

Автоматическая реконструкция виртуальных 3D моделей по фотографиям

Волегов Д.Б.

Московский Физико-Технический Институт г. Долгопрудный, Институт Физико-Технической Информатики, г. Протвино,

e-mail: dvolegov@rambler.ru

Юрин Д.В.

Московский Государственный Университет г. Москва,

e-mail: yurin@list.ru

Введение

Виртуальная реальность (VR) и компьютерная графика (КГ) активно внедряются в деятельность человека, и в будущем их роль будет только увеличиваться, так как их польза и потребность в них очевидна. Ниже приведены лишь основные области, в которых VR и КГ будут наращивать свое присутствие: производство, медицина, образование, представление/визуализация информации, сфера развлечений, взаимодействие человека с компьютером, представление товаров в Интернете, строительство и т.д.

На текущий момент имеются три основных способа получения моделей: использование активных методов (например, лазерных сканеров), построение модели в средах автоматического проектирования (AutoCad, 3D Studio Max) и использование пассивных методов при известной геометрии съемки (аэрофотосъемка, стереосъемка и т.д.). Все вышеназванные способы являются относительно дорогими и/или долгими.

В связи с вышеназванными ограничениями актуальным является, во-первых, автоматизация процесса реконструкции моделей, во-вторых, использования недорогого оборудования: обычных цифровых фотоаппаратов или видеокамер и, в-третьих, возможность работы с некалиброванными фотографиями, когда съемка производится в неконтролируемых условиях (с рук).

В настоящей работе освещается подход, используемый авторами, для автоматической реконструкции моделей по фотографиям, и приводятся результаты применения предлагаемого подхода к реальным изображениям.

Реконструкция

Реконструкция виртуальной модели состоит из следующих основных этапов.

Поиск особенностей на изображениях. Для поиска особенностей используется детектор углов Харриса [1].

Установление соответствий между особенностями. Для установления соответствий используется карта смещений (disparity map), вычисленная с использованием пирамиды детальности [2]. После установления соответствий вычисляются фундаментальные матрицы с помощью модификации алгоритма RANSAC [3].

Реконструкция. В настоящей работе реконструкция выполняется последовательно: сначала реконструируются положения двух камер и вычисляются координаты точек в пространстве. Затем добавляется третье изображение: вычисляется положение новой камеры, уточняются координаты реконструированных ранее точек, реконструируются новые точки и т.д.

В таком подходе критичным является выбор последовательности реконструкции. Например, если база съемки между парой камер мала, то мала и точность реконструкции и, следовательно, нежелательно, чтобы процесс реконструкции начинался с этой пары. В настоящей работе используется авторский критерий для быстрой оценки достижимой

точности реконструкции по паре кадров. Для вычисления названного критерия необходимы лишь координаты соответствующих точек на паре изображений. Пусть однородные координаты соответствующих точек обозначены через $\bar{x}_i, \bar{y}_i, i = 1 \dots N$, где N есть число соответствующих точек для пары изображений. Определяется матрица \mathbf{Z} размерами $N \times 9$ следующим образом:

$$\mathbf{Z} = \begin{pmatrix} x_{1,1}y_{1,1} & x_{1,1}y_{1,2} & \dots & x_{1,3}y_{1,3} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{N,1}y_{N,1} & x_{N,1}y_{N,2} & \dots & x_{N,3}y_{N,3} \end{pmatrix} \quad (1)$$

Определенность фундаментальной матрицы (ОФМ) определяется следующим образом:

$$q(F) = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\sqrt{\langle \delta\sigma_1^2 \rangle + \langle \delta\sigma_2^2 \rangle}} \quad (2)$$

В (2) числа σ_1, σ_2 есть наименьшие сингулярные числа матрицы \mathbf{Z} , а $\langle \delta\sigma_1^2 \rangle, \langle \delta\sigma_2^2 \rangle$ - средние квадраты отклонения названных чисел, связанные с погрешностью определения координат на изображениях. Проведенные исследования свидетельствуют о том, что большое значение ОФМ является необходимым, но недостаточным условием высокой точности реконструкции по паре кадров, а в среднем погрешность реконструкции обратно пропорциональна ОФМ.

После упорядочивания изображений следует вычисление положений камер и координат точек. Это сводится к задаче нелинейной минимизации $F(\vec{x})$, где вектор \vec{x} объединяет в себе параметры, задающие положения камер в пространстве и координаты реконструируемых точек. Результатом этого этапа является координаты точек и положения камер.

Построение сеточной модели. Финальным этапом реконструкции является построение сеточной модели по облаку точек. В текущей реализации системы выполняется поиск параметрических геометрических моделей на основе иерархического преобразования Хафа. Суть этого подхода состоит в том, что для большого числа случайно выбранных минимальных наборов точек вычисляются параметры геометрической модели. Модель, которая поддерживается большим числом наборов, считается присутствующей на изображении.

Результаты

Реконструкция рельефа



Рисунок 1. Пара кадров из последовательности шести изображений рельефа, использованных для реконструкции.

На рис. 1 представлена пара изображений из последовательности снимков рельефа. На рис.2 представлена реконструированная модель рельефа с наложенной текстурой, а также сеточная модель. Сеточная модель была вычислена автоматически следующим образом. Облако реконструированных точек аппроксимировалось плоскостью, реконструированные точки проектировались на названную плоскость, выполнялась двумерная триангуляция Делоне этих проекций и полученная триангуляция переносилась на реконструированные точки. На сайте <http://dvolegov.fopf.mipt.ru/> доступны реконструированные трехмерные модели, приведенные ниже.

Реконструкция интерьеров

На рис.3 представлена пара кадров из последовательности изображений макета международной космической станции. На рис.4 представлена реконструированная модель макета МКС с разных ракурсов и наложенной текстурой. Некоторые точки (например, на стенах и потолке) были автоматически объединены в группы точек, лежащих на плоскости, и для них были построены соответствующие поверхности. Другие точки (например, вершины телевизоров и пультов) были объединены в поверхности вручную. Задача автоматического построения сеточной модели по реконструированному облаку точек представляет на текущий момент серьезную проблему и требует дальнейшего исследования.

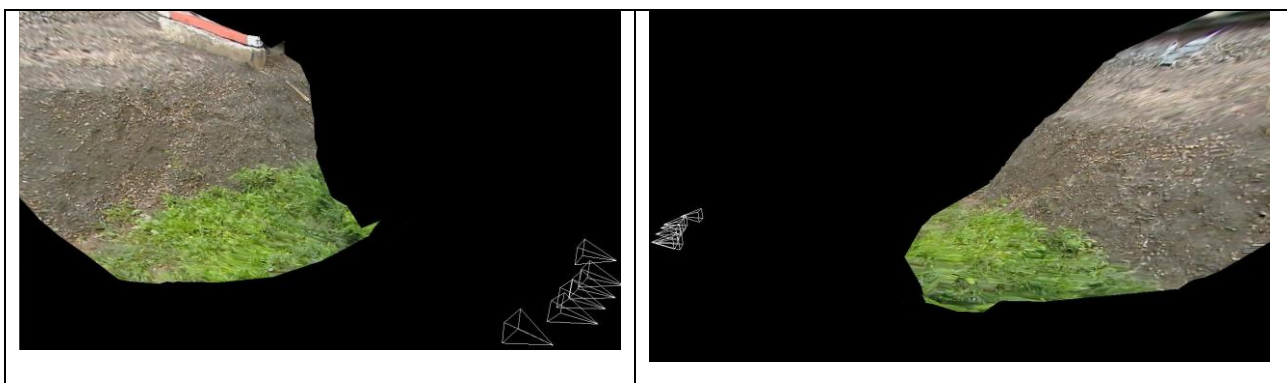


Рисунок 2. Пара видов реконструированной модели. Пирамидами обозначены реконструированные положения камер.



Рисунок 3. Пара кадров из последовательности четырех изображений макета Международной Космической Станции (МКС), использованных для реконструкции.

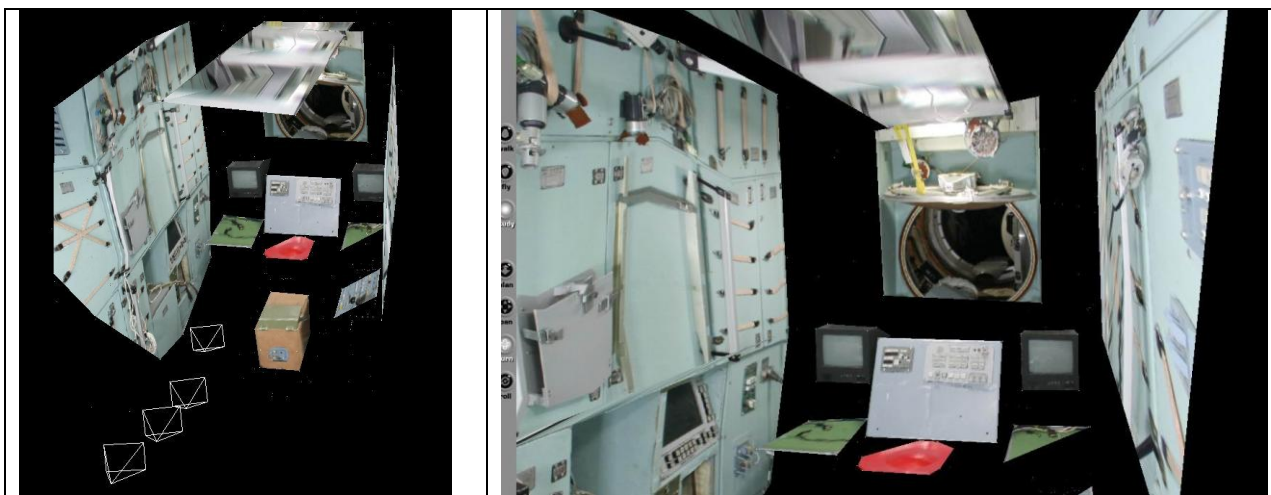


Рисунок 4. Пара видов реконструированной модели. Пирамидами обозначены реконструированные положения камер.

Заключение

В настоящей работе приводится описание системы, используемой авторами для автоматической реконструкции трехмерных моделей по фотографиям. Важными особенностями предлагаемой системы является, во-первых, использование обычных фотографий для реконструкции, во-вторых, автоматизация процесса реконструкции и, в-третьих, отсутствие необходимости применения калибровочных объектов и задания положений камер.

Литература

1. *C. Harris and M. Stephens.* "[A combined corner and edge detector](#)" // Proceedings of the 4th Alvey Vision Conference: 1988 –С. 147--151.
2. *Volegov D.B., Yurin D.V.* "Finding disparity map via image pyramid"// In Conference Proceedings. 17-th International Conference on Computer Graphics and Application GraphiCon'2007, June 23-27, 2007, Moscow, Russia.
3. *M A Fischler, R C Bolles.* "Random sample consensus: A paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography", Communications of the ACM, 1981