$ , связанных с текущим штрихом строки  $t$ .

Здесь  $N_t, K_t$  – координаты начала и конца исследуемого на связность штриха текущей строки  $t$ ,  $N_p, K_p$  – координаты начала и конца очередного штриха предыдущей смежной строки  $p$ ,  $N_s, K_s$  – координаты начала и конца текущего штриха последующей смежной строки  $s$ .

По суперпозиции значений  $sw_p$  и  $sw_s$  можно ввести следующую классификацию графических ситуаций (Рис.2).



**Рисунок 2 Классификация графических ситуаций положения штриха в текущей строке**

На базе классификации положения штриха в строке определим структурные компоненты РИГД [1]:

- *растровый простой объект РПО* – кластер связанных штрихов, не содержащий графических ситуаций типа слияния и расщепления, то есть РПО – это такой двумерный (плоский) кластер связанных штрихов, для любого штриха которого выполняется условие  $sw_p < 2 \wedge sw_s < 2$  (3)

- *растровый составной объект РСО* – кластер связанных штрихов, для каждого штриха которого выполняется условие  $sw_p > 0 \vee sw_s > 0$  (4)

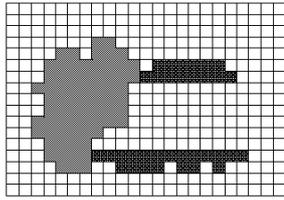
и для любых двух элементов (штрихов или пикселей) найдется хотя бы одна соединяющая их пиксельная траектория, состоящая из связанных смежных элементов. Отметим, что построение структурных растровых компонент типа РСО можно производить на основе и пиксельного и штрихового описания, а выделение РПО можно осуществлять только по совокупности штрихов растра.

*Линейно-площадная модель РИГД* – это представление исходного РИГД как логической суммы двух РИГД, один из которых состоит из пикселей *растровых линейных объектов* (РЛО), а второй – из пикселей *растровых площадных объектов* (РПО). Такое расщепление исходного РИГД на две компоненты возможно при задании каждому пикселю исходного РИГД свойства протяженной связности  $L_{sw}$ . Определим  $L_{sw}$  для пикселя как длину минимального штриха, полученного по всем возможным направлениям линии сканирования, проходящей через этот пиксель, то есть  $L_{sw} = \min_u(L_u)$ ,

где  $u=1,2,\dots,k$ , где  $u$  – направление линии сканирования,  $L_u$  – длина штриха, которому принадлежит исследуемый пиксель. Сравнивая полученную величину с пороговой пиксельной толщиной линейных растровых объектов,

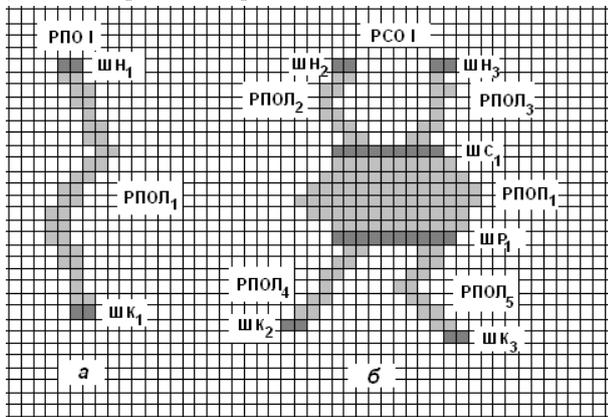
можно осуществить бинарную классификацию на два класса: пиксель, принадлежащий РЛО, или пиксель, принадлежащий РПО, простым пороговым решающим правилом: если  $L_{sw} < Por$ , то пиксель принадлежит РЛО, иначе, пиксель принадлежит РПО.

На рис. 3 представлен кластер связанных пикселей, состоящий из одного РПО и двух РЛО. Пиксельная толщина растровой линии выбрана равной 2 пикселям.



**Рисунок 3** кластер связанных пикселей, состоящий из одного РПО и двух РЛО

Предложенная иерархия моделей описания РИГД на нижних уровнях позволила перейти к структурированному представлению (описанию) растровых изображений БФГД (Рис.4). При этом растровое изображение представляется совокупностью *связных растровых компонент* (СРК): РПО, РСО, а также узловых штрихов и штрихов начала и конца объектов.



**Рисунок 4** структурированное описание растровых изображений БФГД

РПО разделяются на *линейные* (РПОЛ) и *площадные* (РПОП). Множество производных элементов (НЭ) состоит из РПОЛ, РПОП, и штрихов (Шн, Шк, Шс, Шр, Шср). РПО примыкают к штрихам. На рис. 4 изображены две СРК: на рис. 4а – РПОЛ<sub>1</sub>, а на рис. 4б – РСО<sub>1</sub>, состоящий из РПОЛ<sub>2</sub>, РПОЛ<sub>3</sub>, РПОЛ<sub>4</sub>, РПОЛ<sub>5</sub> и РПОП<sub>1</sub>, двух штрихов начала - ШН<sub>2</sub>, ШН<sub>3</sub>, двух штрихов конца - ШК<sub>2</sub>, ШК<sub>3</sub>, одного штриха слияния ШС<sub>1</sub>, одного штриха расщепления ШР<sub>1</sub>. ШС<sub>1</sub> – имеет три связи с РПОЛ<sub>2</sub>, РПОЛ<sub>3</sub>, РПОП<sub>1</sub>, ШР<sub>1</sub> – имеет три связи с РПОП<sub>1</sub>, РПОЛ<sub>4</sub>, РПОЛ<sub>5</sub>.

Для РСО и РПО, а также штрихов начала и конца объектов и узловых штрихов, вычисляются характерные признаки следующих типов:

- номер РСО и РПО;
- количество РПО и штрихов (Шн, Шк, Шс, Шр, Шср) в РСО;
- координаты описывающего прямоугольника;
- площадь и периметр этого прямоугольника;
- площадь РПО и РСО;
- отношение площади описывающего прямоугольника к площади РПО и РСО;
- номер штриха;
- длина штриха;
- количество связей и др.

Построенная иерархия растровых моделей структурированного описания изображений БФГД позволяет осуществлять:

- структурирование РИГД;
- распараллеливание обработки растровых объектов;
- расширение класса используемых методов обработки РИГД на нижних уровнях описания;
- использование не только локальных, но и интегральных критериев обработки;
- распознавание линейных, площадных и дискретных растровых объектов;
- сокращение емкостной и вычислительной сложности алгоритмов обработки РИГД.

**Структурная модель векторных данных**

В качестве дальнейшего развития представленной выше иерархии растровых моделей, перейдем к усовершенствованному классу моделей векторного уровня. При этом, в дополнение к имеющимся контурной и линейно-контурной моделям, предлагается линейная и, получаемая на ее основе, сегментно-узловая модель. В результате *класс векторных моделей* ( $v=2$ ) включает [1,3]:

- $M_2^1 = \{E_2^1, C_2^1, R_2^1\}$  – контурная модель изображения (КМ);
- $M_2^2 = \{E_2^2, C_2^2, R_2^2\}$  – линейно-контурная модель изображения (ЛКМ);
- $M_2^3 = \{E_2^3, C_2^3, R_2^3\}$  – линейная модель изображения (ЛМ);
- $M_2^4 = \{E_2^4, C_2^4, R_2^4\}$  – сегментно – узловая модель изображения (СУМ).

*Контурная модель изображения.* Пусть  $K = \{x_1, y_1, x_2, y_2, \dots, x_n, y_n\}$  – последовательность точек контура связанной фигуры. Тогда производный элемент контурной модели –  $i$ -ый вектор метрики контура:  $\{x_i^H, y_i^H, x_i^K, y_i^K\}$ , отношение примыкания векторов контура:

$$\forall i \left\{ \left( x_i^K = x_{i+1}^H \right) \wedge \left( y_i^K = y_{i+1}^H \right) \wedge \left( x_i^H = x_{i-1}^K \right) \wedge \left( y_i^H = y_{i-1}^K \right) \right\}$$

вектор всегда примыкает к единственному последующему вектору и к единственному предыдущему, так что «черное» всегда остается справа; характеристика вектора: вектор может быть внутренним и внешним.

Последовательность векторов контура образует контур (внешний или внутренний), т.е. объект изображения – это внешний контур и множество внутренних контуров связанной фигуры. Совокупность контуров для всего раstra определяет контурную модель растровых данных.

С точки зрения растрового изображения, контур – это линия границы растровой области заданного цвета, то есть слева и справа от линии контура расположены пиксели разных цветов. Направление обхода контура показывает цвет раскраски его внутренней области. Например, для бинарных изображений, если направление обхода контура по часовой стрелке, то внутренняя область контура (справа по ходу движения) – черная, иначе – белая. По этому признаку все контура разделяются на внешние (обход по часовой стрелке) и внутренние (обход против часовой стрелки).

Контурная модель находится во взаимно – однозначном соответствии с РИГД. Имеет самостоятельное значение, но может рассматриваться и как подготовительный этап формирования линейно-контурной модели.

*Линейно-контурная модель изображения.*

Множество производных элементов: вектор, образованный точками метрики контура (вектор контура), вектор, образованный точками метрики линии (вектор

линии), черная точка на белом фоне, белая точка на черном фоне. Набор отношений: вектор контура всегда примыкает к предыдущему и последующему векторам контура и может примыкать к вектору линии, вектор линии может примыкать к последующему и предыдущему векторам линии и вектору контура или иметь один, или два свободных конца, точки не примыкают ни к каким объектам – изолированы. Набор характеристик: вектор линии имеет толщину, вектор контура может быть внешним или внутренним, точка имеет диаметр. Объекты изображения: линия – последовательность векторов контура; контур – последовательность векторов контура, черная и белая точки. Линии и контуры не пересекаются, контуры замкнуты. Линейно-контурная модель описывает границы площадных и линейных графических объектов, и поэтому имеет, в отличие от контурной модели, более сложную топологическую структуру.

*Линейная модель изображения* – может рассматриваться как вырожденный случай линейно-контурной модели. Множество производных элементов: вектор линии, Набор отношений: вектор линии может примыкать к последующему и предыдущему векторам линии или иметь один или два свободных конца. Набор характеристик: вектор линии имеет толщину. Объекты изображения: линия – последовательность векторов контура. Линии могут пересекаться. Наиболее эффективно ее использование при обработке БФГД с явно выраженной линейной структурой обрабатываемых объектов. С другой стороны, линейные объекты появляются в задачах геометрического моделирования РИГД при аппроксимационной замене протяженных СРК на линейные объекты. Построение этой модели возможно как непосредственно по РИГД, так и по контурной модели.

*Сегментно-узловая модель изображения* – является векторной моделью, целиком описывающей все изображение в виде набора связанных множеств. Производные элементы: вектора – сегменты и точки-узлы, описываемые координатами  $\{x, y\}$  и параметром  $Sw_L$ , указывающим на  $L$ -сегмент, связанный с этим узлом. Наборы отношений и характеристик совпадают с аналогичными наборами линейной модели.

Контурная, линейно-контурная и линейная модели изображений связаны с теми или иными алгоритмами векторизации СРК и обеспечивают геометрическую интерпретацию изображений в задачах анализа сцен и распознавания, а также метрическое описание информационных компонент раstra.

Для представления созданных моделей разработаны оригинальные структуры и форматы хранения.

Построенная иерархия растровых моделей структурированного описания изображений ГД на растровом уровне, позволяет осуществлять:

- структурирование растровых изображений;
- распараллеливание обработки растровых объектов;
- расширение класса используемых методов обработки растровых изображений на нижних уровнях описания;
- использование не только локальных, но и интегральных критериев обработки;
- распознавание линейных, площадных и дискретных растровых объектов;
- сокращение емкостной и вычислительной сложности алгоритмов обработки растровых изображений ГД.

#### **Алгоритмы построения иерархии моделей штрихового и векторного уровней описания РИГД**

Алгоритмы построения иерархии моделей описания РИГД основаны на вычислении признаков связности пикселей в строке для формирования штриховой модели, либо признака связности штрихов в двух смежных с ним строках (предыдущей и последующей) – для

формирования РПО. В результате формируется массив штрихов  $H_i(x_n, x_k, y)$ , или связанных штрихов  $H_i(x_n^i, x_k^i, sw_p, sw_s)$ . По массиву связанных штрихов строится таблица параметров РПО (ТПРПО), в которой хранятся адреса начала размещения РПО, количество штрихов в РПО, площадь РПО, координаты и площадь описывающего прямоугольника и др. Используя данные ТПРПО, строится модель растрового составного объекта (РСО), который представляется совокупностью связанных РПО. Важной отличительной особенностью этих алгоритмов является их локальность. На каждом шаге алгоритмов производится обработка полосы исходных данных, состоящей не более чем из трех строк. При этом выявляются все возникающие значимые ситуации и осуществляется их разрешение. Другая важная особенность состоит в параллельности. Построение моделей осуществляется за один просмотр входной информации и состоит из двух основных операций: обработки информации и отслеживании размеченных связанных штрихов [4 – 7].

Для СФГД типа чертежей, схем и планов характерно изображение сюжетов рисунка с помощью отрезков линий с четко выраженным направлением их ориентации. Если при сканировании этих документов направление сканирования выбрать в соответствии с преимущественной ориентацией этих отрезков, то штриховая модель отсканированных данных позволяет построить простые и надежные алгоритмы векторизации и осуществить эффективное геометрическое моделирование растрового описания этих документов.

Векторизация является базовой операцией в большинстве систем обработки и анализа графической информации. Если растровое описание векторизуемых объектов не содержит искажений и шумов то существующие локальные алгоритмы векторизации вполне удовлетворительно справляются с этой задачей, хотя надо иметь в виду, что получаемые при этом векторизованные объекты требуют дополнительного сглаживания либо аппроксимации, а это не всегда удается сделать успешно, то есть одновременно удовлетворить требованиям метрической точности аппроксимации и геометрической достоверности векторизованного объекта.

Линейная модель растрового изображения строится только по штрихам, принадлежащим линейным РПО. Изначально выполняется этап предварительной обработки РИГД, включающий следующие операции над исходным растром [5, 6]:

1) определение преимущественно выраженного направления ориентации РЛО, как направление наиболее протяженных РЛО на данном РИГД;

2) поворот исходного РИГД, таким образом, чтобы новое направление сканирования графического документа совпало или было близко к найденной на шаге 1 ориентации РЛО;

3) конвертация исходного РИГД в штриховую модель.

4) разбиение полученного множества штрихов на набор РСО.

5) формирование линейно-площадной модели РИГД в виде двух РИГД, содержащих наборы РЛО и РПО исходного РИГД. Для этого исходный набор РСО сегментируем на кластеры связанных коротких и длинных штрихов по пороговому значению  $L_p = k * dLine$ , где  $dLine$  – средняя толщина растровой линии,  $k = \{1 - \text{горизонтальные}, 2 - \text{наклонные}, 3 - \text{вертикальные}\}$  – коэффициент наклона растровых линий на документе. Далее выполняем слияние кластеров заданного типа методом  $\epsilon$ -кластеризации, то есть формируем РСО с заданными свойствами и полученные РСО считаем исходными растровыми объектами для тех или иных алгоритмов векторизации.

Как было отмечено, для РИГД типа поэтажных планов, схем, технических чертежей характерно наличие большого количества РЛО. Поэтому далее остановимся подробно на алгоритмах векторизации именно этого вида растровых объектов, рассмотрев два алгоритма векторизации РЛО – глобальный и локальный [5 – 7].

В глобальном алгоритме очередной исходный РЛО рассматривается как некоторое множество точек плоскости  $P = \{x_i, y_i\}$ , ( $i=1, 2, \dots, N$ ), где каждая точка  $\{x_i, y_i\}$  является векторизованным описанием текущего пикселя обрабатываемого РЛО. Для множества  $P$  методом наименьших квадратов (МНК) строится кусочно – линейная аппроксимирующая с заданным  $\epsilon$  функция, которая и является выходным результатом векторизации текущего РЛО.

В локальном алгоритме производится последовательное отслеживание узлов линии методом самоцентрируемого скользящего окна с использованием следующих алгоритмических операций:

1) центр растрового окна заданного размера  $H_w = d\_Line$  помещается в текущий свободный пиксель РЛО;

2) для координат  $n$  пикселей, попавших в окно, вычисляется среднее значение и их линейная ориентация

$$\tilde{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i; \tilde{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i; U_x, U_y, \text{ где } U_x, U_y - \text{компоненты}$$

первого собственного вектора, полученного по МНК, и линейно аппроксимирующего множество пикселей окна;

3) среднее значение принимаем за текущий узел векторизуемого РЛО;

4) перемещаем окно по вектору линейной ориентации до появления первого свободного пикселя;

5) шаги 2 – 4 выполняем до тех пор, пока в перемещаемом окне будет хотя бы один свободный пиксель, в противном случае считаем, векторизацию текущего РЛО законченной

Для множества отрезков, полученных из текущего РСО, выполняется операция метрического и геометрического согласования метрики отрезков.

По согласованной метрике отрезков формируется итоговая геометрическая модель (рис.5).



Рисунок 5 а) итоговая геометрическая модель; б) ее увеличенный фрагмент

При построении контурной и линейно–контурной моделей за счет использования информации о РПО и РСО удалось сократить емкостную сложность алгоритмов в 4–5 раз (отпадает необходимость хранить всю таблицу связей координат точек контура или линии), а также временную сложность в 2–3 раза.

Построение сегментно–узловой модели описания осуществляется в два этапа: сначала, по сформированным признакам близости отрезков и углов направления близко

расположенных отрезков линейной модели, осуществляется сборка длинных линий, затем, по заданным критериям проводится поиск узлов связи построенных линий (точки пересечения и примыкания линий). Алгоритмы построения контурной и линейно–контурной моделей описания осуществляют отслеживание внешних и внутренних контуров площадных РПО и РСО, а также линий для линейных РПО, и точек связи линий и контуров [6].

На базе изложенных алгоритмов создано оригинальное программное обеспечение, используемое при автоматическом цифровании схем поэтажной планировки в задачах создания электронных кадастров.

#### Объектовая фильтрация растра

Для минимизации побочного эффекта масочных фильтров, выражающегося в уменьшении резкости границ объектов, был разработан алгоритм объектовой фильтрации БРИ в штриховой форме суть которого в следующем. Входными параметрами являются код цвета удаляемой помехи и размеры описанного вокруг помехи прямоугольника со сторонами, параллельными осям координат, а также процент его заполненности пикселями цвета помехи. Работа алгоритма основана на выделении по исходному БРИ набора РСО, состоящих из пикселей с цветом, равным заданному, с последующим удалением (перекрашиванием в альтернативный цвет) тех сформированных РСО, которые по своим геометрическим характеристикам удовлетворяют параметрам помехи. Важным достоинством данного алгоритма является тот факт, что указанная фильтрация не вносит никаких искажений в те связные области, которые не распознаются алгоритмом как шумовые. На рис 6а представлены исходный растр поэтажного плана здания в штриховом формате, а результат его объектовой фильтрации на рис. 6б.



Рисунок 6 а) исходное растровое изображение поэтажного плана здания в штриховом формате, б) результат его фильтрации объектовым фильтром

#### Автоматическое распознавание условных знаков конструктивных элементов поэтажного плана здания

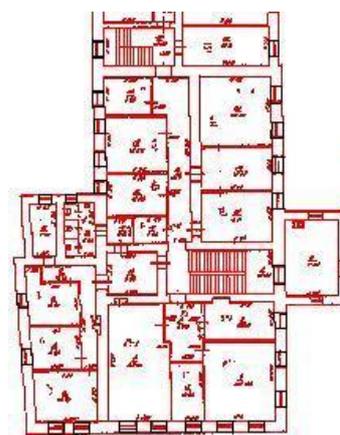
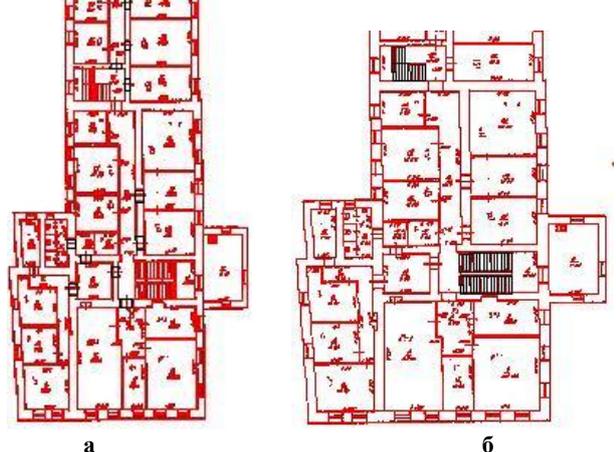
Ключевым моментом повышения эффективности преобразования различной бумажной конструкторской документации, в частности, планов поэтажной застройки зданий в цифровой вид, является автоматическое распознавание условных знаков конструктивных элементов поэтажного плана здания. Для решения данной

задачи был разработан алгоритм, состоящий из следующих шагов [8]:

- используя линейную модель исходного документа, формируется массив точек пересечения линейных объектов (узлов) и набор соединяющих их отрезков–сегментов;
- производится автоматическая разметка сегментов по связности их концов между собой;
- осуществляется кластеризация и разметка сегментов, являющихся элементами условного знака *Лестница*;
- выполняется разметка линий со свободными концами, являющихся элементами условного знака *Дверь*;
- по контурной модели документа производится предварительная разметка контуров, принадлежащих *Помещениям*, по наличию внутри них различных текстовых символов;
- осуществляется кластеризация сегментов для формирования фрагментов, относящихся к условному знаку *Капитальная стена*;
- выполняется поиск внутренних элементов объекта *Капитальная стена* (дверей, окон, стеновых шкафов, ниш);
- по набору сформированных, подряд стоящих сонаправленных фрагментов условного знака *Капитальная стена*, методами кластерного анализа собираются полноценные элементы, относящиеся к данному условному знаку;
- подвергаются кластеризации оставшиеся неразмеченные сегменты и выполняется построение элементов, относящихся к условному знаку *Перегородочная стена*;
- выполняется поиск элементов, относящихся к условному знаку *Дверь внутри капитальной перегородки*;
- выполняется согласование границ условных знаков распознанных стен между собой и другими объектами;
- производится автоматическое распознавание условных знаков *Комната* с учетом уже имеющихся границ условных знаков стен;
- осуществляется автоматическое распознавание условных знаков *Лестница* и построение объектов *Лестничной марш* и *Лестничная площадка*;
- все оставшиеся нераспознанные контура получают выходной классификационный тип *Контур* для их дальнейшей интерактивной идентификации.

Поскольку один и тот же сегмент может одновременно входить в метрику сразу нескольких условных знаков, то решение задачи установления тополого–метрических связей между различными объектами поэтажных планов существенно упрощается и в некоторых случаях решается уже на этапе распознавания.

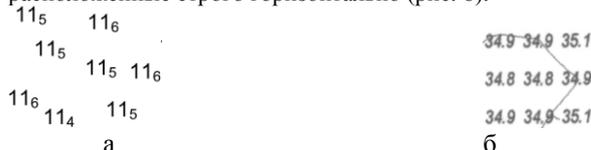
Результаты автоматического распознавания некоторых условных знаков конструктивных элементов поэтажного плана здания приведены на рис. 7.



**Рисунок 7** Результаты автоматического распознавания отдельных условных знаков конструктивных элементов поэтажного плана здания: а) дверных проемов; б) лестниц, лестничных маршей и площадок; в) окон

**Автоматическое распознавание символов на СФГД**

В качестве исходных документов были взяты 24–битные растровые изображения текстов на английском языке, а также планшеты гидрографической съемки, расположенные строго горизонтально (рис. 8).



QWER TYU IOPAS FRE DFGHJKL ZXCVBNM MLPKNJI UHVBGY TFC XDRZS EWQA SIJFSIDFJ PQXMZB APSJDPI PSDIJFSPDF APOJDOPA SAJPSIDJF SDIFJSPDF QAZXSW FGER EDCV FRTG BNHY UJMKIOLP ZXCVBNM ASDFREWQ FHSKD TGHYUJJKIOLP LKJHGFD AS QWEZXC

**Рисунок 8** Примеры исходных изображений: а) планшет гидрографической съемки хорошего качества; б) планшет гидрографической съемки среднего качества; в) отсканированный текст

Особенностью СФГД является то, что, несмотря на отклонение от нормативных требований к изображению объектов, они обладают некоторой стилизованной формой представления. Это означает, что возможно создание набора эталонов объектов, основанных на работе с низкоуровневыми моделями графических изображений, максимально адаптированных для данного класса документов, с учетом сильной зависимости эффективности признаков классификации от искажений входных данных. В дальнейшем, по мере поступления новых документов, этот набор может соответствующим образом дополняться.

Ранее, в практику обработки ГИ были введены моментные характеристики, нашедшие широкое применение во многих задачах обработки цифровых изображений [9].

*Момент* – характеристика контура изображения, объединённая (суммированная) со всеми пикселями контура.

Момент  $m_{p,q}$  для непрерывного изображения  $f(x,y)$  определяется как:  $m_{p,q} = \iint x^p y^q f(x,y) dx dy$ , в случае дискретного растрового изображения:

$m_{p,q} = \sum \sum x^p y^q f(x,y)$ , где p,q – мощность, на которой соответствующий компонент взят в сумме с

другими отображенными. Если функция  $f(x,y)$  рассматривается как бинарное изображение, тогда момент  $m_{00}$  вычисляет площадь чёрных пикселей этого изображения.

Для вычисления характеристик, инвариантных относительно сдвига, необходимо центрировать относительно средних значений  $\bar{x} = \frac{m_{10}}{m_{00}}$ ,  $\bar{y} = \frac{m_{01}}{m_{00}}$  –

центр тяжести фигуры.

Центральный момент определяется как:

$$\mu_{p,q} = \sum \sum (x-\bar{x})^p (y-\bar{y})^q f(x,y).$$

Центральные моменты выражаются через обычные, по формуле:

$$\mu_{p,q} = \sum_{i=0}^p \sum_{j=0}^q C_p^i C_q^j (-\bar{x})^{(p-i)} (-\bar{y})^{(q-j)} m_{ij},$$

$$\text{где } C_n^k = \frac{n!}{k!(n-k)!}.$$

С помощью центральных моментов определяются характеристики, инвариантные к повороту изображения (моментные инварианты). *Моментные инварианты* – это признаки изображения, построенные на основе степенных моментов и описывающие силуэт некоторого объекта, являются инвариантными к аффинным преобразованиям изображения, не зависят от ориентации, угла обзора и других изменений, также они нечувствительны к различным геометрическим преобразованиям (сдвиг, поворот, масштабирование). Это определяет их эффективность при использовании в качестве признаков в задаче обнаружения и распознавания на изображении объектов неизвестной ориентации [9, 10].

Имея набор характеристик, можно определить следующие аффинные преобразования моментных инвариантов, которые инвариантны относительно сдвигов, поворотов, а

также растяжений и сжатий:  $I^1 = \frac{\mu_{20} + \mu_{02}}{m_{00}^2}$ ,

$$I^2 = \frac{(\mu_{20} - \mu_{02})^2 + 4\mu_{11}^2}{m_{00}^4},$$

$$I^3 = \frac{(\mu_{30} - 3\mu_{12})^2 + (3\mu_{21} - \mu_{30})^2}{m_{00}^5},$$

$$I^4 = \frac{(\mu_{30} + \mu_{12})^2 + (\mu_{21} + \mu_{03})^2}{m_{00}^5}, \quad \text{которые}$$

используются в качестве признаков классификации.

*Признаки классификации.* Для каждого объекта будем фиксировать следующие признаки [11 – 13]:

- количество внутренних областей (ВО);
- отношение сторон описанного вокруг символа прямоугольника со сторонами, параллельными осям координат (отношение аспекта);
- отношение площади символа к площади описанного вокруг символа прямоугольника со сторонами, параллельными осям координат (процент заполненности);
- количество РПО. Также для каждого РПО вычислялись:
  - количество штрихов, входящих в РПО;
  - средняя длина штриха;
- значения моментных инвариантов  $I^1 - I^4$ .
- количество особых штрихов: Шн, Шк, Шс, Шр;
- координаты центра тяжести РСО, формирующего символ.

Рассмотренный набор признаков не является окончательным и может быть расширен [11 – 13].

Число внутренних областей достаточно эффективный признак, позволяющий сразу разделить все объекты на 3 группы: у которых: ВО = 0 (К, X, S, 1, 2 и др.), ВО = 1 (R, O, P, 4, 6, 9 и др.) и ВО = 2 (B, 8). Учтем, что «B» – единственный среди символов английского алфавита, а цифра 8 – единственная цифра среди арабских, имеющие ВО=2. Дальнейшее распознавание объекта можно выполнять в пределах этих групп. Отношение аспекта и процент заполненности более устойчивы к различным искажениям распознаваемых данных. Количество РПО, а также их параметры, достаточно устойчиво характеризуют каждый символ. Например, символ «А» состоит из 6 РПО, символ «К» – из 5 РПО.

#### Алгоритм автоматического распознавания символов

На вход алгоритма поступает вектор признаков связанного объекта. На выходе распознанный символ алфавита базы эталонов или пустой символ. В алгоритме введено понятие штрафа – положительная величина, пропорциональная отношению расстояния до ближайшей границы интервала к длине этого интервала. Для признаков, сформированных по штриховому описанию: если значение признака меньше значения нижней границы интервала, то сразу начисляется штраф, больший порогового значения и класс убирается из дальнейшего рассмотрения [11 – 13].

Изначально формируем массив размером по количеству классов. В цикле по номеру признака:

- для каждого класса в соответствующую ему ячейку массива добавляется штраф, если значение признака не входит в допустимый интервал для данного класса;
- если штраф объекту для класса превосходит порог, то класс исключается из дальнейшего рассмотрения;
- если в рассмотрении остался один единственный класс, то соответствующий ему символ возвращается как результат распознавания;
- если были исключены все классы, то в качестве результата работы алгоритма возвращается пустой символ.

Если после завершения цикла осталось несколько классов, штраф которых не превзошел порог, то в качестве результата возвращается символ, соответствующий классу с минимальным штрафом.

Практические эксперименты по распознаванию текста на английском и русском языках обнаружили качество распознавания не ниже 98%, для планшетов гидрографической съемки качество оказалось чуть ниже, порядка 93–95%.

Снижение качества распознавания на данном типе документов объясняется наличием «рассыпанных» объектов–цифр и наложением на объекты–цифры тонких линейных объектов. Интерактивной или автоматической коррекции таких искажений в рамках данного эксперимента не проводилось.

В целом, можно утверждать, что значения моментных инвариантов достаточно устойчивы, при этом, значений  $I^1$  и  $I^2$  достаточно, чтобы выделить среди всех классов группы схожих, а значения  $I^3$  и  $I^4$  необходимы для более тонкой классификации внутри группы. На практике, после использования моментных признаков остаётся 2 – 5 возможных классов, к которым может принадлежать распознаваемый объект. Для окончательного решения об отнесении объекта к определённому классу используются признаки, полученные из штрихового описания. При этом учитывается экспериментально установленный факт, что отдельные признаки, полученные по штриховому описанию, обладают достаточной устойчивостью. Например, у символа «М» никогда не может быть менее трех Шк, двух Шн и Шр, одного Шс и четырех РПО.

Данное утверждение справедливо для любого из распознаваемых нами объектов, при условии, что они представляются связными растровыми объектами. Указанная особенность позволяет еще более повысить временную эффективность процедуры распознавания. Представленные модели, алгоритмы и созданное на их основе СПО, успешно внедрены в технологии и программно-аппаратные комплексы, разрабатываемые в ЦИИИТ ИТММ ННГУ для картографических производств ОАО «Роскартография» и ВТУ МО РФ.

#### Обработка растровых данных ДЗЗ

В последние годы сотрудники ЦИИИТ ИТММ ННГУ принимают активное участие в разработке автоматизированной системы для дешифрирования (распознавания) объектов по растровым данным ДЗЗ, включая новейший и один из перспективных типов таких данных – гиперспектральные изображения (ГСИ ДЗЗ). Одной из основных причин использования ГСИ является максимально полное описание пространственного распределения спектрального состава регистрируемого излучения. В отличие от полутоновых, цветных и мультиспектральных изображений, ГСИ характеризуются более широким спектральным диапазоном, и высоким спектральным разрешением по шкале длин волн 5–10 нм. Гиперспектральный сенсор одновременно формирует изображения на всех участках спектрального диапазона и получает спектры всех пикселей сцены. Для такого сенсора важно не количество измеряемых спектров, а узость и последовательность измерений [14]. Таким образом, ГСИ ДЗЗ обладают достаточно большой информационной емкостью, поэтому актуальна и задача их компрессии без потерь, желательна в режиме реального времени. Представляется очевидным, что использование предложенной иерархической модели РИГД применительно к ГСИ ДЗЗ позволит создавать эффективные в емкостном и временном смыслах алгоритмы их предобработки и распознавания.

#### Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований, гранты РФФИ № 17-07-00543 и № 18-07-00715.

#### Литература

1. Васин Ю.Г., Васин Д.Ю., Громов В.П. Структурное описание растровых данных. //Методы и средства обработки сложной графической информации: 6 Всероссийская конференция с участием стран СНГ, 25–27 сентября 2001г., Н.Новгород, стр. 23–29.
2. Васин Ю.Г., Башкиров О.А., Чудинович Б.М. Комбинаторно-геометрический подход в задачах анализа сложной графической информации. //Автоматизация обработки сложной графической информации: Межвуз. сб. науч. тр. / Под ред. Ю.Г. Васина: Горьк. гос. ун-т. Горький, 1987
3. Васин Ю.Г., Башкиров О.А., Рудометова С.Б. Математические модели структурированного описания графических изображений. //Автоматизация обработки сложной графической информации: Межвуз. сб. науч. тр. / Под ред. Ю.Г. Васина: Горьк. гос. ун-т. Горький, 1984
4. Громов В.П. Формирование нормализованных растров графических документов. //Методы и средства обработки сложной графической информации: 8 Всероссийская научная конференция, 12–16 сентября 2005г., Н.Новгород, стр. 51–54.
5. Горбунов А.А. Громов В.П. Робастная векторизация растровых линейных объектов. //Методы и средства обработки сложной графической информации: 6 Всероссийская конференция с участием стран СНГ, 25–27 сентября 2001г., Н.Новгород, стр. 69–70.

6. Громов В.П. Построение геометрической модели графических документов с выраженной ориентацией линейных объектов. //Методы и средства обработки сложной графической информации: 6 Всероссийская конференция с участием стран СНГ, 25–27 сентября 2001г., Н.Новгород, стр. 70 – 71.
7. Громов В.П., Смирнов А.Ф. Векторизация линейных объектов по штриховой модели бинарного раstra. // Методы и средства обработки сложной графической информации: 8 Всероссийская научная конференция, 12–16 сентября 2005г., Н.Новгород, стр. 55 – 56.
8. Беляева Ю.В., Васин Ю.Г., Васин Д.Ю., Громов В.П. Подсистема создания цифровых баз данных поэтажных планов. //Методы и средства обработки сложной графической информации: 6 Всероссийская конференция с участием стран СНГ, 25–27 сентября 2001г., Н.Новгород, стр. 14 – 16.
9. J. Hull, “Document Image Skew Detection: Survey and Annotated Bibliography,” Document Analysis Systems II, World Scientific, pp. 40–64, 1998.
10. Dan S. Bloomberg, Gary E. Kopec and Lakshmi Dasari. Measuring document image skew and orientation. // Xerox Palo Alto Research Center. – Access mode: <http://www.leptonica.com/papers/skew-measurement.pdf>, free.
11. Васин Д.Ю., Редькин М.А. Автоматическое распознавание символов по структурной модели растровых бинарных изображений. // Труды Международной научной конференции «Ситуационные центры и ИАС4i для мониторинга и безопасности» 21-24 ноября 2016 г, Протвино, Царьград, Московская область, Россия, стр. 44–50.
12. Д.Ю. Васин, Редькин М.А. Распознавание символов на большеформатных растровых изображениях документов со слабо формализованным описанием объектов. // Труды 27-ой Международной конференции GraphiCon 2017, 24-28 сентября 2017 г, ПГНИУ, Пермь, Россия, стр.303 – 308.
13. Yu. G. Vasin, D.Yu. Vasin, V.P. Gromov. Intellectual Information Technology for Symbol Extraction from Ill-structured Graphical Documents // Proceedings of the International Conference on Pattern Recognition and Artificial Intelligence, Montreal, May 13-17, 2018. Published by CENPARMI Centre for Pattern Recognition and Machine Intelligence Concordia University, Montreal, Quebec H3G 1M8, Canada, pp. 724-732.
14. Перспективные информационные технологии дистанционного зондирования Земли: моногр. / под ред. В.А. Сойфера. – Самара: Новая техника, 2015. – 256 с

#### Об авторах

**Васин Дмитрий Юрьевич** – к.т.н., ведущий научный сотрудник Центра информатики и интеллектуальных информационных технологий Института Информационных технологий, математики и механики Нижегородского Госуниверситета им. Н.И. Лобачевского (ИТММ ННГУ им. Н.И. Лобачевского)  
E-mail: dm04@list.ru.

**Громов Владимир Петрович** – ведущий программист Центра информатики и интеллектуальных информационных технологий Института Информационных технологий, математики и механики Нижегородского Госуниверситета им. Н.И. Лобачевского (ИТММ ННГУ им. Н.И. Лобачевского)  
E-mail: gvp1941@bk.ru.

**Ротков Сергей Игоревич** – д.т.н., профессор, зав.  
кафедрой инженерной геометрии, компьютерной графики  
и автоматизированного проектирования ННГАСУ  
E-mail: rotkov@nngasu.ru.