

ВЫДЕЛЕНИЕ ЗДАНИЙ ПО МАТЕРИАЛАМ АЭРО- И ВЫСОКОТОЧНОЙ КОСМОСЪЕМКИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОБНОВЛЕНИЯ ПЛАНОВ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ

С.Н. Капустин

Развитие компьютерной техники позволило автоматизировать большую часть обработки географической информации. В связи с этим появились новые задачи в области создания инструментария для этих целей, в том числе автоматизации обработки данных дистанционного зондирования. Одной из важнейших является задача выделения зданий и сооружений на аэро- или космоснимках застроенных территорий, решение которой позволяет построить планы и карты таких территорий. Подобная информация необходима для многочисленных муниципальных служб, занимающихся планировкой и застройкой населенных мест. Следует отметить высокую актуальность данной проблемы. Сейчас вся обработка снимков, как правило, ведется вручную. Данное обстоятельство существенно снижает скорость такой обработки, что, в свою очередь, не дает возможности постоянно поддерживать в актуальном состоянии информацию о территории.

Автором данной работы реализован алгоритм распознавания зданий по снимкам, развивающий подход, впервые предложенный в [1]. Программная реализация алгоритма использует системы ERDAS Imagine [2], AutoVEC, AutoCAD, применяемые для предварительной обработки снимков.



Рис. 1. Исходный снимок.

Для выделения границ используется программный комплекс ERDAS Imagine. Исходный снимок сканируется и импортируется в пакет ERDAS. Пример подобного снимка приведен на рис. 1. Далее работа ведется с растровым изображением, представленным в виде файла с расширением IMG.

Следует заметить, что под границами в данном случае понимается область изменения яркости пикселей, связанная с переходом от одной группы пикселей к другой. В пакете ERDAS группа может состоять из одного и более пикселей. Результатом данного этапа является растровое изображение, на котором изображены границы областей. Это наглядно показано на рис. 2.

За этапом выделения границ следует этап их обработки. С помощью гис-

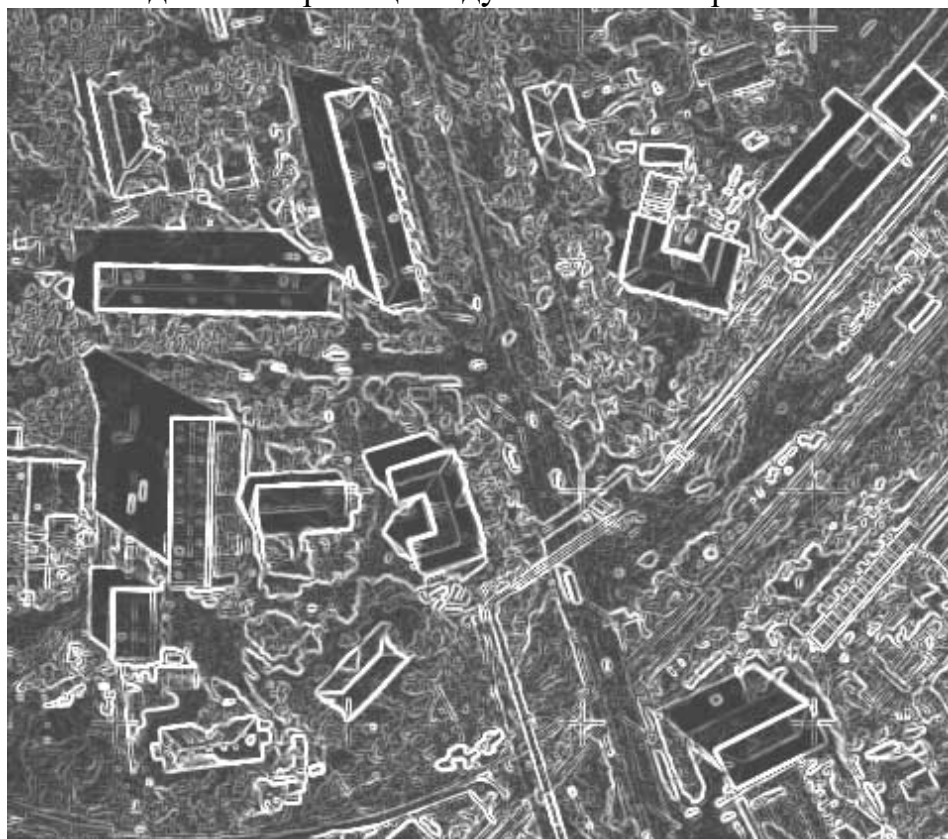


Рис. 2. Выделение границ.

тограммной обработки выделяются границы, соответствующие переходу от группы пикселей с высоким значением яркости к пикселям со значительно меньшей яркостью. Данные границы представляют собой границы предполагаемых зданий. Аналогично выделяются граничные переходы между темными и другими областями. Следует заметить, что границы объектов будут состоять из пикселей высокой яркости, то есть близкой к максимальной, а границы теней будут состоять из пикселей низкой яркости, близкой к минимальной. На этом этапе выравнивается яркость границ объектов и границ теней и отсекаются границы, соответствующие переходам от одной группы пикселей к другой, значения яркости между которыми меняется незначительно.



Рис. 3. Гистограммная обработка.

Результатом данного этапа является растровое изображение, на котором границы теней и границы объектов представлены пикселями, яркость которых близка к максимальной. Все остальные границы представлены пикселями, яркость которых близка к минимальной. Пример файла границ после гистограммной обработки показан на рис. 3.

На следующем этапе осуществляется аппроксимация границ объектов и теней, полученных на предыдущих этапах. Аппроксимация ведется с помощью отрезков прямых. Для этих целей используется программный модуль AutoVEC, работающий в качестве внешнего приложения в среде AutoCAD. С помощью меню среды AutoCAD загружается графический файл в формате PCX. После обработки выходной файл записывается в формате DXF. После этого файл в формате DXF служит одним из файлов для последующей обработки. Пример аппроксимации линиями показан на рис. 4.

Далее из отрезков получаются векторы, которые характеризуются своей начальной и конечной точками. Точка в данном случае состоит из двух координат: координата X и координата Y . Направление векторам задается в виде указания его начальной и конечной точек. Векторы направляются из условия, что область справа должна быть светлее, чем область слева. Осуществляется сканирование областей, прилежащих к вектору справа и слева. В данном случае берется средняя точка отрезка и относительно ее справа и слева от вектора накла-

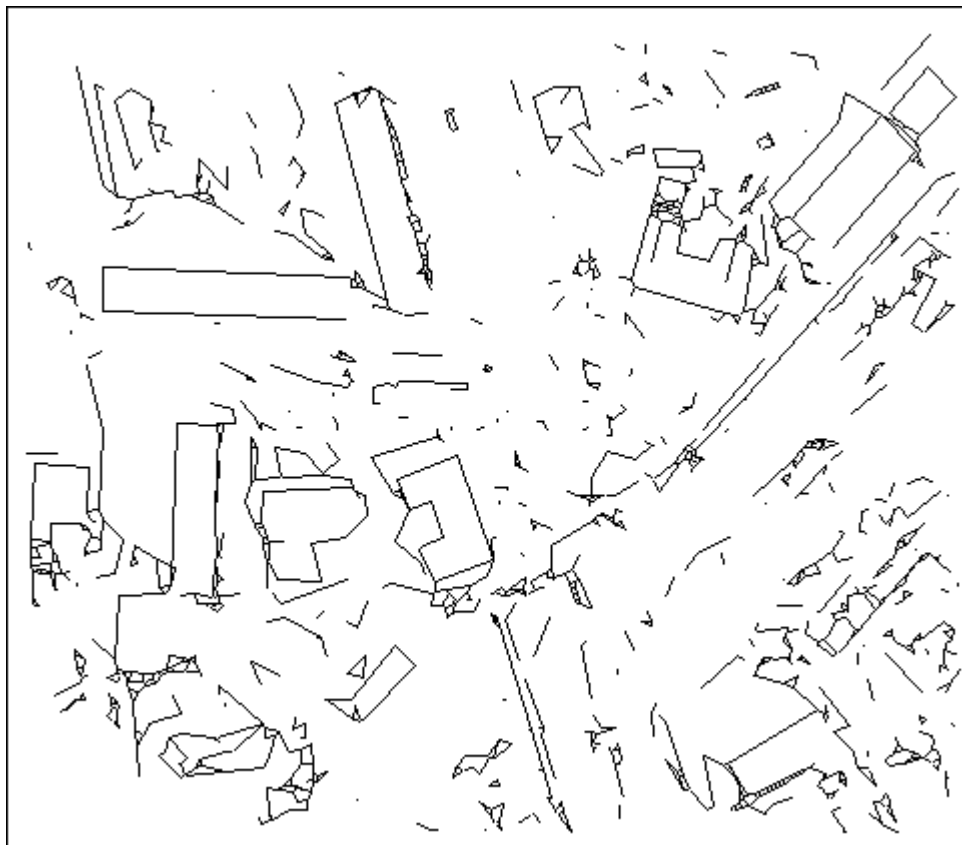


Рис. 4. Аппроксимация линиями.

дывается квадрат, размеры которого можно задавать, и считается средняя яркость пикселей, попавших в данный квадрат. Изначально размеры квадрата установлены 5×5 . Также на этом этапе векторы помечаются в зависимости от наличия или отсутствия прилегающей области, средняя яркость которой не превышает заданного порога для тени. Векторы, удовлетворяющие данному критерию, помечаются как имеющие тень, остальные – как не имеющие тени. Данное разбиение векторов необходимо на этапе интерпретации углов.

В итоге после данного этапа каждый отрезок представляется в виде вектора, для которого хранится информация о его длине, начальной и конечной точках, наличия или отсутствия прилегающей теневой области. Пример направленных отрезков показан на рис. 5.

Под детекцией углов понимается отыскание пар отрезков, угол между которыми почти равен 90° . Для данного метода, чтобы пара отрезков образовывала угол, необходимо выполнение следующих условий:

1. Отрезки, составляющие угол, должны иметь длину минимум 5 пикселей.
2. Точка, в которой пересекаются или могут пересекаться отрезки, должна лежать внутри квадрата 5×5 , как показано на рис. 6б.

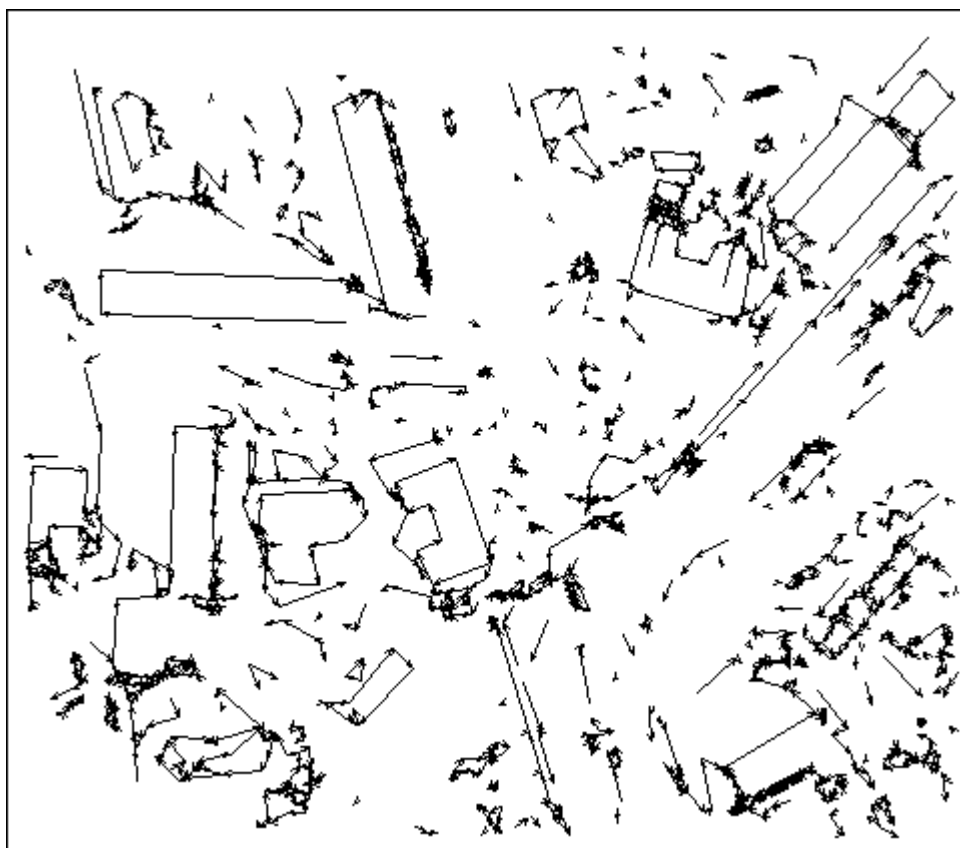


Рис. 5. Направленные отрезки.

3. Градусная мера угла должна быть $90^\circ \pm \varepsilon$, где ε – функция от длин отрезков. Для отрезков равной длины $\varepsilon = 5^\circ$. Максимальное значение $\varepsilon = 35^\circ$.

Возможные варианты смежности векторов для образования угла показаны на рис. 6.

Для отыскания углов просматриваются все векторы. Для каждого вектора просматриваются другие векторы и, если найден вектор, примыкающий к данному сегменту как показано на рис. 6а, и его градусная мера удовлетворяет условию 3, то в список углов заносится угол, образуемый данными векторами. В противном случае производится поиск удовлетворяющего вектора по спирали в квадрате размером 5×5 пикселей, как показано на рис. 7. На рис. 8 показаны найденные углы.

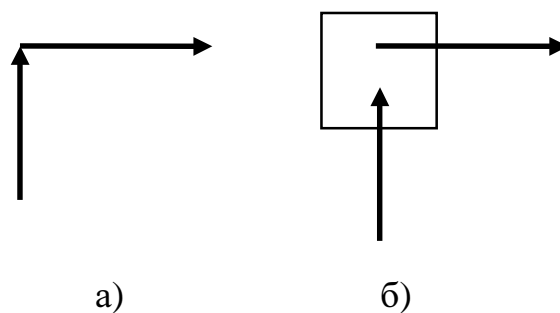


Рис. 6. Возможные варианты углов.

На этапе интерпретации углов используется информация о средней яркости тени для начальной интерпретации углов. Данная информация берется из гистограммы контрастности или задается пользователем. Углы делятся на четыре группы:

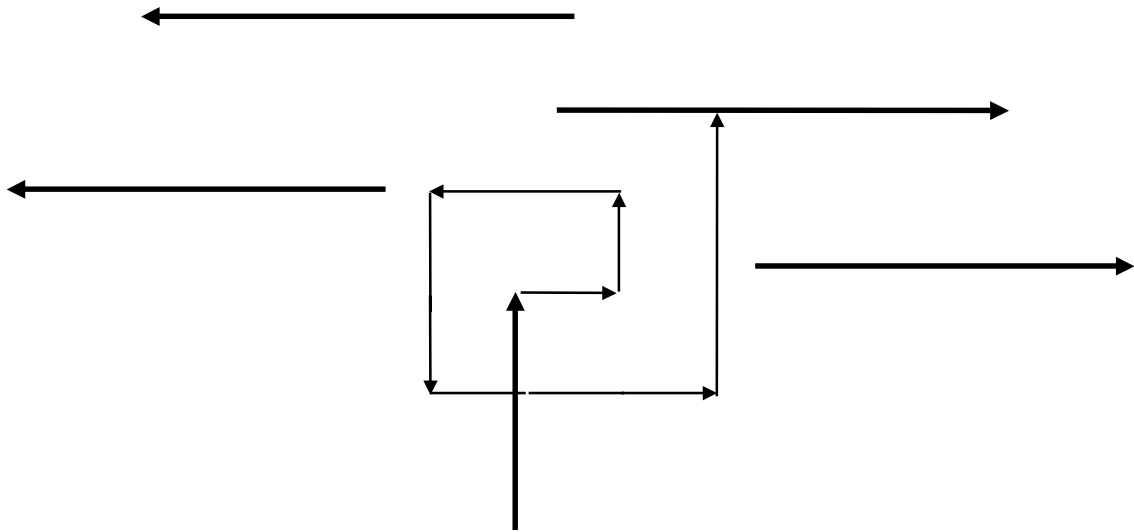


Рис. 7. Поиск угла по спирали.

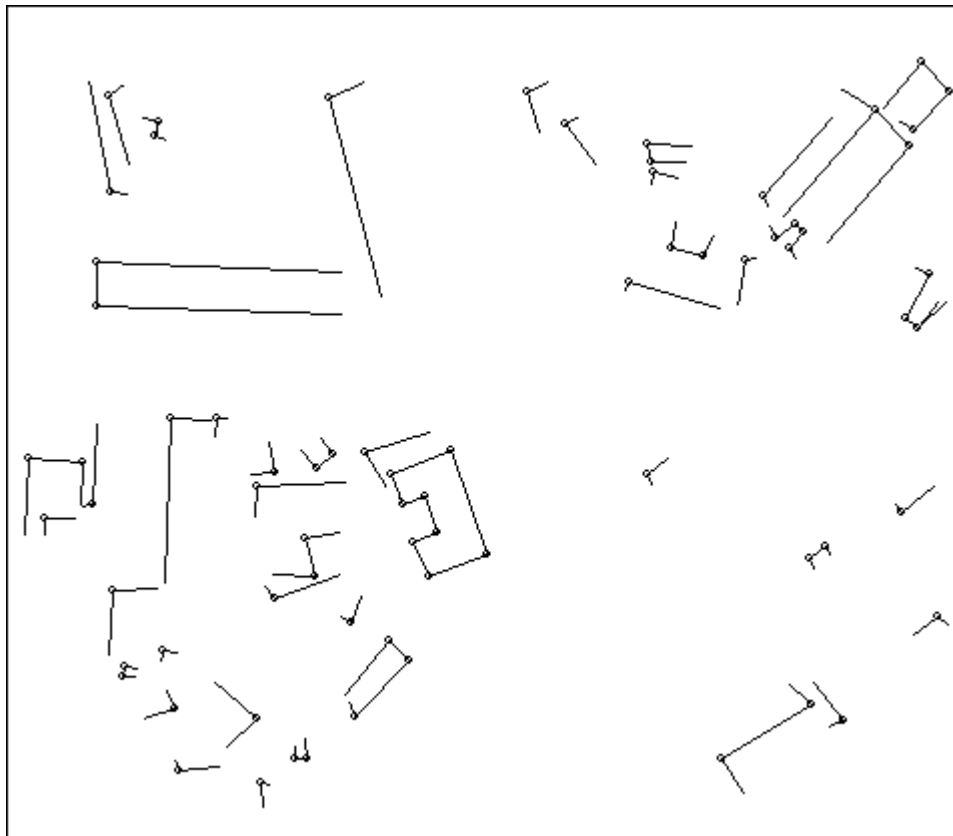


Рис. 8. Найденные углы.

1. Светлые углы, принадлежащие объекту.
2. Темные углы, принадлежащие объекту.
3. Светлые углы, принадлежащие тени.
4. Темные углы, принадлежащие тени.

Данное деление производится на основании следующих данных:

1. Вектора направления освещения.
2. Наличия или отсутствия теневой области, прилежащей к первому вектору, образующему угол.
3. Наличия или отсутствия теневой области, прилежащей ко второму вектору, образующему угол.
4. Градусной меры угла, образованного биссектрисой данного угла и вектором направления освещения.

На рис. 9 показаны все возможные комбинации вариантов интерпретации углов. Направление вектора освещения указано толстой стрелкой вверху рисунка и применимо ко всем углам, изображенным на нем.

Направление вектора говорит о том, что область справа светлее, чем область слева от вектора. Заштрихованная часть показывает наличие слева региона, средняя яркость которого не превышает порога, установленного для тени. Градусная мера углов показывает угол между вектором освещения и биссектрисой угла.

Не все углы, отнесенные в группу углов объекта, имеют прилежащий теневой регион. На том этапе определяются углы, связанные относительно тени. Углы, удовлетворяющие следующим критериям, называются связанными относительно тени:

1. Два угла должны быть различной яркости.
2. Светлый (темный) угол, принадлежащий объекту, должен быть ближе к источнику освещения, чем темный (светлый) угол, принадлежащий тени.
3. Биссектрисы углов должны быть коллинеарны и угол между ними не должен превышать 20° .
4. Если для одного угла объекта более одного угла тени удовлетворяют условиям 1-3, то выбирается угол, находящийся ближе к рассматриваемому.

Если соответствующие относительно тени углы найдены, то расстояние между ними фиксируется для оценки высоты здания при известном угле Солнца над горизонтом.

Два угла называются сильно связанными, если они находятся на одном отрезке. В большинстве случаев такие два угла могут принадлежать одному объекту или тени. Транзитивность данного отношения позволит в дальнейшем связать углы в замкнутые границы, где это будет возможно.

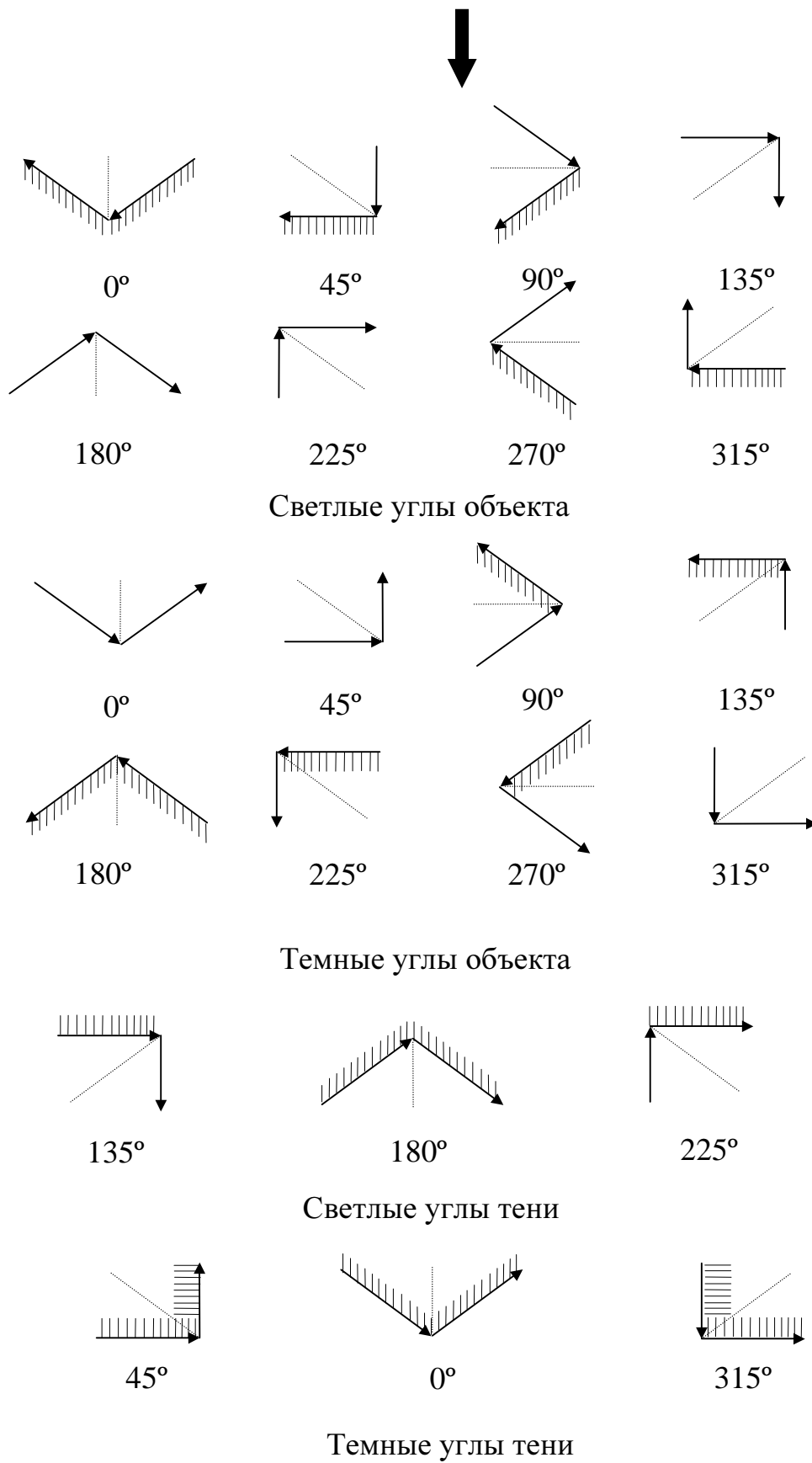


Рис. 9. Варианты интерпретации углов.

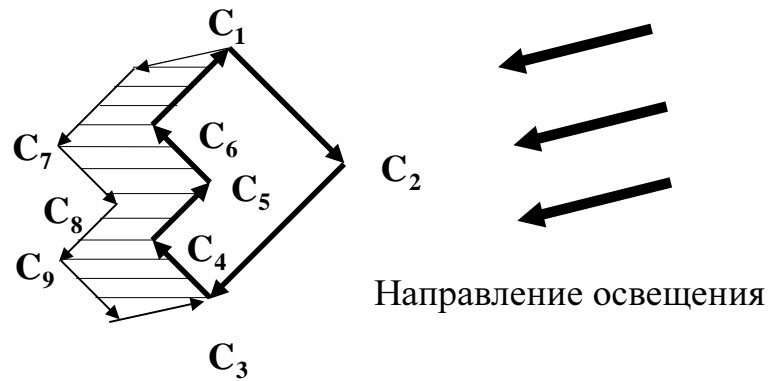


Рис. 10. Иллюстрация определений.

Два угла называются слабо связанными, если их биссектрисы параллельны или перпендикулярны и углы находятся на расстоянии не больше максимального (в данном случае установленного в 100 пикселей). Отношение слабой связанности – это отношение $N:M$, где N и M больше или равны 1.

Данное отношение будет использоваться в дальнейшем для объединения групп сильно связанных углов, если не получается замкнутого контура из-за большой фрагментации отрезков, связывающих углы.

На рис. 10 показаны примеры данных выше определений. Углы C_1, C_2, C_3, C_4, C_6 – светлые углы объекта. Угол C_5 – темный угол объекта. Углы C_7, C_9 – темные углы тени, а угол C_8 – светлый угол тени. Углы C_6 и C_7, C_5 и C_8, C_4 и C_9 – связанные относительно тени. Углы C_1 и C_2 – сильно связанные. Углы C_2 и C_5 – слабо связанные.

Транзитивность отношения сильной связанности используется для составления цепочек углов, которые содержат одни и те же отрезки. На данном этапе не проверяется, к какой группе относится угол. Больше внимания уделяется получению замкнутых границ.

Для проверки цепочек на соответствие модели здания вычисляется функция согласованности углов. Определим функцию согласованности как разность между количеством светлых углов и количеством темных углов. Значения функции согласования $+4$ и -4 для замкнутых цепочек. Функция равна $+4$, если

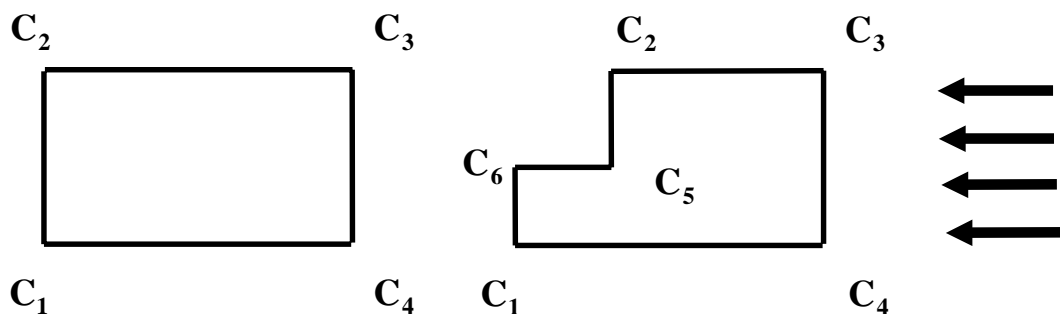


Рис. 11. Добавление нового угла.

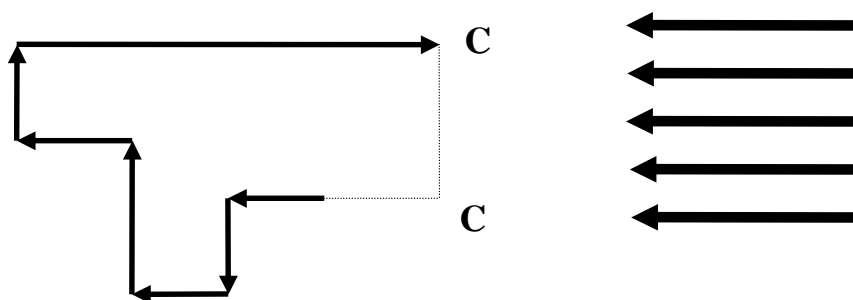


Рис. 12. Недостающие углы.

область, окруженная границей, образованной векторами замкнутой цепочки, светлее, чем наружный регион. Функция равна -4 , если внутренняя область темнее, чем область снаружи. Действительно, самая простая модель в данном случае – это прямоугольник. Если все четыре угла светлые, то значение функции согласования $+4$, если все углы темные, то значение функции -4 . При появлении каждого нового угла добавляются две стороны к прямоугольнику, тем самым добавляются один светлый и один темный угол, которые в сумме дают ноль. На рис. 11 добавлен темный угол C_5 , получен еще один новый светлый угол C_6 , следовательно, значение функции согласования не изменилось.

Если значение функции согласования отлично от $+4$ или -4 , то фигура не замкнутая. Значение функции согласования показывает, сколько и каких углов не хватает для получения замкнутого полигона. На рис. 12 показан незамкнутый полигон, имеющий 4 светлых угла и 2 темных, следовательно, не хватает двух светлых углов C_1 и C_2 .

На этапе замыкания цепочек с использованием отношения слабой связанности просматриваются незамкнутые цепочки углов, имеющие слабосвязанные углы. Для соединения двух цепочек в одну необходимо, чтобы слабосвязанные углы находились в соотношениях, показанных на рис. 13.

Для каждого угла C_i ищется в других цепочках угол C_j , удовлетворяющий следующим условиям:

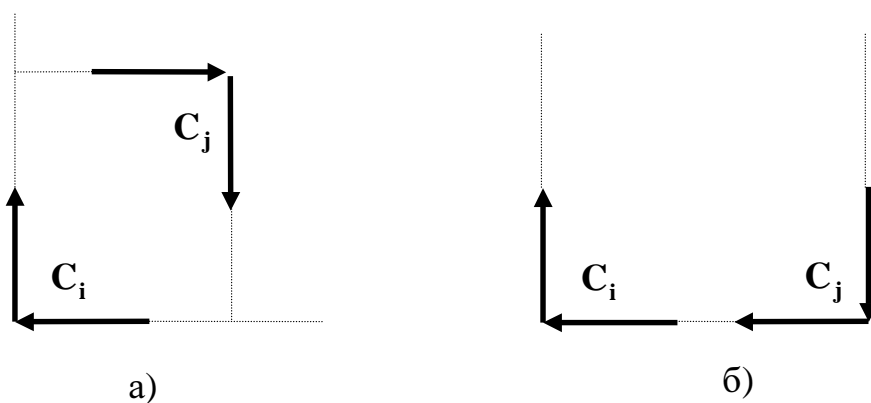


Рис. 13. Варианты объединения цепочек углов.

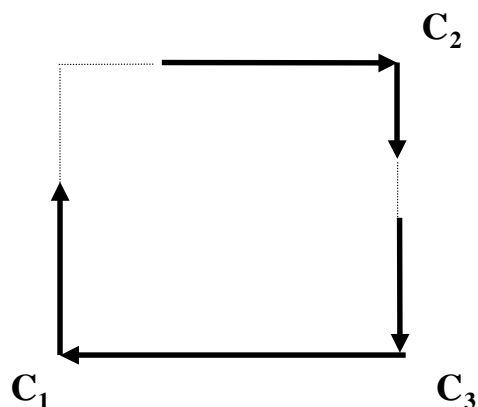


Рис. 14. Объединение двух цепочек.

1. Углы C_i и C_j находятся в отношении слабой связанности.
2. Длина каждой линии, которые необходимо достроить, не превышает одной пятой от длины векторов, входящих в цепочку угла C_i .
3. Должно выполняться условие однородности яркости пикселей вдоль достроенных линий.
4. Если условиям 1-2 удовлетворяют несколько цепочек углов, то выбирается та цепочка, у которой расстояние между углами C_i и C_j минимально.

Далее проверяются остальные углы, входящие в цепочку угла C_i , на выполнение условий 1-3.

На рис. 14 показана одна из возможных комбинаций. Углы C_1 и C_2 удовлетворяют данным условиям. Затем проверяются C_2 и C_3 , они также удовлетворяют данным условиям. Поэтому цепочки объединяются в одну.

После выделения замкнутых цепочек на предыдущем этапе углы, их составляющие, далее не рассматриваются. На данном этапе рассматриваются цепочки, функция согласования которых равна $+2$ или -2 , и все углы, составляющие цепочку, принадлежат объекту. У данных цепочек, поскольку они не были замкнуты на предыдущем этапе, не хватает одной стороны и двух углов. Такие цепочки часто встречаются из-за того, что ближе к краям снимка у зданий могут быть видны не только крыши, но и часть боковой стороны, которая мешает работе детекторов границ и программ, аппроксимирующих линейными отрезками выделенные границы. Если имеющиеся противоположные стороны равны, то добавляется необходимая сторона и два угла.

После объединения цепочек и достройки одной стороны могут остаться цепочки углов, состоящие из одного светлого угла, принадлежащего объекту. Если этому углу соответствует темный угол тени и векторы, его образующие, имеют длину больше заданного минимального значения длины здания, то име-

ется большая вероятность, что эти две стороны принадлежат зданию. Другие две стороны могли не выделиться детектором границ из-за плохой контрастности снимка или из-за того, что с этих двух сторон видна боковая часть здания. В случае выполнения условий, указанных выше, добавляются необходимые две стороны и три угла.

Как показали экспериментальные исследования, данный метод нуждается в улучшениях. Одним из основных недостатков является неполное выделение углов. Это может быть связано с тем, что из-за ошибок аппроксимации не всегда получаются прямые углы, поэтому необходимо использовать дополнительные возможности по выделению линий, образующих здания. Возможна также разработка собственных алгоритмов выделения и аппроксимации линейными отрезками границ, которые будут учитывать специфику изображения.

Задача автоматической обработки данных дистанционного зондирования помимо выделения зданий включает в себя еще ряд подзадач. В дальнейшем возможно рассмотрение подзадач и разработка алгоритмов для эффективной реализации автоматической или полуавтоматической обработки снимков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Huertas A., Nevatia R. Detecting buildings in aerial images // *Computer vision, graphics, and image processing*, 1988, Vol. 41, p. 131-152.
2. ERDAS Imagine Field Guide. – Atlanta, GA: ERDAS Inc, 1995. – 628 p.