

Санкт-Петербургский Государственный Университет
Математико-механический факультет
Кафедра системного программирования

Построение трёхмерной модели головы на основе трёхмерных анатомических признаков

Курсовая работа студента 445 группы
Серебрякова Сергея Николаевича

Научный руководитель
аспирант кафедры системного программирования А.Г.Петров

Санкт-Петербург
2012

Содержание

Введение	3
Алгоритм	5
Общее описание	5
Предварительный поворот	6
Вычисление функций кривизны	6
Пороговые значения	6
НК-классификация	7
Выбор лучших кандидатов	7
Уточнённое совмещение	9
Реализация	10
Заключение	11
Список литературы	12

Введение

Задача построения трёхмерной модели головы имеет множество применений: например, в медицине (при планировании пластических операций на лице) или в интеллектуальных охранных биометрических системах (при распознавании и классификации лиц).

Многие системы, решающие задачу построения трёхмерной модели головы, используют в качестве входных данных двумерные фотографии лиц с разных ракурсов. Эти системы определяют на входных снимках точки, соответствующие одним и тем же точкам в трёхмерном пространстве, составляют и решают систему уравнений, описывающую преобразования (композиции поворотов, параллельных переносов и проекции), с помощью которых были получены снимки. Результатом решения системы являются параметры (фокальное расстояние, коэффициент масштабирования) камер, которыми были сделаны снимки, и их положение в пространстве [2]. Обладая этой информацией о камерах, такие системы анализируют входные снимки и восстанавливают по ним трёхмерную модель. Расстановка точек для вычисления параметров камеры может быть сделана либо вручную (что серьёзно ограничивает масштабируемость системы), либо автоматически (в этом случае используется анализ цветовой информации изображений). Одним из недостатков автоматического подхода является требование большого количества снимков с достаточно малым шагом (одна из проанализированных систем такого рода требует 30 снимков для построения 180-градусного разворота модели).

Похожим образом работают системы, использующие в качестве входных данных стерео-снимки - пару фотографий, для которых известно расстояние между камерами, с помощью которых они получены. Разворот моделей, полученной такой системой, также невелик.

Более интересный подход к построению трёхмерной модели — использовать трёхмерные снимки, или облака точек. Их можно получить с помощью трёхмерного сканера или двумерных фотографий с разных ракурсов. Используя информацию, содержащуюся в таких снимках, такую, как кривизна поверхности, и выделяя анатомические признаки, можно вычислять преобразование совмещения и совмещать снимки, получая цельную трёхмерную модель головы. При наличии дополнительной информации, например, цветовой, можно повышать точность совмещения. Преимуществами такого метода является то, что трёхмерных снимков не нужно много — для построения 180-градусного разворота головы достаточно всего двух трёхмерных снимков полуанфас, а

также то, что вычисления можно проводить с высокой степенью автоматизма.

Результатом обработки трёхмерных снимков является создание трёхмерной модели головы, составленной из совмещённых трёхмерных снимков. Если доступна цветовая информация снимков, то на модель может быть наложена текстура. Такую модель можно использовать в приложениях, перечисленных выше.

В работе представлены эксперименты по автоматической обработке, анализу и последующему совмещению двух трёхмерных снимков полуанфас в единую модель головы. Эксперименты проводились на примере снимков, представленных полигональными сетками, полученными с помощью двумерных фотографий с разных ракурсов (с осью x , направленной вверх, осью z , направленной в камеру, и осью y , сонаправленной с векторным произведением первых двух). Прежде всего требовалось провести предварительное совмещение — поворот и параллельный перенос. Затем требовалось распознать и выделить анатомические лицевые особенности (глаза и нос), для чего требовалось вычислить и проанализировать гауссову и среднюю кривизны трёхмерных поверхностей со снимков. Наконец, на основе выделенных лицевых особенностей требовалось выяснить параметры геометрического преобразования (поворот + параллельный перенос), для чего использовался алгоритм Iterative Closest Point и скорректировать совмещение, уточнив его с помощью применения этого преобразования. Результатом обработки явилась трёхмерная модель головы (180-градусный разворот), представленная полигональной сеткой, составленной из совмещённых полигональных сеток, поданных на вход.

Алгоритм

Общее описание

Для построения требуемой модели мы прежде всего поворачиваем снимки так, чтобы они были приблизительно одинаково ориентированы. Это преобразование, вместе с последующим параллельным переносом, потребуется для выполнения финального этапа алгоритма.

Изначально мы не имеем никакой информации о том, как соотносятся два трёхмерных снимка. Чтобы выделить общие точки, мы распознаём анатомические признаки — глаза и нос. Выбор именно этих лицевых особенностей обусловлен тем, что кривизна поверхности в соответствующих областях снимков достигает своих экстремумов, а также тем, что эти особенности очевидно присутствуют на обоих снимках [1].

Для каждого из двух снимков мы производим следующие действия: а) вычисляем гауссову (K) и среднюю (H) кривизны для всех точек снимков; б) удаляем те области, на которых значения функций кривизны по модулю меньше некоторых пороговых значений. Оставшиеся области высокой кривизны являются кандидатами на лицевые особенности. Из них методом НК-классификации, который базируется на знаках функций кривизны, в) выбираем области, потенциально являющиеся носом, и области, потенциально являющиеся глазами. Затем г) сортируем области в каждом из этих классов по удалённости от камеры и, основываясь на том, что снимки сделаны из положения полуанфаса, выбираем наиболее близкие и при этом подходящие по размеру области. Размер области считается подходящим, если количество вершин в ней лежит в заранее заданных константных границах.

Таким образом, на каждом из снимков выделяются три области, которые соответствуют паре глаз и носу (“лицевой треугольник”, “face triangle”). По ним мы вычисляем вектор переноса и производим параллельный перенос правой тройки областей. Это преобразование в совокупности с поворотом, который был сделан в самом начале, приводит к тому, что тройки областей становятся приблизительно совмещены и примерно одинаково сориентированы. После этого к двум наборам вершин, полученных объединением всех вершин областей в каждой тройке, мы применяем алгоритм Iterative Closest Point (ICP) [3], позволяющий совместить два облака точек, минимизируя суммарное попарное расстояние между их точками (именно для его запуска и требуется предварительное совмещение областей). Полученное с помощью ICP преобразование мы применяем к ис-

ходным снимкам и получаем совмещённую трёхмерную модель головы.

Предварительный поворот

Обладая информацией о том, что данные снимки сделаны из положения полуанфас, мы применяем поворот снимка, сделанного справа, на $\pi/2$ вокруг оси y в направлении от оси x к оси z . Следует заметить, что снимки не обязательно должны отличаться друг от друга поворотом ровно на $\pi/2$, допустимы произвольные отклонения по любой оси в определённых границах — на финальном этапе алгоритма производится уточнение геометрического преобразования. Матрица поворота выглядит так:

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$



Рис. 1: Снимок слева, снимок справа до поворота, снимок справа после поворота

Предварительный параллельный перенос производится на более позднем этапе алгоритма, когда можно будет вычислить вектор переноса.

Вычисление функций кривизны

Для всех точек каждого из снимков рассчитываются функции средней (H) и гауссовой (K) кривизны поверхности:

$$H(x_0, y_0) = \frac{(1 + f_y^2)f_{xx} - 2f_x f_y f_{xy} + (1 + f_x^2)f_{yy}}{2(1 + f_x^2 + f_y^2)^{\frac{3}{2}}},$$

$$K(x_0, y_0) = \frac{f_{xx}f_{yy} - f_{xy}^2}{(1 + f_x^2 + f_y^2)^2},$$

где f_x , f_y , f_{xy} , f_{xx} , f_{yy} — первые и вторые производные функции f в точке (x_0, y_0) . Поскольку снимки представлены негладкой полигональной сеткой, перед вычислением производных производится сглаживание поверхности в некоторой окрестности каждой точки (радиусы окрестностей задаются константами).

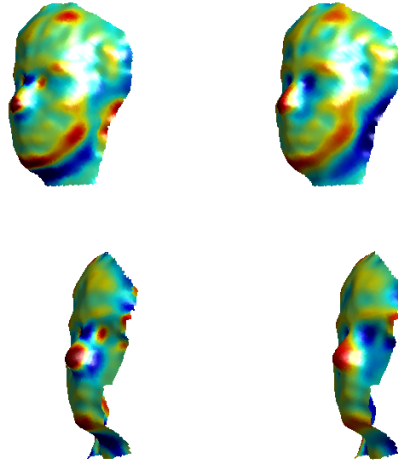


Рис. 2: Функции кривизны. Сверху - снимок слева, снизу - снимок справа. Слева - гауссова кривизна, справа - средняя кривизна. Красный цвет - области больших положительных значений кривизны, синий цвет - области больших отрицательных значений кривизны

Пороговые значения

Поскольку нас интересуют только области с высокими значениями функций кривизны (наиболее выпуклые и вогнутые области), неподходящие области могут быть удалены. Выбираются некоторые пороговые значения $Threshold_H$ и $Threshold_K$, и из полигональных моделей, соответствующих входным снимкам, выбираются только такие точки (x, y) , для которых $|H(x, y)| > Threshold_H$ или $|K(x, y)| > Threshold_K$. Далее в алгоритме рассматриваются только связанные области, которые не были удалены на этом этапе.

НК-классификация

Анализируя знаки средней и гауссовой кривизн, возможно классифицировать тип выпуклости для каждой области.

	$K < 0$	$K > 0$
$H < 0$	гиперболическая вогнутость	эллиптическая вогнутость
$H > 0$	гиперболическая выпуклость	эллиптическая выпуклость

Кандидатами на область, соответствующую носу, считаются области с положительной средней кривизной (выпуклые). Кандидатами на области, соответствующие глазам (точнее, внутренним уголкам глаз), считаются области с отрицательной средней и положительной гауссовой кривизной (эллиптически вогнутые).

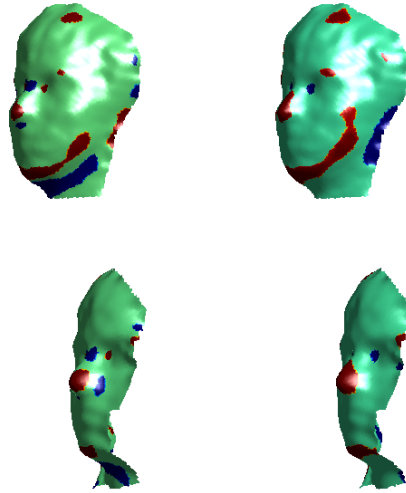


Рис. 3: Функции кривизны после отсечения по пороговым значениям. Сверху - снимок слева, снизу - снимок справа. Слева - гауссова кривизна, справа - средняя кривизна. Красный цвет - области больших положительных значений кривизны, синий цвет - области больших отрицательных значений кривизны



Рис. 4: Выделенные области-кандидаты. Слева - снимок слева, справа - снимок справа. Отчётливо видны глаза и нос, а также ложные кандидаты

Выбор лучших кандидатов

На входных снимках лицо находится в положении полуанфас, поэтому можно отсортировать списки областей-кандидатов на каждую лицевую особенность по возрастанию удалённости от камеры — в таком случае области, действительно соответствующие носу и глазам, будут находиться в этом списке раньше, так как реальные нос и глаза находятся при съёмке полуанфас ближе к камере, чем остальные части головы.

Чтобы исключить ложные срабатывания на этом этапе, вводятся константные ограничения сверху и снизу на количество вершин в выбранной области, так что слишком маленькие и слишком большие области не будут выбраны. Таким образом, лучшим кандидатом считается первая по порядку в отсортированном массиве область, удовлетво-

ряющая требованиям по количеству вершин. Таким образом, для каждого из входных снимков из наборов кандидатов была выбрана тройка областей (два глаза и нос). По этим тройкам и проводится уточнённое совмещение.



Рис. 5: Выделенные тройки областей. Слева - снимок слева, справа - снимок справа

Уточнённое совмещение: алгоритм ICP

Известный алгоритм Iterative Closest Point (ICP) позволяет совместить два облака точек, минимизируя суммарное попарное расстояние между их точками. Для использования этого алгоритма следует предварительно выровнять облака точек приближённо. Приближённый поворот был сделан на первом этапе алгоритма. Для вычисления вектора параллельного переноса определяются центры масс (средняя арифметическая точка) областей, соответствующих носу на снимках слева и справа (обозначим точки C_{left} и C_{right} соответственно). Вектор переноса в таком случае приравнивается разности $C_{left} - C_{right}$.

После переноса тройки областей с правого снимка на этот вектор к совмещённым таким образом тройкам можно применить алгоритм ICP. В качестве параметра алгоритма выступает минимальное количество выполняемых им итераций. Эксперименты показали, что 80 итераций достаточно для совмещения троек областей. Результатом работы алгоритма ICP является преобразование, заданное матрицей поворота и вектором параллельного переноса. Применение этого преобразования к исходным снимкам даёт весьма точное совмещение, в результате которого получается трёхмерная модель головы (180-градусный разворот).

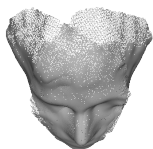


Рис. 6: Результат. Вид сверху

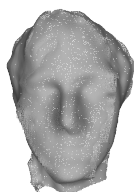


Рис. 7: Результат. Вид спереди

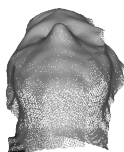


Рис. 8: Результат. Вид снизу

Реализация

Алгоритм был реализован в среде *MATLAB 2011*. Выбор среды был обусловлен наличием доступной библиотеки для работы с полигональными сетками, библиотеки с алгоритмом ICP, а также наличием удобных инструментов работы с математическими объектами — графами, таблицами и т.д.

Входные модели были заданы в формате *off* (Object File Format). Результат работы тоже представляет собой модель в формате *off*. Для подготовки входных моделей были использованы продукты *Blender* и *Meshlab*.

Заключение

В процессе курсовой работы был разработан алгоритм и реализована система автоматического объединения двух трёхмерных снимков лица полуанфас в трёхмерную фронтальную модель лица для решения задачи построения трёхмерной фронтальной проекции лица по двум трёхмерным снимкам. Новизна работы состоит в том числе в том, что в системе не были использованы machine-learning алгоритмы с обучающим набором, использовались только антропараметрические данные об анатомии человека.

В ходе работы были рассмотрены различные методы объединения двух трёхмерных моделей — представленных как облаками точек, так и картами глубин и полигональными сетками. Также был совершён поверхностный сравнительный анализ этих методов. Результаты проведенного анализа использовались для выбора реализованного алгоритма.

Дальнейшее поле деятельности — выбор оптимальных критериев выделения лицевых особенностей на трёхмерных снимках, зависящих непосредственно от входных данных алгоритма. Это может включать в себя задачу автоматического подбора констант, а) определяющих радиус вычисления функций кривизны, б) задающих пороговые значения для функций кривизны, в) ограничивающих размеры сеток для лицевых особенностей, г) задающих количество итераций алгоритма ICP. Возможно также применение на первичном этапе работы алгоритма различных методов обработки полигональных сеток входных моделей для получения более стабильных результатов. Кроме того, для улучшения результатов можно развить алгоритм обнаружения лицевых особенностей посредством улучшения поиска и классификации выделенных областей — помимо анализа кривизн, можно также рассматривать текстурные данные лиц (в частности, можно использовать технику eigenfaces для проверки тройки областей, является ли она "лицевым треугольником"). Полученный алгоритм можно обобщить на другие части тела, где анатомия допускает анализ кривизны и выделение на его основе анатомических признаков.

Список литературы

- [1] A. Colombo, C. Cusano, R. Schettini. 3D face detection using curvature analysis // Pattern Recognition, Vol.39, issue 3, pages 444-455, 2006.
- [2] F. Pighin, J. Hecker, D. Lischinskiy, R. Szeliskiz D. H. Salesin. Synthesizing Realistic Facial Expressions from Photographs // SIGGRAPH '98 Proceedings of the 25th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, pages 75-84. ACM New York, NY, USA, 1998.
- [3] Z. Zhang. Iterative Point Matching for Registration of Free-Form Curves and Surfaces // International Journal of Computer Vision, Vol.13, No.2, pages 119-152, 1994.