

Автоматическое сопоставление линий на калиброванных изображениях

В.А. Бобков, Ю.И. Роньшин

Аннотация. Рассматриваются два алгоритма сопоставления линий на изображениях сцен городской обстановки с использованием трех калиброванных видов. Алгоритмы базируются на анализе геометрического и текстурного соответствия линий с применением трифокальной геометрии, учетом плоской гомографии и с обработкой потенциальных ситуаций вырожденности в контексте используемой эпиполярной геометрии. В качестве объекта сравнения в первом алгоритме рассматриваются отдельные линии, во втором - пары связанных линий.

Ключевые слова: изображения сцен, связность, сопоставление линий, векторизация, калибровка.

Введение

Проблема сопоставления особенностей на изображениях является ключевой при реконструкции пространственной сцены по последовательности видов и восстановлений движения, поэтому ее решению было посвящено много работ разных исследователей. В различных постановках задачи использовались как монокулярные последовательности и стереопары изображений при движении камеры, так и наборы отдельных видов сцены. Как правило, в качестве особенностей рассматриваются точки и отрезки линий. Много внимания этой задаче было уделено при обработке непрерывных видеопоследовательностей [1-4]. Ее успешное решение основывалось на разработке эффективных методов отслеживания (tracking) особенностей.

Более сложной задачей является обработка разрозненной последовательности в контексте построения 3D моделей объектов реальной сцены, особенно при больших смещениях камеры. Основной трудностью здесь является менее выраженная корреляция изображений и высокая чувствительность применяемых методов

к шумам, недостаточному качеству векторизации изображений (при сопоставлении отрезков) и к отсутствию истинных или наличию ложных особенностей на некоторых видах. Много методов основывается на попарном расщеплении последовательности видов с реализацией бинокулярного зрения. В этом случае эффективно используются эпиполярные ограничения и корреляционное сравнение без учета гомографии для малых смещений камеры.

Несколько другой способ, а именно, поиск точных глубин на всех парах множественной последовательности изображений с последующим объединением результатов был реализован в работе [5]. При больших смещениях камеры требуется уже учет планарной гомографии для более корректного корреляционного сравнения. В таких методах рассматриваются пары и тройки изображений (видов) с реализацией тех же принципов сравнения (эпиполярные ограничения и корреляция текстур) и с привлечением трифокальной геометрии [6-9]. В [10, 11] был развит аналогичный подход (трифокальная геометрия, гомография и кросс-корреляция) с дополнительным учетом геометрической бли-

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 08-07-00113-а).

зости отрезков и их связности и построением интегральной оценки сходства отрезков с многоступенчатой пороговой фильтрацией.

В большинстве рассматриваемых работ схема сопоставления базируется на выборе основного вида и поиске для каждой особенности соответствия на других видах. Существенным недостатком при этом является возможность установления ложных соответствий, порождаемых рядом причин. Основные из них: особенность видна на одном и не видна на другом виде; нахождение нескольких корреляционно схожих участков вдоль эпиполярной линии на втором виде, что может быть вызвано и сходством текстуры и неточным учетом (или неучетом) плоской гомографии; появление ситуаций «вырожденности», когда линия попадает на эпиполярную плоскость двух камер. Еще один недостаток, сопровождающий такую схему сопоставления, - большой объем вычислений, порождаемый необходимостью значительного перебора сравнений. Возникающая вычислительная трудоемкость оценивается порядком $O(n^2)$ или выше при количестве видов более 2. Предложенный в [12] *space-sweep* подход применительно к точечным особенностям отличается от вышеупомянутых методов тем, что задача сопоставления решается одновременно с 3D восстановлением особенностей без их предварительного 2D сопоставления. Этот подход предполагает работу с последовательностью видов существенно больше 2 и может эффективно применяться при построении триангуляционной 3D модели сцены [13, 14].

В настоящей статье предлагаются и сравниваются две модификации ранее разработанного авторами «трифокального алгоритма» [10] для сопоставления отрезков прямых на векторизованных видах – изображениях в контексте задачи 3D реконструкции городской обстановки [15].

Первая модификация является усовершенствованием исходной версии «трифокального» алгоритма за счет реализации более эффективных процедур обработки данных, и, прежде всего, обработки упомянутых выше ситуаций вырожденности.

Суть второй модификации заключается в использовании в качестве объекта сравнения не отдельного отрезка, а связной пары отрезков.

Это привело к реализации новой конструкции алгоритма, которая, с одной стороны, предъявляет более жесткие требования к векторизованным изображениям, а с другой стороны, направлена на упрощение алгоритмической обработки и потенциальное повышение достоверности сопоставления.

Последующий текст статьи организован следующим образом. В первом разделе дается описание основных терминов, понятий и базовых процедур, используемых в предлагаемых алгоритмах. Во втором разделе приводится краткое описание алгоритма сопоставления линий (модификация вышеупомянутой, ранее опубликованной версии алгоритма). В третьем разделе описывается алгоритм сопоставления пар связных линий. В четвертом разделе приведены результаты сравнительной эффективности двух алгоритмов на примерах модельной и реальных сцен. В заключении формулируются выводы и перспективы.

1. Используемые термины и понятия

При последующем описании алгоритмов сопоставления линий на видах будут использоваться следующие термины и понятия.

Связность точки (конца линии) – число линий, соединяющихся в этой точке.

Связность точки ≥ 1 .

Вершина (пары линий) – точка, соединяющая 2 линии. Связность вершины ≥ 2 . Ограничение: связность вершины ≤ 3 .

Связность линии – сумма связностей концов линии. Связность линии ≥ 2 .

Изолированная линия – линия со связностью = 2.

Смежные пары (линий) – пары, имеющие общую вершину.

Изолированная пара – пара, для которой нет смежных пар.

Кандидат – тройка линий (индексов) для видов 1, 2, 3 (в алгоритме сопоставления пар линий кандидат – тройка пар линий).

Вырожденность/невырожденность линий:

- **Собственная эпиполюс точки** на виде i по отношению к виду j – это линия, проходящая через точку и эпиполюс (e_{ji}).
- **Степень невырожденности линии** на виде i по отношению к виду j (w_{ij}) равна

синусу угла между линией и собственной эпилинией для середины линии (Рис. 1).

- Линия на виде i считается **вырожденной** по отношению к виду j , если её степень невырожденности \leq заданного порога (EPS). Если линия i вырождена по отношению к виду j и по отношению к виду k , то линия называется **дважды вырожденной**.
- Кандидат считается **вырожденным** для пары видов (i,j) , если линия i вырождена по отношению к виду j или линия j вырождена по отношению к виду i . Кандидат считается **полностью вырожденным**, если он вырожден хотя бы для двух пар видов.
- **Степень невырожденности кандидата** (W_{ij}) для пары видов (i,j) , равна $w_{ij} * w_{ji}$.

Вычисление фундаментальной матрицы.

Предполагается, что для всех трёх видов используется одна и та же камера. Так как камеры калиброваны, то заданы следующие параметры:

- t – вектор переноса камеры,
- R – матрица поворота камеры,
- f – фокусное расстояние.

Существенная матрица E вычисляется по формуле:

$$E = [t]_x R,$$

где $[t]_x$ – матрица векторного произведения.

Фундаментальная матрица F вычисляется по формуле:

$$F = C^{-1} T E C^{-1},$$

где C – калибровочная матрица

$$C = \begin{vmatrix} f & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}.$$

Вычисление трифокального тензора. Тензор T представлен тремя матрицами $T^i, i=1, 2, 3$. T^i вычисляется через проективные матрицы $M_1 = (Id, 0), M_2 = (R_2, t_2), M_3 = (R_3, t_3)$ по формуле:

$$T^i = t_2 R^i t_3 - R^i t_3,$$

где через R^i_2 и R^i_3 обозначены столбцы матриц R_2 и R_3 .

Вычисление прообраза линий. Прообраз линий – это отрезок l^i (на 1-ом виде), построенный по любым 2 отрезкам (один – на 2-ом виде и один – на 3-ем) с применением тензора T . Два

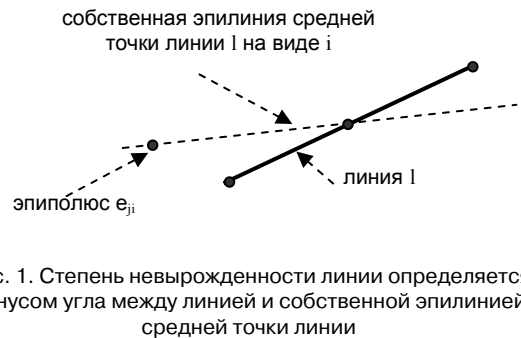


Рис. 1. Степень невырожденности линии определяется синусом угла между линией и собственной эпилинией средней точки линии

отрезка рассматриваются как бесконечные линии: l_2, l_3 .

1. Вычисляется бесконечная линия l по формуле:

$$l^T = (l_2^T T^1 l_3, l_2^T T^2 l_3, l_2^T T^3 l_3).$$

2. Вычисляется эпиллярное пересечение 2-ой линии с 3-й (общая часть на 2-ой линии).

3. l^i вычисляется как эпиллярное пересечение l с общей частью на 2-ой линии.

Геометрическое соответствие. Под геометрическим соответствием будем понимать выполнение проективных соотношений для точек и линий изображений двух и более видов.

Механизмы фильтрации при определении геометрического соответствия линий:

- **Фильтрация линий по эпиллярному сектору.** Эпиллярный сектор на 2-м виде образуется эпиллярными линиями (эпилинии), построенными для концевых точек линии на 1-м виде. Для последующего анализа отбираются только линии, попавшие в эпиллярный сектор.
- **Фильтрация по длине эпиллярной проекции.** На каждом из трех видов берется по линии. Определяется общая видимая часть для рассматриваемой тройки линий. На Рис.2 показано выделение общей части для двух линий. Это делается с помощью построения на 1-й линии эпиллярного сектора, образуемого концевыми точками 2-й линии. Его пересечение с 1-й линией дает общую видимую часть. Выделение общей части для трех линий осуществляется последовательным трехкратным применением этой процедуры: на первом шаге к 1-й и 2-й линиям, на втором ко 2-й и 3-й линиям, на третьем к результатам первых двух шагов. Даль-

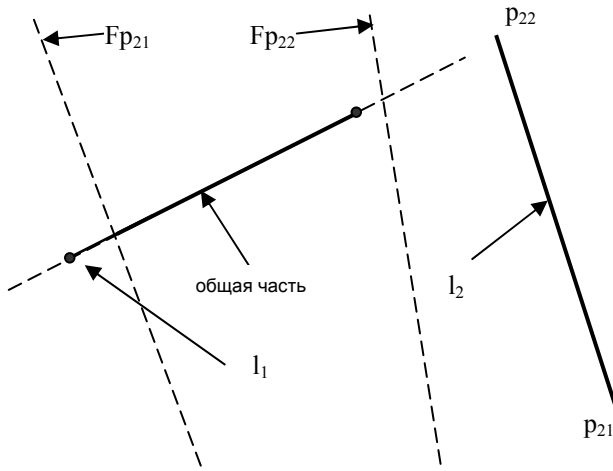


Рис.2. Выделение общей части двух отрезков

нейший анализ осуществляется, если длина общей части больше заданного порога.

- Геометрическая близость.** Поскольку из-за ошибок векторизации и калибровки изображений точное проективное соответствие, как правило, на реальных сценах не достигается, будем говорить о геометрической близости анализируемой тройки линий к точному решению. Для заданного вида (i) по двум линиям кандидата из видов j и k при помощи трифакторного тензора строится бесконечная линия. Эта линия сравнивается с линией (отрезком) на виде i . Геометрическая близость равна взвешенной сумме близости по углу и относительной близости по расстоянию между этими линиями (Рис.3). Близость по углу равна синусу угла между линиями. Относительная близость по расстоянию равна расстоянию от середины отрезка до бесконечной линии, делённому на некоторое стандартное расстояние. Вес для близости по углу и стандартное расстояние задаются пользователем.
- Проверка связности.** Дополнительным критерием повышения достоверности идентификации отрезков является учет связности отрезков на всех трех видах. Информация об исходной связности отрезков имеется для каждого из трех

изображений. Если отрезок на первом изображении имеет одного или двух соседей (примыкающие отрезки по обоим концам), то можно проверить сохранение связности на втором и третьем изображениях. Идея реализации такой проверки проиллюстрирована на Рис 4.

2. Алгоритм сопоставления линий

Ниже приводится краткое описание алгоритма с учетом изменений по отношению к начальной версии, которые, в основном, касаются анализа ситуаций вырожденности (подробное описание начальной версии алгоритма можно найти в [10, 11]). В целом этапность алгоритмической обработки можно представить следующим образом.

Этап 1. Пусть L_i – множество линий на i виде ($i = 1, 2, 3$). Из L_i удаляются дважды вырожденные линии.

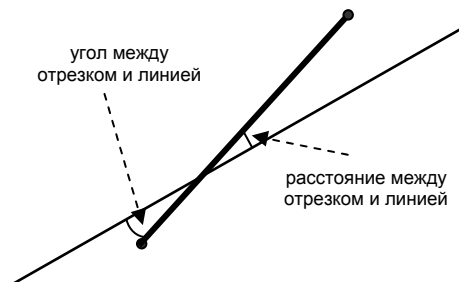


Рис.3. Геометрическая близость отрезка и линии – взвешенная сумма углового расхождения и расстояния между отрезком и линией

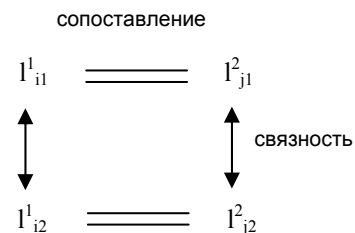


Рис.4. Проверка связности

Если линии L^1_{i1} и L^1_{i2} на первом виде связны, а линиям L^1_{i1} и L^1_{i2} сопоставлены, соответственно, линии L^2_{j1} и L^2_{j2} на втором виде, то и линии L^2_{j1} и L^2_{j2} также должны быть связны

Этап 2. Выполняется перебор всех линии из L_1 . Для каждой такой линии (1) делается сопоставление её с линиями из L_2 и L_3 . В результате создаётся множество кандидатов для линии 1. Это множество добавляется во множество всех возможных кандидатов.

Этап 3. Из множества всех возможных кандидатов удаляются неоднозначные кандидаты (имеющие совпадение по одному или по двум индексам).

Сопоставление линий из L_2 и L_3 для заданной линии из L_1

1. Создаётся множество кандидатов линий по эпиполярным критериям.

1.1. Для заданной линии из L_1 и для каждой линии из L_2 и L_3 создаётся кандидат. Для него устанавливается вырожденность (3 флага) и 3 степени невырожденности. Полностью вырожденные кандидаты не создаются.

1.2. Производится проверка линий кандидата на вхождение в эпиполярный сектор и на длину эпиполярной проекции. Проверка производится с учётом вырожденности (см. раздел 1): если линии вырождены для какой-либо пары видов, то для этой пары проверка не делается. Если кандидат проходит обе проверки, то он включается во множество геометрических кандидатов.

2. Для кандидатов вычисляется **геометрическая близость**. Геометрическая близость линий равна взвешенной сумме геометрических близостей этих линий для видов (п. 1.2), где в качестве весов используются нормированные степени невырожденности.

3. Для кандидатов вычисляется **текстурная близость** для пар видов. Возможны три таких компонента. Если кандидат вырожден для какой-либо пары видов, то для неё компонент не вычисляется. Общая текстурная близость равна среднему арифметическому для трёх или двух компонент.

4. Для кандидатов вычисляется **интегральная близость** как взвешенная сумма геометрической близости и общей текстурной близости.

5. Множество кандидатов сортируется по интегральной близости. Таким образом, получается множество кандидатов для заданной линии из L_1 .

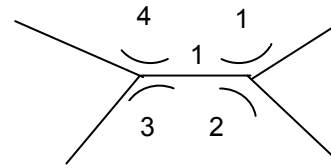


Рис. 5. Линия 1 входит в 4 пары связанных линий

3. Алгоритм сопоставления пар связанных линий

Сопоставление выполняется для 3-х видов. Сначала сопоставляются произвольные пары связанных линий. По полученным результатам сопоставления делается сопоставление одиночных линий.

1. Для каждого вида создаётся множество связанных линий (L_i) – из всех линий удаляются изолированные линии ($i = 1, 2, 3$).

2. Из множеств L_i создаются множества пар связанных линий (L_{2i}). Для точек со связностью 2 создаётся одна пара. Для точек со связностью 3 создаются три пары. Для точек со связностью ≥ 4 пары не создаются. Линия может входить в пары числом от 1 до 4 (Рис.5.).

3. Перебираются все пары из L_{21} . Для каждой такой пары (12) делается сопоставление её с парами из L_{22} и L_{23} . В результате создаётся множество кандидатов для пары 12. Это множество добавляется во множество всех возможных кандидатов.

4. Перебираются все кандидаты из множества всех возможных кандидатов. Если первая пара кандидата – неизолированная, то определяется достоверность (v) этого кандидата:

4.1. Определяется достоверность для видов 1, 2 – число сопоставленных смежных пар, для которых вершина на виде 1 соответствует вершине на виде 2 (v_{12}) (Рис.6).

4.2. Аналогично определяется достоверность для видов 1, 3 (v_{13}).

4.3. $v = v_{12} + v_{13}$.

5. В соответствии с вычисленной достоверностью из множества всех возможных кандидатов удаляются неоднозначные кандидаты. Полученное множество – это множество сопоставленных пар линий.

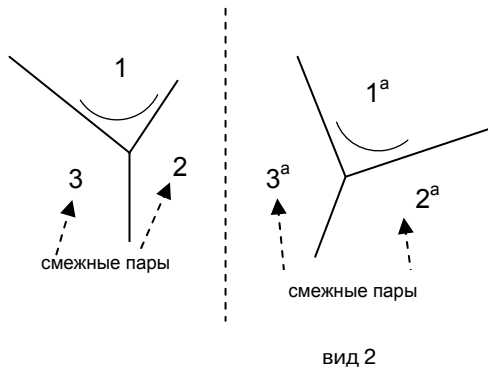


Рис.6. Определение достоверности для пары 1 на видах 1,2

Если пара $1 \leftrightarrow 1^a$ и $2 \leftrightarrow 2^a$, а $3 \not\leftrightarrow 3^a$, то достоверность $v_{12} = 2$

Сопоставление пар связанных линий из L_{22} и L_{23} для заданной пары из L_{21}

1. Создаётся множество кандидатов пар линий по эпиполярным критериям.

1.1. Для заданной пары из L_{21} и для каждой пары из L_{22} и L_{23} создаётся кандидат. Для него устанавливается *вырожденность* (флаг). Вырожденность пары линий – это объединение вырожденностей этих линий. Линии кандидата считаются вырожденными для видов (i, j) , если линия на виде j лежит на эпиполярной на виде i для середины линии на виде i с точностью до величины порога. Предполагается, что линии кандидата могут быть вырожденными только для одной из пар видов. Если линии вырождены для двух пар видов, то они вырождены и для третьей пары. Этот случай соответствует вырожденности камер (когда 3 центра камер лежат на одной прямой) и не рассматривается.

1.2. Производится проверка линий кандидата на вхождение в эпиполярный сектор и на длину эпиполярной проекции. Проверка производится с учётом вырожденности: если линии вырождены для какой-либо пары видов, то для этой пары проверка не делается. Если кандидат проходит обе проверки, он включается во множество геометрических кандидатов.

2. Для кандидатов вычисляется *геометрическая близость*. Геометрическая близость пары линий равна среднему арифметическому геометрических близостей этих линий. Геометрическая близость линий вычисляется с учётом вырожденности линий.

3. Для кандидатов вычисляется *текстурная близость*. Пары линий кандидата для видов (i, j) определяют некоторую плоскость в 3D-пространстве и, следовательно, гомографию из вида i в вид j . Для пары линий вида i строится решетка точек, примерно покрывающая пиксели треугольника, образованного этими линиями. Эти точки отображаются гомографией на вид j . Для точек решётки вида i и вида j вычисляется кросс-корреляция. Текстурная близость равна среднему арифметическому кросс-корреляций для разных пар видов с учётом вырожденности.

4. Для кандидатов вычисляется *интегральная близость* как взвешенная сумма геометрической и текстурной близости.

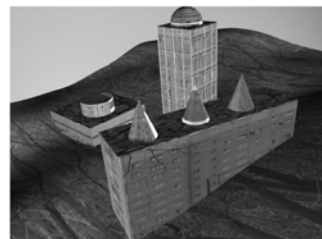
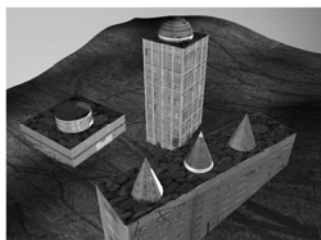
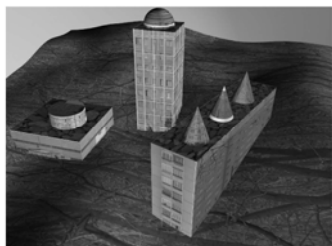
5. Множество кандидатов сортируется по интегральной близости. Таким образом, получается множество кандидатов для заданной пары из L_{21} .

Сопоставление одиночных линий. Во множество сопоставленных пар линий входят только однозначные кандидаты. Отсюда следует, что и между линиями, входящими в кандидаты, есть взаимно однозначное соответствие для разных видов. Таким образом, строится сопоставление линий.

4. Результаты вычислительных экспериментов

Оценка эффективности описанных алгоритмов проводилась на одной модельной и трех реальных сценах (Рис. 7) с использованием 3-х видов, полученных с помощью обычной цифровой фотокамеры. Векторизация осуществлялась программой - векторизатором (в основе модификация Canny Detector) с последующим интерактивным редактированием. Калибровка изображений выполнялась с помощью методики, описанной в [16].

Полученная точность калибровки (средняя величина эпиполярного отклонения в пикселах для контрольных точек) для тестируемых ре-



а) модельная сцена



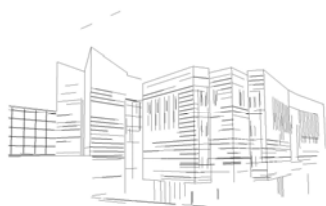
б) сцена «Дом»



в) сцена «ИАПУ»



г) сцена «Библиотека»



д) векторизованная сцена «Библиотека»

Рис. 7. Сцены для тестирования алгоритмов сопоставления линий

альных сцен: сцена «ИАПУ» - 5; сцена «Библиотека» - 2.3; сцена «Дом» - 1.3. В первом эксперименте обеспечивалось хорошее качество векторизации за счет дополнительной (после алгоритмической векторизации) интерактивной

обработки изображений. Дополнительная обработка заключалась в фильтрации коротких отрезков и устранении разрывов для обеспечения связности линий (необходимое условие для работы второго алгоритма). При этом учитыва-

лось, что для этапа последующей 3D реконструкции интерес представляют только линии, определяющие плоские грани объектов городской сцены. Поэтому количество линий на векторизованных изображениях оставалось за счет фильтрации сравнительно небольшим. Во втором эксперименте в основном (с минимальным участием оператора) использовались результаты автоматической векторизации. Для подсчета оценки эффективности (E) применялась формула: $E = (f-w)(f-w)/nf$, где n – число потенциальных линий на 1-ом виде, f – число определённых линий, w – число неправильных линий. Результаты первого эксперимента приведены в Табл. 1, Табл. 2.

Как видно из таблиц, оба алгоритма показали на тестируемых сценах высокую эффективность. Наряду с эффективностью алгоритмических решений этот результат, по-видимому, можно объяснить и хорошим качеством используемых векторизованных изображений, и сравнительно небольшим количеством линий на них. С другой стороны, сравнимая эффективность обоих алгоритмов объясняется тем, что оба алгоритма основываются на едином подходе с применением одних и тех же или идейно схожих локальных процедур обработки данных. Различие же в способе вычисления используемого преобразования плоской гомографии не оказало существенного влияния на конечный результат на этих сценах.

Во втором эксперименте, проведенном на сцене «Библиотека», векторизатор сгенерировал на каждом из видов более 300 линий (Рис. 7д). В это число вошли линии как присутствующие на остальных двух видах, так и отсутствующие на них (на двух или на одном виде). Поэтому потенциальное число правильных сопоставлений оказалось для данной векторизации существенно ниже числа линий, присутствующих на изображении (виде).

По указанной причине первый алгоритм даже при нулевом пороге интегральной оценки определил менее 160 сопоставлений (в этом случае, естественно, получается большое число ошибочных сопоставлений). При оптимальном задании порога и весовых коэффициентов текстурной и геометрической оценок алгоритм сопоставил около 100 линий. Из них неправильных сопоставлений получилось 5. Оптимальным соотношением весовых коэффициентов в данном случае оказалось задание большого веса геометрической оценки из-за низкой достоверности текстурной оценки. Анализ показал, что одной из причин низкой достоверности текстурных оценок было неточное в ряде случаев вычисление плоской гомографии. К другим причинам относится недостаточное качество векторизации (много дублирующих линий, недостаточная точность и др.), неидеальная калибровка, различие в освещенности видов (присутствие теней на одном виде и их отсутствие на другом).

Второй алгоритм сопоставил 23 линии (из них 2 неправильных сопоставления). Небольшое число сопоставлений объясняется тем, что связанных пар отрезков на векторизованных изображениях оказалось немного из-за дефектов автоматической векторизации (разрывы при стыковке отрезков). Кстати, первый алгоритм, отработавший на этом же входном множестве линий, показал такую же эффективность.

Табл. 1. Модифицированный алгоритм сопоставления линий

Сцена	Число линий	Сопоставлено	Неправильных	Эффективность
Модельная	21	21	0	1.000
ИАПУ	56	53	0	0.946
Библиотека	26	26	0	1.000
Дом	19	19	0	1.000

Табл.2. Алгоритм сопоставления пар линий

Сцена	Число линий	Сопоставлено	Неправильных	Эффективность
Модельная	21	21	0	1.000
ИАПУ	56	50	0	0.893
Библиотека	26	26	0	1.000
Дом	19	18	0	0.947

Заключение

В работе предложены два алгоритма сопоставления особенностей прямых линий на трех калиброванных видах сцены городской обстановки – алгоритм сопоставления отдельных линий и алгоритм сопоставления связных пар линий. В обоих алгоритмах реализуется единый подход к решению задачи сопоставления, основанный на построении оценок геометрической близости, текстурного сходства и связности линий с использованием эпиполярных ограничений, трифокальной геометрии и плоской гомографии. Алгоритмы показали сравнимую эффективность сопоставления линий, приемлемую для обработки реальных сцен в контексте последующей их 3D реконструкции при условии, что обеспечивается хорошее качество векторизации исходных изображений. Отличительной особенностью алгоритмов является реализация механизма учета ситуаций вырожденности линий, когда применение эпиполярных ограничений не дает однозначных решений. Анализ результатов вычислительных экспериментов показал, что дальнейшее повышение эффективности реализованного подхода к задаче сопоставления линий возможно за счет повышения качества автоматической векторизации изображений и точности их предварительной калибровки.

Литература

1. J.K. Aggarwal, I.S. Davis and W.N. Martin. Correspondence processes in dynamic scene analysis // Proc. of IEEE 69, pp. 562-572, 1981.
2. D. Goldgof, H. Lee and T.S. Huang. Matching and motion estimation of three-dimensional point and line sets using eigen-structure without correspondences // Pattern Recognition, Vol. 25, №3, pp. 271-286, 1992.
3. Chia-Hoang Lee and Anupam Joshi. Correspondence problem in image sequence analysis // Pattern Recognition, Vol. 26, №1, pp. 47-61, 1993.
4. J. Shi, C. Tomasi "Good Features to Track" CVPR Proc, 1994, pp. 593-600.
5. M. Okutomi T. Kanade. A Multiple-Baseline Stereo // IEEE Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 15(4), 1993, pp. 353-363.
6. Schmid, C. and Zisserman, A., 1997. Automatic line matching across views. In: Proc. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 666-671.
7. R. Hartley. Lines and Points in Tree Views – an Integrated Approach // Proc. ARPA Image Understanding Workshop, Monterey, CA, 1994, pp. 1009-1016.
8. A. Shashua. Trilinearities in Visual Recognition by Alignment // Proc. European Conference on Computer Vision, Springer-Verlag, 1994, pp. 479-484.
9. B. Triggs. Matching Constraints and the Joint Image // Proc. International Conference on Computer Vision, Cambridge, MA, June 1995, pp. 338-343.
10. В.А. Бобков, Ю.И. Роньшин, А.П. Кудряшов. Сопоставление линий по трём видам пространственной сцены // Информационные технологии и вычислительные системы, №2, 2006, С. 71-78.
11. В.А. Бобков, Ю.И. Роньшин, А.П. Кудряшов. Идентификация линий по некалиброванным видам городской обстановки // Информационные технологии и вычислительные системы, №1, 2007, С. 63-71.
12. R.T. Collins, "A space-sweep approach to true multiimage matching," in Int. Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, 1996, pp. 358-363.
13. Cheng, Y. Q., Collins, R., Hanson, A. R., and Riseman, E. M., Triangulation without correspondences. Arpa Image Understanding Workshop, Monterey, CA, 1994.
14. A. Akbarzadeh, J.M. Frahm, P. Mordohai, B. Clipp, C. Engels, D. Gallup, P. Merrell, M. Phelps, S. Sinha, B. Talton, L. Wang, Q. Yang, H. Stewenius, R. Yang, G. Welch, H. Towles, D. Nister, and M. Pollefeys. Towards urban 3D reconstruction from video // International Symposium on 3D Data Processing, Visualization and Transmission (3DPVT), 2006.
15. Бобков В.А., Борисов Ю.С., Кудряшов А.П. Реконструкция и визуализация городской обстановки по изображениям. Сборник докладов 13-й Всероссийской конференции «Математические методы распознавания образов», 2007, С.282-285.
16. Бобков В.А., Борисов Ю.С., Кудряшов А.П. Калибровка изображений городской обстановки // Информационные технологии и вычислительные системы, №1, 2009.

Бобков Валерий Александрович. Заведующий лабораторией машинной графики в Институте автоматизации и процессов управления ДВО РАН. Окончил Московский физико-технический институт в 1971 году. Доктор технических наук. Автор более 60 научных работ. Область научных интересов: компьютерная графика, компьютерное зрение, геоинформатика, обработка изображений и распознавание образов.

Роньшин Юрий Иванович. Ведущий инженер – программист Института автоматизации и процессов управления ДВО РАН. Окончил Ленинградский государственный университет в 1977 году. Автор более 20 научных работ. Специалист в области компьютерной графики, компьютерного зрения, системного программирования, параллельных вычислительных систем.