

## **Реконструкция и визуализация городской обстановки по изображениям**

*Бобков В. А., Борисов Ю. С., Кудряшов А. П.*

kudryashova@iacp.dvo.ru

Владивосток, Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН

В работе рассматриваются методы трехмерной реконструкции и анимационной визуализации объектов городской среды по ограниченной, некалиброванной последовательности изображений. Предлагаемый подход базируется на интеграции в рамках единой методологии известных и активно развиваемых сегодня методов и алгоритмов компьютерного зрения (кросс-корреляционная идентификация особенностей, эпиполярные ограничения с вычислением фундаментальной матрицы и трифокального тензора, и др.) и методов, учитывающих специфику прикладного контекста задачи (полигональность, параллелизм и ортогональность, свойственные городским сооружениям).

### **Калибровка камер**

В качестве исходных данных рассматривается последовательность снимков городской сцены, представленной множеством зданий. Снимки сделаны с перекрытием, таким образом, чтобы для каждой пары соседних изображений нашлась одна точка-особенность (угол здания, окна), видимая на обоих изображениях. Требуется найти матрицы преобразований из некоторой единой евклидовой мировой системы координат (МСК) в системы координат камер (СКК). Решение ищем для тройки соседних видов. Привяжем единую МСК к некоторому углу (здания, окна) на снимке 1. Плоскость стены здания, содержащей этот угол, является плоскостью  $XU$  этой МСК. Одно из ребер этой стены соответствует оси  $X$ . Если для некоторой тройки выполняется оговоренное выше условие: угол (МСК1) виден на снимках 1 и 2, но не виден на снимке 3, то для снимка 2 определяется дополнительно матрица преобразования из другого угла (МСК2), видного также на снимке 3. Задача полной калибровки решается с применением нелинейной оптимизации, отталкиваясь от вычисления точек схода (vanishing points) применительно к ортогональным семействам параллельных линий плоскостей (границ зданий) в МСК.

### **Определение точечных соответствий**

Для выполнения калибровки камер необходимо определение точечных соответствий на изображениях. Для решения задач реконструкции трехмерных сцен городской обстановки по фотоизображениям необходимо высокое разрешение, порядка 5–10 мегапикселей, а известные методы эффективно работают лишь при разрешении порядка 0.3–1 мп [1]. Поэто-

му был разработан алгоритм для работы с фотоснимками высокого разрешения, высокой скоростью выделения точечных особенностей и с приемлемыми для указанного приложения достоверностью и количеством особенностей. Схематично работа алгоритма может быть представлена следующим образом:

1. Разрешение изображения уменьшается до оптимального (примерно  $400 \times 300$  точек).
2. На уменьшенном изображении ищутся точечные особенности с помощью метода, получившего название Difference-of-Gaussian (DoG).
3. На паре уменьшенных изображений ищутся соответствия кросс-корреляционным и методом нормированного евклидова расстояния.
4. Полученные соответствия перерасчитываются с уменьшенных изображений на исходные, учитывая возможное неточное сопоставление.
5. Применяется фильтр, позволяющий избавиться от большинства ложных сопоставлений.

#### **Определение соответствия линий**

Метод сопоставления линий [2] на изображениях полигональной сцены по трем видам основан на построении интегральной оценки сходства отрезков, учитывающей геометрическое и текстурное подобие отрезков. Геометрическое подобие оценивается с помощью трифокального тензора, а текстурное — применением кросскорреляции с учетом гомографии. Растровые изображения предварительно векторизуются, в результате чего формируется векторное представление каждого изображения в виде множества полилиний (ломаных). Для каждого из отрезков первого изображения ищется его образ на втором и третьем изображении. Для оценки вероятности правильного решения и отбраковки ложных решений выполняется последовательная многоступенчатая фильтрация с предварительно заданными порогами. Основными типами применяемой фильтрации являются: проверка геометрического правдоподобия отрезков-кандидатов, выполняемая на основе эпиполярного соответствия; текстурное сходство, выполняемое с учетом вычисленной гомографии; проверка геометрической связности (примыкание двух пространственных отрезков, наблюдаемое на любом виде). Эпиполярное соответствие отрезков всех трех изображений проверяется с помощью фундаментальной матрицы и трифокального тензора.

#### **Трехмерная реконструкция**

На первом этапе, используя фундаментальную матрицу и эпиполярные ограничения, необходимо каждую из трех сопоставленных линий построить до максимально видимой длины на всех трех видах. Это даст

нам соответствие концевых точек линий. После этого можно восстанавливать трехмерное положение концевых точек сопоставленных троек линий, используя полученные на этапе калибровки матрицы положения камер. Пространственное положение точки определяем решением триангуляционной задачи. С использованием полученного множества пространственных линий решается задача построения полигонов при ограничениях на трехмерные объекты («крыши» зданий параллельны «земле» (плоскости  $XZ$ ), «стены» перпендикулярны той же плоскости и являются прямоугольниками). На полученные полигоны наносится наибольшая по площади текстура с одного из изображений сцены.

### Построение новых видов

Наряду с алгоритмом полной реконструкции сцены, рассматривается построение новых видов пленоптическим методом без явного восстановления геометрии. Указанный метод является развитием подхода, описанного в [3].

Для выбранной точки нового вида по известной калибровке камер рассчитываются эпиполярные линии на базовых видах. Используя фундаментальную матрицу между базовыми видами, рассчитывается соответствие точек на построенных эпиполярных линиях. Полученные области сравниваются для нахождения максимально схожих, которые определяют образы пространственной точки. Полученные координаты образов применяются как текстурные, которые используются для нанесения на соответствующие полигональные участки нового вида частей базовых изображений.

Работа выполнена при финансовой поддержке Президиума РАН (Программа фундаментальных исследований №14, раздел 2).

### Литература

- [1] Lowe D. G. Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints — *International Journal of Computer Vision*, 60, 2, 2004 — Pp. 91–110
- [2] Бобков В. А., Роншин Ю. И., Кудряшов А. П. Сопоставление линий по трем видам пространственной сцены — *Информационные технологии и вычислительные системы*. — № 2. — 2006. — С. 71–78.
- [3] Борисов Ю. С. Визуализация городской обстановки пленоптическим методом — *Сибирский журнал вычислительной математики*. — № 2, Т. 9. — 2006 — С. 215–224