

УДК 621.397:621.396.96

## ОПИСАНИЕ И ВЫДЕЛЕНИЕ ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРЯМОЛИНЕЙНЫХ СЕГМЕНТОВ

**В. Ю. Волков,**

доктор техн. наук, профессор

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций

им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

**Л. С. Турнецкий,**

канд. техн. наук, старший научный сотрудник, доцент

ОАО «НПП «Радар ммс», г. Санкт-Петербург

**А. В. Онешко,**

аспирант

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций

им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Развит новый метод описания объектов на цифровых изображениях, который применим для сравнения различных изображений одной и той же сцены, получаемых от одного или разных источников. Он может найти применение при обработке самолетных и спутниковых изображений, для описания категорий объектов, для автоматического выделения зданий, мостов и других сооружений на изображениях. Метод включает направленную фильтрацию градиентного изображения и выделение прямолинейных сегментов в каждом направлении с учетом знака градиента. Приводятся примеры описания объектов на реальных изображениях.

**Ключевые слова** — распознавание образов, геометрические примитивы, детектор кромки, совмещение изображений, группирование признаков, выделение зданий и дорог.

### Введение

Выделение и распознавание объектов на изображениях представляет одну из центральных проблем компьютерного зрения. Она решается при слежении за объектами, восстановлении, индексации и совмещении различных изображений [1–15]. Ключевым моментом при распознавании объектов является описание различных категорий объектов. Для этого требуется набор надежных и повторяемых признаков параметров (дескрипторов), которые получаются из модели объекта либо из тестовых изображений. Локальные признаки и дескрипторы весьма полезны для компактного представления изображений при их сопоставлении и сравнении.

Различают три уровня дескрипторов. Дескрипторы нижнего уровня могут быть трех типов: основанные на точках изображения, основанные на кромках, или линейные, и основанные на областях [2, 14, 16]. Кромки, соединения линий и углы являются наиболее важными геометрическими признаками для последующего анализа. Такие

признаки называются геометрическими примитивами. Дескрипторы промежуточного, или среднего, уровня получают путем группирования геометрических примитивов с учетом набора ограничений, вытекающих из свойств объектов, интересных с точки зрения восприятия. Дескрипторы верхнего уровня вытекают из сравнительного анализа полученных структур и могут содержать информацию, достаточную для интерпретации, понимания и сравнения рассматриваемого изображения с другим изображением или шаблоном.

Существует два класса методов для выделения признаков. Первые основаны на интенсивности и часто не обеспечивают требуемой надежности воспроизведения. Вторые используют геометрические свойства, что влечет более сложную обработку, однако позволяют сравнивать изображения от различных источников. При сравнении изображений между собой или с эталоном можно выделить три ступени обработки. На первой «детектор признаков» формирует набор точек и областей «интереса». Вторая ступень содержит опи-

сание выделенных областей с помощью векторов параметров (дескрипторов). Сравнение полученных векторов (признаков) осуществляется на третьей ступени с использованием соответствующей метрики: данный признак на изображении ассоциируется с одним или несколькими признаками на других изображениях. В результате идентифицируются объекты с близкими метриками [2, 15–17].

Значительное число факторов негативно влияет на качество идентификации. В большинстве случаев объекты на сравниваемых изображениях наблюдаются на разных расстояниях и под разными ракурсами, что приводит к различиям в масштабах и формах объектов. В этих условиях инвариантность и робастность дескрипторов представляется весьма ценным свойством обеспечения устойчивой идентификации. Вторая проблема заключается в том, что один объект закрывает другой, что приводит к искажениям формы. Фон и зашумленность также являются причинами значительных искажений признаков, основанных на выделении границ и кромок.

### Состояние проблемы выделения и группирования линейных признаков на изображениях

Существует большое количество объектов, отличительными признаками которых являются кромки (перепады интенсивности) и геометрические соотношения между ними. Практически важные задачи включают обнаружение и классификацию искусственных объектов, таких как здания, сооружения, дороги, мосты; оценивание использования земных угодий при обработке земли; выделение рек и водоемов. Прямолинейные сегменты кромок играют большую роль, поскольку почти все контуры локально прямолинейны, а многие искусственные объекты имеют прямолинейные границы [1–12, 18–20].

В настоящее время существуют многочисленные наборы детекторов и дескрипторов, позволяющие решать задачи описания объектов и сравнения изображений. Недостатки детектора Канни, известного алгоритма выделения кромок в комбинации с преобразованием Хафа для получения отрезков прямых линий, обсуждались в работе [10]. Алгоритм Хафа строит прямую линию по изображению в параметрическом пространстве без учета пространственной связи между точками. В результате такие детекторы часто дают фрагментацию не совсем ровных прямолинейных кромок на короткие отрезки, что практически разрушает геометрическую структуру объекта.

Для получения четких прямолинейных отрезков в случае не совсем ровных кромок на изобра-

жении предлагается использовать пространственно ориентированные фильтры с последующим формированием профиля градиента в направлении, обеспечивающем максимум на выходе фильтра [8, 17, 21]. При этом появляется возможность выделять пересечения сегментов и их соединения, чего не позволяет сделать комбинация Канни — Хафа.

Координаты линейных сегментов в совокупности с углами ориентации и величинами выхода фильтра представляют низший уровень описания для объектов [8, 17, 22]. Важным свойством каждого сегмента является наличие пересекающих его других линий, причем эти линии также упорядочены по выходному сигналу фильтра.

В работе [19] предложен другой алгоритм получения прямолинейных сегментов, основанный на выравнивании точек путем объединения пикселей в соответствии с локальными ориентациями вектора градиента и позволяющий контролировать ложные обнаружения кромок. Он не дает фрагментации линий и обладает адаптивными свойствами при выделении кромок различной протяженности. Однако на границах выделяемых отрезков и в точках пересечений сегментов наблюдается большой разброс локальных ориентаций, эти участки не попадают в область поддержки линии и теряются. В результате алгоритм не позволяет выделить точки пересечений прямолинейных сегментов.

Идея использовать прямолинейные кромки и геометрические соотношения между ними обсуждалась в работе [9]. Авторы применяли термин антипараллельность для линий, введенный Неватия и Бабу, и рассматривали антипараллельные пары (APARS). Такие пары имеют противоположные ориентации кромок, поскольку одна из них образована изменением интенсивности от черного к белому, а другая — от белого к черному. Нахождение таких парных линий, расположенных достаточно близко друг к другу, позволяет убрать из рассмотрения лишние сегменты, находящиеся в данной области.

Группирование линейных сегментов в целях описания объектов рассматривалось в работе [22]. Изображение трактовалось как набор объектов и геометрических соотношений между ними. На низшем уровне точки объединяются в линейные сегменты, которые могут формировать узкие полосы, соединения, пересечения и кривые. Группирование линейных сегментов базируется на некоторых геометрических ограничениях, таких как непрерывность, параллельность, симметрия, перекрытие, совпадение и др. Для построения связных структур из большого набора линейных сегментов разработана иерархическая

система комбинирования линий и описания объектов, использующая указанные выше свойства. В результате на следующем уровне получается комбинация связанных линейных сегментов, которая представляет описание для объекта в данной области изображения. Такое описание представляется в виде дерева или графа. Задача сравнения и распознавания объектов сводится, таким образом, к сравнению графов для выбранных объектов.

Авторы работы [11] разработали новую структурную конструкцию, названную кластером согласованных линий. Она предназначена в основном для распознавания зданий и включает проверку ряда соотношений для линейных сегментов. В частности, проверяются перекрытие сегментов и их пересечения. Однако предложенный алгоритм не позволяет решать более общие задачи выделения и распознавания объектов. Не ясно, как следует группировать выделенные сегменты для формирования признаков на верхнем уровне описания.

Поиск связанных пар линий осуществлялся путем сравнения углов [8]. Предложена мера такой связи, включающая взвешенное суммирование признаков. Однако из-за недостаточного количества используемых ограничений метод давал низкую вероятность совпадений признаков. Другой набор ограничений на линейные сегменты рассмотрен в работе [15]. Связывание линейных сегментов одинаковой длины рассматривается как оригинальный метод группирования и получения структур [20]. Группирование смежных сегментов [12, 23] позволяет получать структуры с заданной сложностью, определяемой количеством связанных сегментов.

Другие подходы группирования основаны на активных контурах, змеях, деревьях и графах [6, 12, 24, 25]. Смежные области для данного исследования включают выделение значимых кривых на изображениях [18], формирование инвариантных к масштабу дескрипторов [1, 16], обнаружение объектов, состоящих из отдельных частей [26, 27], выделение текстурных признаков для локальных областей и векторное представление формы объектов [2, 16].

### Постановка задачи и метод решения

Целью исследования является разработка нового метода группирования прямолинейных сегментов для описания и выделения объектов искусственного происхождения на изображениях. Метод предназначен для получения структур промежуточного уровня описания объектов. Далее полученные структуры и геометрические соотношения между ними могут анализироваться

для трактовки и сравнения изображений на верхнем уровне описания.

Лучшее выделение линейных сегментов, достигнутое путем ориентированной фильтрации [17, 21, 28], дало возможность определять по ним точки пересечения и углы между сегментами. Это позволило усовершенствовать известные алгоритмы группирования [8, 22] добавлением новых признаков, основанных на пересечениях сегментов.

На низшем уровне описания линейные сегменты упорядочены по выходному сигналу ориентированного фильтра, но не имеют связей между собой. На промежуточном уровне каждая пара линий объединяется в систему, если линии пересекаются. Возможны различные варианты группирования для получения простейших структур, некоторые из которых будут представлены далее. Варианты различаются числом учитываемых линий, которые пересекают данную линию, и числом линий, пересекающих эти второстепенные учитываемые линии. При этом объекты на изображении получают различное описание.

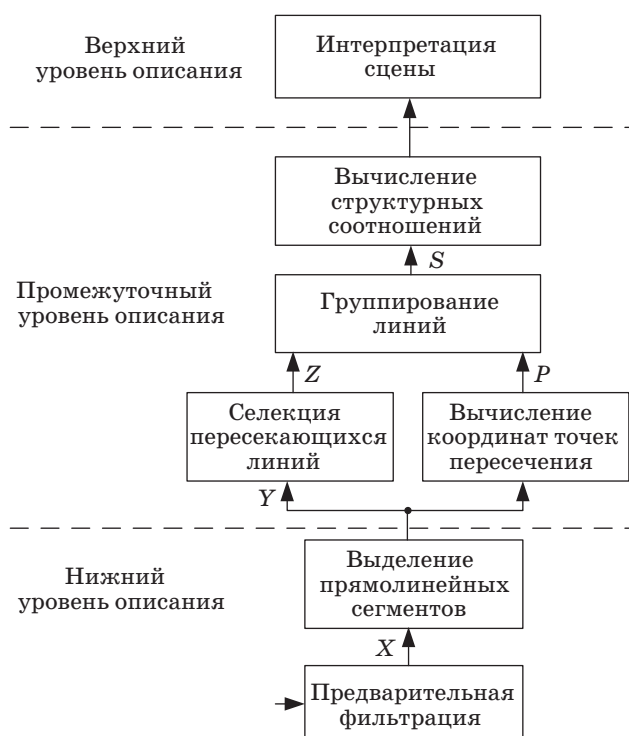
Простейшие структуры, основанные на анализе пересечений, могут содержать большое количество лишних сегментов, которые должны быть удалены после проверки ряда геометрических ограничений, таких как антипараллельность, смежность и достаточная близость отрезков.

Выделенные конструкции из трех линий уже могут представлять треугольники, т. е. самостоятельные замкнутые структуры. В ряде случаев данный метод приводит к замыканию структур, состоящих из четырех линий, что дает прямоугольники, параллелограммы и трапеции на изображении.

Задачей исследования является разработка способов группирования прямолинейных сегментов и анализ свойств получающихся структур для описания реальных объектов. Группируются сегменты, имеющие точки пересечения или примыкания. При этом важно практическое применение указанного метода к описанию объектов на реальных самолетных и спутниковых изображениях, получаемых на выходе радара с синтезированной апертурой, лидарной системы, инфракрасной и телевизионной систем наблюдения.

### Описание структуры процедуры обработки изображений

Структура процедуры обработки цифровых изображений, включающая описание и выделение объектов, представлена на рис. 1. Предвари-



■ Рис. 1. Структура обработки изображений

тельная фильтрация и выделение прямолинейных сегментов представляют нижний уровень описания изображения. Алгоритм выделения сегментов в деталях описан в работах [10, 21, 28]. Вместе с координатами  $Y$  конечных точек каждого сегмента определяется его угол ориентации и максимальное выходное значение ориентированного фильтра. Все прямолинейные сегменты оказываются упорядоченными в соответствии с этим значением.

Основной операцией на промежуточном уровне описания является селекция отрезков, пересекающих выбранный сегмент. Каждую линию могут пересекать несколько отрезков, и финальная таблица  $Z$  в строке для этой линии содержит номера пересекающих ее сегментов. Углы и примыкания также включаются в эту таблицу. Алгоритм позволяет получить до 17 упорядоченных номеров линий, пересекающих или примыкающих к данной линии. Координаты точек пересечения  $P$  также вычисляются и используются при вычислении параметров получаемых структур.

Группирование сегментов позволяет получить простые структуры, содержащие выбранную линию, некоторое число пересекающих ее отрезков и определенное число линий, пересекающих последние. Для исключения из рассмотрения «лишних» линий применяется проверка условий антипараллельности, смежности и близости. Наи-

больший интерес среди результирующих структур  $S$  представляют замкнутые структуры, не содержащие других отрезков внутри структуры. Для таких структур нетрудно вычислить параметры локализации, эквивалентный прямоугольник или эллипс, эксцентриситет и другие внутренние параметры. Эти параметры и соответствующие структуры представляют промежуточный уровень описания изображения.

Верхний уровень описания достигается после вычисления относительных геометрических соотношений для выбранной совокупности структур промежуточного уровня. Эти соотношения должны обеспечивать инвариантность относительно масштаба, сдвига и поворота изображений. Результаты используются для интерпретации сцены и сравнения изображений.

### Алгоритмы группирования прямолинейных сегментов

Рассмотрим задачу конструирования структур на базе выделенных упорядоченных прямолинейных сегментов. Один из простых способов иерархического группирования уже был рассмотрен [17]. Две линии считаются связанными в структуру, если они имеют точку пересечения или примыкания. Третья линия добавляется в структуру, если она пересекает хотя бы одну из первых двух. На этом уровне появляются простейшие замкнутые структуры в виде треугольников, которые являются областями интереса. На следующем уровне рассматриваются замкнутые структуры из четырех линий, причем каждая пара почти параллельных линий должна обладать свойством антипараллельности. Процесс добавления сегментов в структуру и анализ полученных более сложных структур может быть продолжен.

Другой способ группирования на основе пересечений предложен в работе [28]. Линейные сегменты представляют первый иерархический уровень. На втором уровне каждая данная линия объединяется с определенным числом других линий, которые ее пересекают. На следующем уровне объединяются структуры второго уровня, имеющие общие линии, причем можно учитывать заданное число общих линий. В результате получают замкнутые конфигурации для объектов, форма которых близка к прямоугольной. Дальнейшая обработка включает проверку условий антипараллельности для соответствующих главных отрезков в целях исключения линий, не обладающих этим свойством. Этап удаления отрезков, имеющих только одну точку пересечения, также позволяет очистить выделяемую структуру от лишних линий. Оценивание центров распо-

ложения и ориентации выделенных структур четвертого уровня позволяет получить координаты и дескрипторы для упорядоченных областей интереса для выделяемых объектов прямоугольной формы. Эти параметры в дальнейшем используются для расчета геометрических соотношений, которые в свою очередь позволяют решать задачи распознавания объектов и сравнения изображений.

Для достижения наилучших результатов при выделении и распознавании объектов следует иметь широкий выбор различных алгоритмов группирования и способ сравнения их эффективности для выбора конструктивного решения. Задача сравнения различных алгоритмов выделения и распознавания объектов на данный момент не имеет однозначного решения, поскольку качество работы алгоритма существенно зависит от характера самого изображения и вида объектов. Поэтому основным средством сравнения является качественное экспериментальное исследование алгоритма на изображениях различных типов.

Здесь рассмотрен вариант группирования прямолинейных сегментов, развивающий и дополняющий предыдущие варианты и обеспечивающий, на наш взгляд, более удачную селекцию сегментов для описания объектов и лучшее разделение структур по сравнению с предыдущими алгоритмами. Количественный анализ сравнительных характеристик еще предстоит сделать.

После формирования упорядоченного набора прямолинейных сегментов из них формируются простейшие структуры  $C_k = \{L_k, L_m, L_n, L_p, \dots\}$ , включающие для каждой данной линии  $L_k$  определенное число первых пересекающих ее отрезков. Если брать одну пересекающую прямую, то получаются простые структуры  $X$ - и  $L$ -типов. Учитывая две линии, пересекающие данную линию, получаем замкнутые треугольники и структуры  $H$ -,  $Z$ -,  $K$ - и  $\Pi$ -типов. Некоторые пары сегментов могут обладать свойством антипараллельности и удовлетворять условиям смежности и близости, т. е. являться близкими соседями, находящимися на малом расстоянии друг от друга по сравнению с длиной каждого из отрезков. Они также должны иметь малый сдвиг друг относительно друга (это означает, что проекция одного из почти параллельных отрезков на направление другого занимает существенную часть этого второго отрезка). Применение этих ограничений позволяет провести существенную селекцию простых структур перед их объединением в более сложную структуру.

Сложная структура  $S_k = \{C_k, C_m, C_n, C_p, \dots\}$  представляет совокупность простых структур

для данной линии и для пересекающих ее линий с учетом упомянутых ограничений. Некоторые из простых структур исключаются из набора, если входящий в них сегмент  $L_m$  имеет слишком малое значение выхода ориентированного фильтра  $M_m$  по сравнению со значением  $M_k$  для главного отрезка  $L_k$ . Результирующая сложная структура представляет сжатое описание соответствующего объекта (или области интереса) наряду с параметрами всех входящих в структуру прямолинейных сегментов.

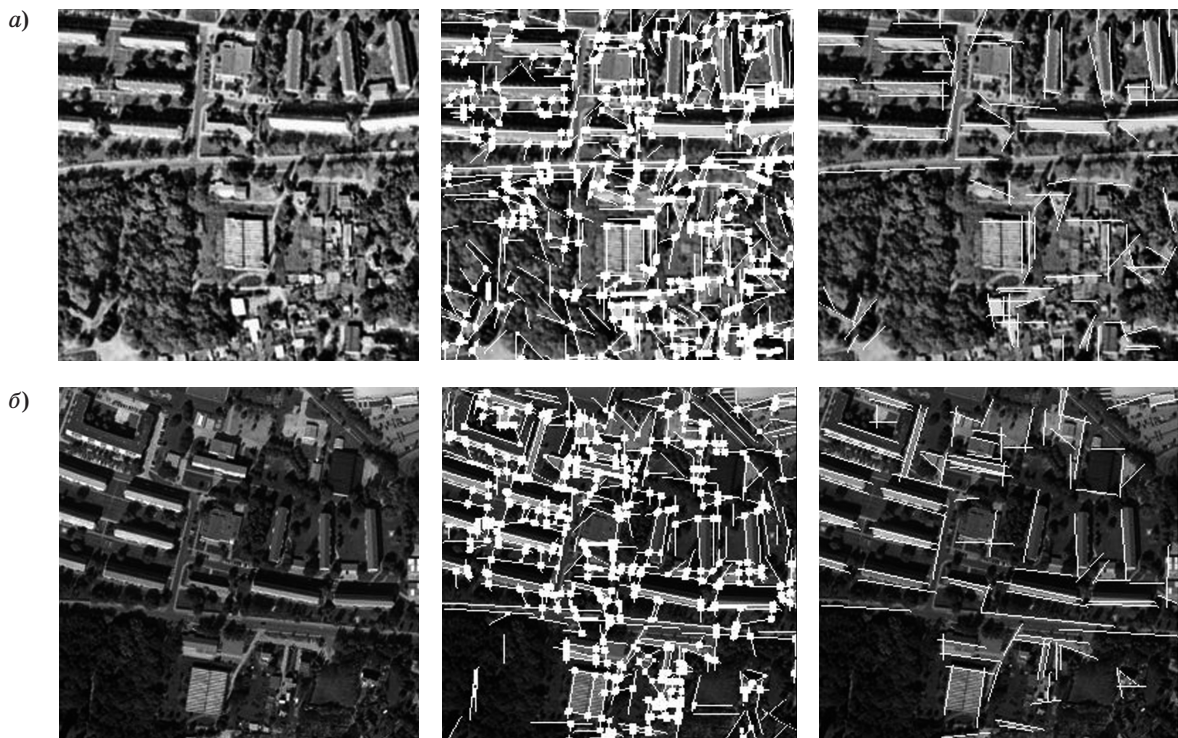
Среди получаемых таким образом сложных структур первоочередной интерес представляют замкнутые структуры в виде параллелограммов и многоугольников. Метод может быть развит применительно к группированию не только прямолинейных сегментов, но и отрезков кривых с учетом соответствующих ограничений и с использованием идей из работы [22].

### Практическое применение метода описания и выделения объектов к реальным изображениям

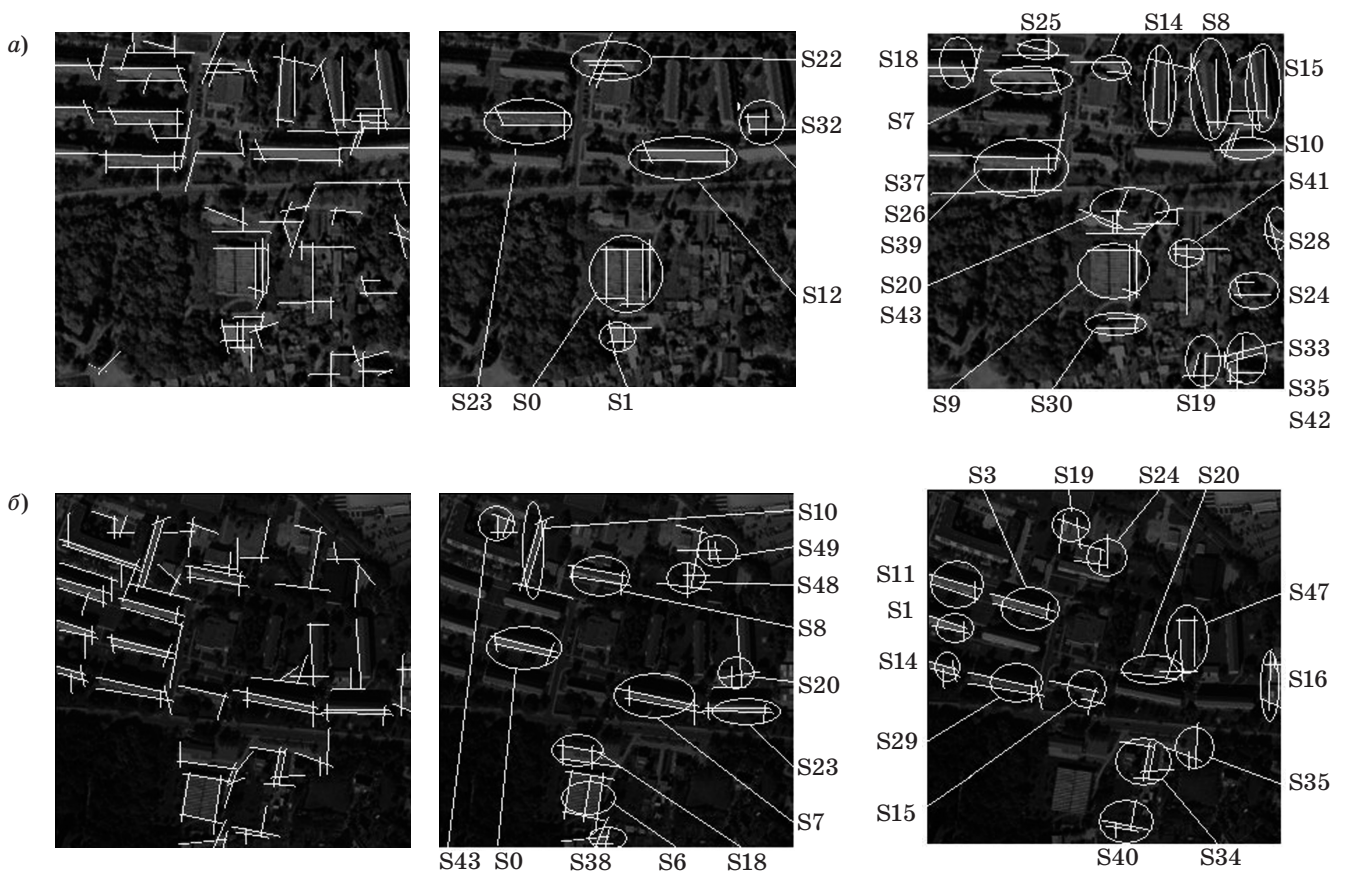
Оригинальные изображения для одной сцены, полученные от разных систем наблюдения, показаны на рис. 2. Изображение в верхней части рис. 2, *а* представляет снимок местности со спутника, а сверху рис. 2, *б* — с самолета. Выделение прямолинейных сегментов позволяет локализовать кромки и получить отчетливые точки пересечения, показанные справа от исходных снимков. В крайних правых частях обоих рисунков изображены первые 100 прямолинейных сегментов для каждого из изображений. Дальнейшее формирование структур осуществлялось в соответствии с уже изложенными принципами. Результаты группирования показаны на рис. 3, *а, б* соответственно.

При формировании простых структур учитывались только две первые точки пересечения для каждого данного сегмента, поэтому каждая простая структура  $C_k = \{L_k, L_m, L_n\}$  содержит до двух отрезков, пересекающих данный сегмент. Первые 50 простых структур для обоих изображений показаны в левой части рис. 3.

Вместе с главной структурой  $C_k$  принимались во внимание все простые структуры  $C_i = \{L_i, L_j, L_p\}$ ,  $i = m, n, \dots$  для всех пересекающих главный сегмент отрезков. На следующем шаге простые структуры объединялись с учетом принятых ограничений. Свойства антипараллельности, смежности и близости анализировались, и производилась соответствующая селекция в целях удаления «лишних» структур. Сложная структура  $S_k$  могла включать исходную простую структуру  $C_k$ , а могла и не включать ее, что привело к соответ-



■ Рис. 2. Выделение прямолинейных сегментов на спутниковом (а) и самолетном (б) изображении



■ Рис. 3. Первые 50 простых структур на спутниковом (а) и самолетном (б) изображении после группирования прямолинейных сегментов и результирующие сложные структуры с учетом принятых ограничений

ствующему разделению полученных сложных структур. Изображения в средней части рис. 3 содержат только результирующие замкнутые структуры, которые представляют первостепенный интерес. Спутниковое изображение содержит шесть, а самолетное — 12 замкнутых структур. Пять найденных структур на первом изображении ( $S_0, S_1, S_{12}, S_{23}, S_{32}$ ) соотносятся с теми же объектами, которые выделены на втором изображении ( $S_6, S_{38}, S_7, S_0, S_{20}$ ). Другие (незамкнутые) структуры показаны в правой части рис. 3. Девять структур снова соотносятся с одними и теми же объектами, так что 14 объектов данной сцены оказываются корректно выделенными на обоих изображениях.

Дальнейшее сравнение изображений требует установления геометрических отношений уже между выделенными структурами. Требуется решить, по крайней мере, еще две важные задачи. Первая — локализация выделенных структур, т. е. нахождение координат их центров, определение размеров и ориентации. Вторая — вычисление геометрических соотношений, которые были бы инвариантны к изменениям масштаба, сдвига и ориентации всего изображения.

## Литература

1. Shao J., Mohr R., Fraser C. Multi-image matching using segment features // Int. Arch. of Photogrammetry and Remote Sensing. Amsterdam. 2000. Vol. XXXIII. Pt. B3. P. 837–844.
2. Mikolajczyk K., Zisserman A., Schmid C. Shape recognition with edge-based features: Proc. Brit. Mach. Vision Conf., Norwich UK, Sept. 9–11, 2003. P. 779–788.
3. Sohn G., Dowman I. J. Extraction of buildings from high resolution satellite data // Autom. Extract. of Man-Made Objects from Aerial and Space Images (III). The Netherlands: Sweets&Zeitlinger, 2001. P. 345–355.
4. Lavigne D. A. et al. Automatic building detection and 3D shape recovery from single monocular electro-optic imagery // SPIE Defence&Security Symp., Florida, USA, 6567-38, 2007.
5. Tretyak E., Barinova O., Kohli P., Lempitsky V. Geometric image parsing in man-made environment // Comp. Vision. 2011. Vol. 67. P. 1–17.
6. Theng L. B. Automatic building extraction from satellite imagery // Engineering Letters. Nov. 2006. 13:3. P. 1–5.
7. Jin X., Davis C. H. Automated building extraction from high-resolution satellite imagery in urban areas using structural, contextual, and spectral information // EURASIP J. on Applied Signal Processing. 2005. Vol. 14. P. 2196–2206.
8. Fu Z., Sun Z. An algorithm of straight line features matching on aerial imagery // Int. Arch. Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Inf. Sciences, Beijing, 2008. Vol. XXXVII. Pt. B3b. P. 97–102.
9. Medioni G., Nevatia R. Matching images using linear features // IEEE Trans. 1984. Vol. PAMI-6. P. 675–685.
10. Volkov V., Germer R. Straight edge segments localization on noisy images: Proc. of the IPCV'10. Las Vegas, Nevada, USA, 2010. Vol. II. P. 512–518.
11. Kim S. K., Ranganah H. S. Efficient algorithms to extract geometric features of edge images: Proc. IPCV'10. Las Vegas, Nevada, USA, 2010. Vol. II. P. 519–525.
12. Bernstein E. J., Amit Y. Part-Based Statistical Models for Object Classification and Detection: Proc. CVPR. 2005. P. 1–7.
13. Ferrari V., Fevrier L., Schmid C. Groups of Adjacent Contour Segments for Object Detection // IEEE Trans. 2008. Vol. PAMI-30. N 1. P. 36–51.
14. Mikolajczyk K., Schmid C. A Performance Evaluation of Local Descriptors // IEEE Trans. 2005. Vol. PAMI-27. N 10. P. 1615–1630.
15. Tuytelaars T., Mikolajczyk K. Local Invariant Feature Detectors: A Survey // Computer Graphics and Vision. 2007. Vol. 3. N 3. P. 177–280.

## Заключение

Рассмотрена проблема конструирования признаков для описания и выделения объектов на изображениях различной природы. Предложен новый метод построения геометрических структур на основе выделенных упорядоченных прямолинейных сегментов, соответствующих краям изображений.

Метод использует пересечения и примыкания сегментов и включает группирование отрезков для получения простых структур. Далее эти структуры селективируются с учетом введенных ограничений антипараллельности отрезков, смежности и близости, а также средней интенсивности на выходе соответствующего ориентированного фильтра. Получение сложных структур связано с объединением простых, содержащих хотя бы одну одинаковую линию, и окончательным разделением структур по их свойствам, в частности, отбором замкнутых структур.

Применение данного метода к обработке реальных изображений показало эффективность использования группирования прямолинейных сегментов для устойчивого описания и выделения искусственных объектов на изображениях.

16. Volkov V., Germer R., Oneshko A., Oralov D. Object description and extraction by the use of straight line segments in digital images: Proc. of the IPCV'11. Las Vegas, Nevada, USA, 2011. Vol. II. P. 588–594.
17. Horaud R., Veillon F., Skordas T. Finding geometric and relational structures in an image // First European Conf. Computer Vision, France, Apr. 23–27, 1990. P. 374–384.
18. Li Yi, Shapiro L. G. Consistent Line Clusters for Building Recognition in CBIR: Proc. IPCR. 2002. P. 1–5.
19. Kadir T., Brady M. Saliency, Scale and Image Description // Intern. J. of Computer Vision. 2001. N 45(2). P. 83–105.
20. Moreels P., Perona P. Evaluation of features detectors and descriptors based on 3D Objects // J. of Computer Vision. July 2007. Vol. 73. N 3. P. 263–284.
21. Волков В. Ю., Турнецкий Л. С., Онешко А. В. Выделение прямолинейных кромок на зашумленных изображениях // Информационно-управляющие системы. 2011. № 4(53). С. 13–17.
22. Bergevin R., Bernier J.-F. Detection of unexpected multi-part objects from segmented contour maps // Pattern Recognition. Nov. 2009. Vol. 42. Iss. 11. P. 2403–2420.
23. Zhao Y., Chen Y. Q. Connected Equi-Length Line Segments for Curve and Structure Matching // J. Pattern Rec. and Artificial Intel. 2004. Vol. 18. P. 1019–1037.
24. Ettarid M., Rouchdi M., Labouab L. Automatic extraction of buildings from high resolution satellite images: Proc. ISPRS 2008. Vol. XXXVII, VIII. P. 61–65.
25. Von Gioi R. Grompone, Jakubovich J., Morel J.-M., Randall G. LSD: A Line Segment Detector // IEEE Trans. 2010. Vol. PAMI-32. N 4. P. 722–732.
26. Cao F., Muse P., Sur F. Extracting Meaningful Curves from Images // J. of Mathematical Imaging and Vision. 2005. Vol. 22. P. 159–181.
27. Srinivasan P., Wang L., Shi J. Grouping Contours via a Related Image // IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2010. P. 17–36.
28. Волков В. Ю., Анцев Г. В., Турнецкий Л. С., Бойкова Е. Б. Метод описания и выделения объектов с использованием прямолинейных сегментов на цифровых изображениях // Цифровая обработка сигналов и ее применение: тр. 14-й Междунар. конф. М., 2011. С. 319–322.

### УВАЖАЕМЫЕ АВТОРЫ!

Национальная электронная библиотека (НЭБ) продолжает работу по реализации проекта SCIENCE INDEX. После того как Вы регистрируетесь на сайте НЭБ (<http://elibrary.ru/defaultx.asp>), будет создана Ваша личная страничка, содержание которой составят не только Ваши персональные данные, но и перечень всех Ваших печатных трудов, имеющих в базе данных НЭБ, включая диссертации, патенты и тезисы к конференциям, а также сравнительные индексы цитирования: РИНЦ (Российский индекс научного цитирования), h (индекс Хирша) от Web of Science и h от Scopus. После создания базового варианта Вашей персональной страницы Вы получите код доступа, который позволит Вам редактировать информацию, в том числе добавлять публикации, которых нет в базе данных НЭБ, помогая создавать максимально объективную картину Вашей научной активности и цитирования Ваших трудов.