

Автоматизированная система реконструирования текстурированных 3D моделей человеческих лиц

Де Ванса Викраматне В. К.

acmdewansa@gmail.com

Москва, Московский государственный институт радиотехники, электроники и
автоматики (технический университет)

Разработана система реконструкции фотореалистичных 3D моделей человеческих лиц, в состав которой входят цифровой фотоаппарат и проектор. Модель сканируется методом активной триангуляции с использованием шаблона Де Брюйна в качестве структурированной подсветки. Представлены результаты экспериментов.

Оптическая триангуляция

Проектор показывает тонкую прямую линию p , которая, проецируясь на сканируемый объект, становится 3D кривой. При фотографировании точка r этой кривой с координатами $[x\ y\ z]^T$ проецируется в пиксель s с локальными координатами $[u\ v]^T$. По известным s и p легко вычислить r . Задача сводится к пересечению луча l (множество точек, проецируемых фотоаппаратом в s) и плоскости π (множество точек, в которые проектор «отвещает» прямой p).

Калибровка камеры и проектора. Для определения уравнений луча l и плоскости π необходимо знать параметры камеры и проектора, в том числе их взаимное расположение. Zhang [1] описывает метод калибровки камеры, в котором плоскость с известными m характерными точками (локальные координаты: M_1, M_2, \dots, M_m) фотографируется n раз в различных положениях относительно камеры. На i -й фотографии характерная точка M_j проецируется в пиксель m_{ij} . Параметры камеры \mathbf{A} (intrinsic), k_1 и k_2 (сферические искажения), \mathbf{R}_i (матрица поворотов, относительно плоскости на i -той фотографии), t_i (вектор сдвига на i -той фотографии) определяются путем минимизации функционала

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \|m_{ij} - \check{m}_{ij}(\mathbf{A}, k_1, k_2, \mathbf{R}_i, t_i, M_j)\|^2,$$

где \check{m}_{ij} — проекция точки M_j на i -м изображении, согласно математической модели камеры со сферическими искажениями. В разработанной системе данный метод адаптирован для калибровки камеры и проектора одновременно.

Проецируемый шаблон. Для эффективной реконструкции модели можно проецировать не одну тонкую линию p , а сразу k линий p_1, \dots, p_k . Чем больше k , тем больше реконструируемых точек. Однако с ростом k

осложняется задача определения принадлежности пикселей фотографии линиям p_i . Используемый шаблон состоит из 125 цветных полос одинаковой ширины, как в [2]. Прямыми p_i считаются 124 границы между полосками. Полоски окрашены таким образом, что любая подпоследовательность из 3-х цветов встречается не более одного раза (последовательность Де Брюйна). В обзоре [3] данный шаблон показал наилучшие результаты в задаче реконструкции 3D модели по одному снимку.

Алгоритм реконструкции текстурированной 3D модели

Лицо помещается в поле зрения откалиброванных камеры и проектора. Подряд делаются два снимка: с подсветкой полосками (изображение I_1) и с подсветкой белым светом, для определения текстуры (изображение I_2).

Шаг 1. Удаление шума. I_1 и I_2 обрабатываются фильтром Гаусса.

Шаг 2. Выделение мягких контуров. Каждый сканлайн I_1 свертывается с маской вида $[a_1, a_2, \dots, a_k, 0, -a_k, \dots, -a_2, -a_1]$ для обнаружения участков, соответствующих линиям p_i . Данный метод оказался более эффективным для нашей задачи, чем Canny edge detector.

Шаг 3. Построение жестких границ. Для локальных участков контуров находятся «центры масс», которые используются как опорные точки для построения жестких границ (субпиксельная точность), проходящих внутри мягких контуров.

Шаг 4. Нормализация цветов. Для повышения надежности идентификации цветов, которые искажаются текстурой кожи, I_1 модифицируется таким образом, чтобы «вычистить» информацию о текстуре, хранящуюся в I_2 , и оставить «чистые» цвета проектора. Используется модификация алгоритма, описанного в [4].

Шаг 5. Маркировка границ. Для каждого сканлайна, на основе анализа «чистых» цветов полос, определяется соответствие между жесткими границами и p_i . Используется модификация алгоритма многопроходного динамического программирования [2] с добавленной эвристикой, учитывающей, что сканируемый объект является *лицом*.

Шаг 6. Обработка маркированных границ. Все границы с одной и той же маркировкой p_i объединяются в линию, в которой заполняются разрывы и производится сглаживание фильтром Гаусса. Таким образом, результирующая модель получается гладкой и без разрывов.

Шаг 7. Построение 3D модели. Полученные линии преобразуются в 3D кривые (p_i и s известны для каждой точки линии), на базе которых строится 3D поверхность лица. Текстурными координатами каждой точки $r(x, y, z)$ является s .

Результаты

При использовании одной фотографии подсвеченного полосками лица с разрешением 1024×768 (и одной такой же фотографии, но с однотонной белой подсветкой) реконструированная 3D модель содержит более 30 000 точек.

Ошибка калибровки $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \|m_{ij} - \check{m}_{ij}(\mathbf{A}, k_1, k_2, \mathbf{R}_i, t_i, M_j)\|$ составляет около 1 пикселя, что соответствует 0.03 мм на фронтальной плоскости сканируемого лица. Построенная текстурированная 3D модель позволяет генерировать фотореалистичные изображения лица с различных ракурсов.



Рис. 1. Слева фотография лица в анфас, подсвеченного цветными полосками. В центре и справа построенная текстурированная 3D модель.

Литература

- [1] Zhang Z. A flexible new technique for camera calibration // Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions. — 2000. — V. 22, No. 11 — Pp. 1330–1334.
- [2] Zhang Z., Curless B., Seitz S. M. Rapid shape acquisition using color structured light and multi-pass dynamic programming // The 1st IEEE Int'l Symposium on 3D Data Processing, Visualization, and Transmission. — 2002. — Pp. 24–36.
- [3] Salvi J., Pags J., Batlle J. Pattern Codification Strategies in Structured Light Systems // Pattern Recognition 37(4) — 2004. — Pp. 827–849.
- [4] Caspi D., Kiryati N., Shamir J. Range imaging with adaptive color structured light // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence archive. — May 1998. — Pp. 470–480.