

Параллельный алгоритм в задаче восстановления лица по трехмерной фотографии

А.В. Шлянников

*Казанский государственный университет
a.shlyannikov@gmail.com*

Введение

В данной работе решается задача восстановления трехмерной модели лица по плоской фотографии человека в следующей форме: дается некоторое изображение лица, и требуется построить приближенную пространственную фигуру без текстур, отражающую лицо на фотографии.

Результатом работы алгоритма является набор точек/полигонов в пространстве, представляющий собой модель лица на фотографии. Набор экспортируется в один из стандартных форматов хранения трехмерных фигур и затем может быть восстановлен в любом трехмерном графическом редакторе. Модель может использоваться в дальнейшем в задачах визуализации или распознавания образов.

На формат входного изображения накладываются следующие ограничения:

1. Лицо на фотографии заранее выделено, т.е. фотография кадрирована таким образом, что площадь самого лица составляет не менее 50%.
2. Фон на фотографии однотонный, без крупных текстур.
3. Ориентация в пространстве лица на фотографии: фотография должна быть сделана в анфас или с незначительными отклонениями.

Описание алгоритма

Алгоритм решения задачи строится по итеративному принципу. В качестве исходной итерации выбирается некоторая усредненная модель головы человека, и производится пошаговое ее улучшение. Каждый шаг процесса итеративной модификации строящейся модели лица по фотографии основывается на следующих идеях:

1. Генерируется плоское изображение модели (аналог «фотографии» модели), который затем используется для сравнения с входным изображением.
2. На входном изображении и на сгенерированном плоском изображении модели в автоматическом режиме выделяются контрольные точки, содержащие данные о точном положении лица на фотографии, его общей форме и о точных координатах конкретных черт лица на фотографии (глаза, брови, рот и т. д.).
3. Используя координаты контрольных точек, производится аппроксимация конкретных регионов на обоих изображениях с помощью шаблонов, находящихся в специальном словаре.
4. Аппроксимации соответствующих друг другу регионов входной фотографии и сгенерированной сравниваются друг с другом и выделяются параметры отличия каждой характерной черты лица на входном изображении от соответствующей ей на сгенерированном.
5. Выделенные параметры отличия каждой черты лица применяются к трехмерной модели и производится ее модификация с устранением данных отличий.

Реализация

Для выделения контрольных точек на изображении был использован алгоритм Active Shape Model в реализации Stasm library [1], основанный на поиске соответствий на изображении на основе заранее сформированных статистических данных. Результатом работы данной реализации алгоритма является упорядоченный набор из 68 точек, выделяемый в автоматическом режиме на фотографии лица. Каждая точка соответствует конкретной позиции на лице (углы рта, глаз, центр носа и т. д.). Однако, несмотря на

точность выделения позиций на лице процедурой Stasm, только этих данных недостаточно, чтобы сформировать достаточно полное формальное описание лица. Поэтому в данной работе контрольные точки, определяемые с помощью Stasm, используются только для позиционирования характерных черт лица на фотографии.

Для описания каждой характерной черты используется неортогональное wavelet-преобразование на основе шаблонов специального вида, позволяющих ускорить вычисление по сравнению с применением неортогонального базиса в общем случае [2]. В качестве шаблонов аппроксимации используются изображения колоколообразной формы, для построения которых используются матрицы ранга 1.

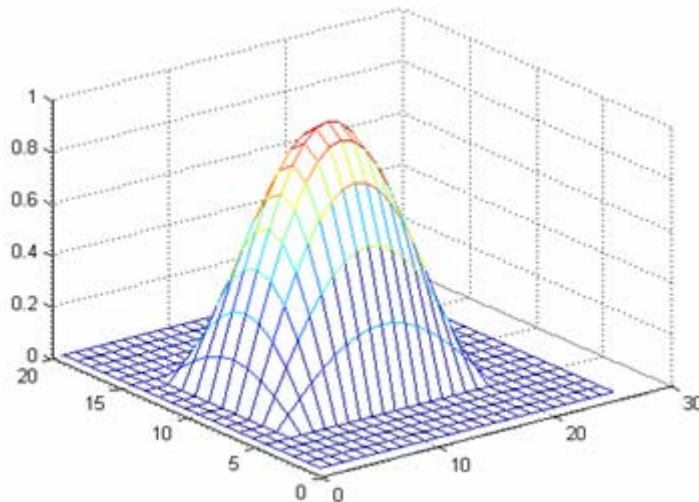


Рисунок 1. Вид поверхности, определенной шаблоном.

Каждый шаблон $Template(N, M, a, b)$ строится помещением матрицы $Mat = X^T \cdot Y$, $x_k = \sin(\pi k / N)$, $k = 0, \dots, N-1$, $y_k = \sin(\pi k / M)$, $k = 0, \dots, M-1$, в нулевую матрицу так, чтобы вершина поверхности Mat имела координаты (a, b) в этой матрице. В результате работы алгоритма исходное изображение заменяется своим приближением P , вычисленным согласно:

$$P = \sum_{s=1}^R P_s \quad (1)$$

В этом выражении P_s - поверхность, построенная умножением матрицы шаблона $Template(N_s, M_s, a_s, b_s)$ на коэффициент корреляции c_s .

Изменяя величины N, M , можно получить шаблоны, вытянутые вдоль одной или другой оси координат.

Таким образом, каждый регион на входном изображении и на сгенерированном аппроксимируется суммой из фиксированного количества шаблонов. Надо отметить, что, так как при аппроксимации каждого специфического региона известен его тип (т.е., черта лица, которой он соответствует), то для каждого региона можно подобрать специфические параметры аппроксимирующих шаблонов для оптимального описания. Например, для описания фигуры рта на изображении используется аппроксимация семейством шаблонов, по форме вытянутых по горизонтали, и т.д.

Процедура сравнения аппроксимации соответствующих регионов на входном изображении и на сгенерированном следующим образом. Координаты центров шаблонов в аппроксимирующих суммах рассматриваются как точки на плоскости, в результате чего получаются два множества точек, соответствующих двум сравниваемым регионам.

Множества совмещаются на плоскости так, чтобы совпали их центры медиан. Далее множества сравниваются с помощью метрики Хаусдорфа: если A, B - два множества точек на плоскости, построенные по координатам (a_s, b_s) соответствующих шаблонов, то для каждой точки $a \in A$ находится расстояние от a до B , а затем подсчитывается $A(B) = \sup_A d(a, B)$. После этого множества меняются местами и подсчитывается аналогичная величина. Метрикой считается значение $d(A, B) = \max(A(B), B(A))$.

Для построения трехмерной модели головы был использован программный пакет FaceGen. Данная среда позволяет строить разнообразные модели, изменяя биометрические признаки лица и мимику, а также визуализировать с применением эффектов освещенности и поворота головы в пространстве.

Каждая модель, как набор полигонов, однозначно определяется в пакете FaceGen набором параметров (биометрических признаков) построения. Однако, модификация этих параметров имеет следующую особенность: при изменении некоторого параметра модели $p(i) := p(i) + c$, все остальные параметры также изменяются на некоторую величину: $p(j) := p(j) + c(j)$. Например, при увеличении параметра «расстояние между зрачками», параметры расстояний между концами бровей также увеличиваются. Такая особенность гарантирует корректность строящейся модели при любом изменении параметров.

Поэтому, выбор оптимального изменения модели на каждой итерации выполняется по следующему принципу:

1. Для каждого параметра модели $p(i)$ находится его оптимальное изменение $p^*(i)$ через сопоставление характерных областей на изображении по метрике Хаусдорфа. При этом фиксируется вектор изменения остальных параметров: $P'(i) = p'(i, j)$, $j = 1, \dots, n$.

2. Составляется вектор оптимальных изменений всех параметров по отдельности: $P^* = p^*(i)$, $i = 1, \dots, n$.

3. Вычисляется расстояние между каждым из векторов $P'(i)$, $i = 1, \dots, n$ и вектором P^* . Векторы упорядочиваются по возрастанию расстояния.

4. К модели применяется k изменений параметров, соответствующих первым упорядоченным k векторам $P'(i)$, $i = 1, \dots, n$.

В результате данного принципа выбора изменяемого параметра, будет произведена модификация, приводящая к улучшению соответствия максимального числа параметров модели.

Параллельное исполнение

Наиболее емкой по вычислениям процедурой является нахождение оптимального изменения конкретного параметра построения трехмерной модели головы через выделение и сопоставление характерных регионов на входной фотографии и сгенерированной. Поэтому, распараллеливание вычислений производится на каждой итерации выбора оптимального изменения модели следующим образом.

1. Общий набор параметров построения модели разделяется по числу работающих процессов.

2. Каждый процесс вычисляет оптимальные изменения своей группы параметров, а также соответствующие им векторы изменений остальных параметров.

3. Производится барьерная синхронизация процессов.

4. Главный процесс собирает вычисленные данные со всех процессов.

5. В главном процессе производится упорядочивание и модификация модели согласно шагам алгоритма 3 и 4.

Как видно из построения алгоритма, обмен данными на шаге итерации между процессами отсутствует, что делает применение распараллеливания достаточно эффективным.

Результаты работы

Проверка точности работы алгоритма выполнялась по следующему принципу: по заранее зафиксированным параметрам строилась трехмерная модель лица, сохранялась в виде обычной фотографии и затем подавалась на вход работы алгоритма в качестве исходной фотографии. Полученный в результате работы алгоритма набор параметров, определяющий построенную модель, сравнивался с исходным набором параметров, по которым строилась входная фотография.



Рисунок 2. Исходное и полученное изображения.

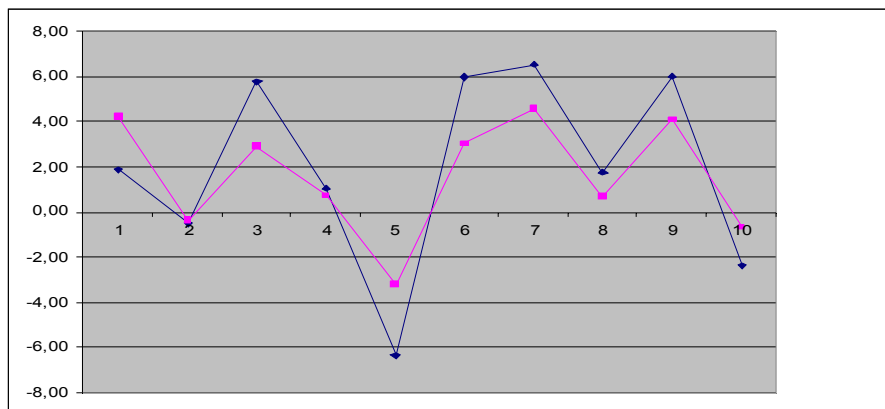


Рисунок 3. Параметры построения исходной модели и полученной.

Как видно из построенных моделей, алгоритм не учитывает детали изображения, расположенные выше уровня бровей. Этот факт обусловлен тем, что пошаговая модификация усредненной модели ведется с использованием контрольных точек ASM, которые, в свою очередь, также не располагаются выше указанной линии. Однако, этот факт приемлем в силу предполагаемой области применения разработанного алгоритма: при распознавании лиц по фотографиям, детали лица, находящиеся выше уровня бровей (прическа, головной убор) легко поддаются сильным изменениям и потому могут быть проигнорированы.

Литература

1. S. Milborrow and F. Nicolls, Locating Facial Features with an Extended Active Shape Model. ECCV, 2008.
2. Столов Е.Л. Параллельный алгоритм для отыскания водяных знаков в изображении // Вестник Казанского Государственного Технического Университета, 2006, N 3 с.37-42.
3. J. Yang, D. Zhang, A. F. Frangi, and J.Y. Yang. Two-Dimensional PCA: A New Approach to Appearance-Based Face Representation and Recognition // IEEE Trans pattern analysis and machine intelligence, vol. 26, no. 1, 2004, pp. 131-137.