

Система распознавания и визуализации характерных черт человеческого лица в реальном времени на персональной ЭВМ с использованием web-камеры

Ю.В. Визильтер, С.Ю. Желтов, М.В. Ососков
ФГУП Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем
Москва

В работе представлены результаты разработки алгоритмического и программного обеспечения для автоматического обнаружения лица и его характерных крупных элементов (глаз, рта, бровей, носа), слежения за этими объектами и их последующего отображения в реальном масштабе времени на персональном компьютере типа IBM PC. В качестве устройства ввода используется web-камера. Результаты выделения границ бровей, носа и рта аппроксимируются сплайнами по нескольким характерным точкам. Вся выделенная таким образом информация представляется в виде векторных графических элементов для передачи по сетям или дальнейшей визуализации средствами машинной графики в реальном времени.

Ключевые слова: выделение черт, распознавание лиц.

1. ВВЕДЕНИЕ.

В последние годы в работах по машинной графике и машинному зрению значительное внимание уделяется проблемам синтеза искусственных персонажей, действующих в виртуальной среде под управлением своих реальных прототипов в реальном масштабе времени. При этом внешность, жесты и мимика виртуальных персонажей формируются путем анализа реального изображения человека, находящегося перед видеокамерой. Актуальный характер сравнительно новых исследований указанных технологий анимации продиктован быстро растущим рынком соответствующих web-приложений и игровых программ, и в меньшей степени, традиционными применениями, такими как дистанционное управление сложными или опасными процессами.

К сожалению, до настоящего времени распознавание жестикуляции и мимики безусловно относится к трудным задачам компьютерного анализа изображений, хотя бы на том основании, что число степеней свободы только кисти руки измеряется десятками, а число точек, выделяемых на лице человека подходит к тремстам. Конкретные трудности, с которыми пришлось столкнуться при решении описываемой задачи, были связаны с наличием активной мимики лица, отображение которой, с одной стороны, и являлось целью проекта, но с другой стороны, делало яркостно-геометрические свойства основных черт лица гораздо более изменчивыми и трудно формализуемыми, чем это обычно рассматривается в литературе при описании подобных задач анализа лица.

В работе представлены результаты разработки алгоритмического и программного обеспечения для автоматического обнаружения лица и его характерных крупных элементов (глаз, рта, бровей, носа), слежения за этими объектами и их последующего отображения в реальном масштабе времени на персональном компьютере типа IBM PC. В качестве устройства ввода используется web-камера. Лицо пользователя расположено анфас к камере и не закрыто никакими другими предметами.

Допускаются небольшие повороты и наклоны лица. Условия освещенности обычные, офисные. На рис.1. показано типовое изображение лица, полученное от web-камеры.



Рис.1: Изображение лица, полученное от web-камеры.

Разработанная процедура анализа изображения включает следующие основные блоки:

- выделение лица и слежение за ним;
- выделение бровей;
- выделение носа;
- выделение рта.

Рассмотрим подробнее каждый из этих алгоритмических блоков.

2. АЛГОРИТМЫ СЕГМЕНТАЦИИ ЛИЦА.

Блок сегментации лица состоит из трех основных процедур:

- цветовой калибровки,
- первичной цветовой сегментации в пространстве RGB
- более точной цветовой сегментации в пространстве HSV.

Процедура цветовой калибровки определяет основные статистические характеристики каналов R,G,B в области слежения за лицом. Определяются среднее и СКО по гистограммам яркости всех трех каналов. Для устойчивости определения среднего и СКО не учитываются “хвосты” распределения яркости.

Далее, для более точной цветовой сегментации используются цветовые каналы – Hue и Saturation. Канал S используется только для порогового отсека сильно засвеченных и сильно затемненных областей. Канал H используется для более точного определения кластера пикселей, принадлежащих лицу. Для этого вычисляется гистограмма канала H в области слежения за лицом, и создается рабочее изображение $R[i,j] = \text{Hist}[H[i,j]]$. Поскольку гистограмма является дискретной оценкой функции распределения, пиксели, которые с наибольшей вероятностью принадлежат лицу, имеют максимальное значение $R[i,j]$. Подобные способы непараметрической оценки распределения описаны, например, в [1].

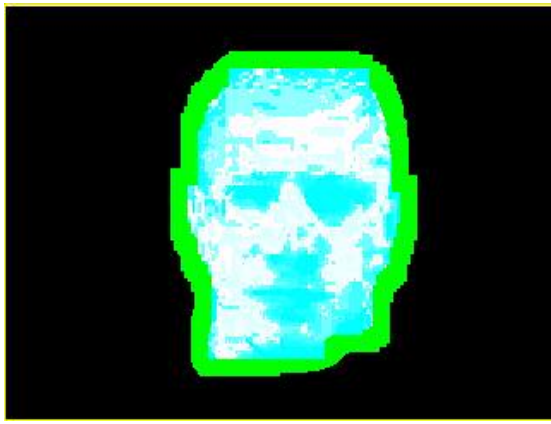


Рис.2: Цветовая маска, описывающая вероятность принадлежности пикселей области лица.

Наконец, осуществляется формирование прямоугольной области интереса, содержащей лицо. Для этого, на каждом кадре по изображению $R[i,j]$ в расширенной области слежения вычисляются основные характеристики цветового кластера: центр тяжести, размеры и ориентация осей инерции. Новая область слежения помещается в центр тяжести кластера, а ее размеры вычисляются по размерам осей инерции кластера.

3. АЛГОРИТМЫ ВЫДЕЛЕНИЯ ГЛАЗ И БРОВЕЙ.

Процедура выделения глаз и бровей состоит из следующих основных процедур:

- определение зоны глаз/бровей с помощью специального оператора интереса;
- корреляционная привязка точки переносицы;
- обнаружение бровей;
- обнаружение глаз.

3.1. Определение зоны глаз/бровей с помощью специального оператора интереса.

Первичный детектор зоны глаз/бровей основан на самых общих предположениях о чертах лица. Предполагается что на лице имеются «горизонтальные черты», что выражается в том что производная яркости по оси Y больше производной яркости по оси X. Предполагается также, что яркость горизонтальных черт лица ниже, чем яркость пикселей лица. Исходя из этих соображений, разработанный оператор интереса в каждом пикселе вычисляет следующий отклик по окрестности:

$$\Sigma (255 - \min\{I_x[x,y]\}) * I_y[x,y] / I_x[x,y]$$

При этом положение глобального максимума горизонтальной проекции соответствующего синтетического изображения, собранной в области верхней половины лица, соответствует бровям.

3.2. Корреляционная привязка точки переносицы

Как было установлено в ходе исследований, переносица является наиболее стабильной точкой лица в условиях сильного изменения формы изображения лица при активной мимике, что позволяет успешно прослеживать ее положение с помощью корреляционного метода. Процедура корреляционного слежения осуществляется стандартным образом. Для достижения большего быстродействия и устойчивости, корреляционное слежение реализовано с

использованием пирамиды изображений. При этом на N-м уровне пирамиды используется прореживание области поиска и корреляционного окна в 2^{N+1} раз (по площади). Для N=3 это дает уменьшение времени слежения примерно в 100 раз.

На каждом кадре также осуществляется дополнительная коррекция положения эталона на основе рассмотренного выше оператора выделения горизонтальных черт.

3.3. Выделение бровей.

Блок выделения бровей включает следующие этапы:

- формирование зоны поиска бровей
- сегментация зоны поиска оператором Марра
- маскирование с помощью "теневой" и "цветовой" масок
- собственно выделение бровей

Формирование зоны поиска бровей осуществляется, исходя из ранее сформированной прямоугольной области интереса, содержащей лицо и прямоугольной области корреляционного слежения за переносицей. Далее используется стандартная процедура сегментации изображения оператором Марра ([2]). После этого вычисляется теневая маска, формируемая как совокупность пикселей, яркость которых ниже среднего значения, по вертикальному окну на всю высоту области лица. Эта «теневая», а также ранее сформированная «цветовая» маска применяются к изображению, полученному оператором Марра.

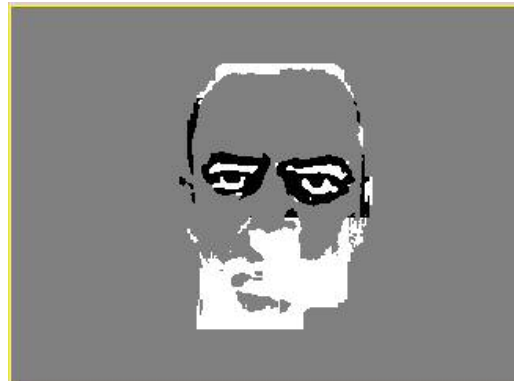


Рис.3: Результат применения теневой и цветовой масок к препарату Марра в области глаз/бровей.

После этого осуществляется собственно процедура выделения бровей. Она состоит из следующих этапов:

- выделение вертикальных сегментов препарата Марра
- прометка крайних сегментов снизу-вверх (от глаз) и сверху-вниз (от лба)
- горизонтальное связывание помеченных вертикальных сегментов
- уточнение положения центра переносицы
- выделение нижней и верхней границ бровей
- аппроксимация границ бровей сплайнами по трем точкам

При уточнении положения центра переносицы рассматриваются вертикальная и горизонтальная проекции «теневой» маски в области поиска бровей. При аппроксимации границ бровей сплайнами, в качестве крайних опорных точек сплайна выбираются начальная и конечная точки найденных провязок максимальной длины, а в качестве внутренней точки принимается точка провязки, находящаяся на максимальном расстоянии от прямой, соединяющей крайние точки.

3.4. Обнаружение открытых глаз

Зона поиска глаз формируется на основании информации о трех точках границы брови и оценки расстояния между глазами. Далее осуществляется свертка изображения с маской, соответствующей лапласиану одномерной гауссианы, с последующей бинаризацией полученного изображения по знаку.

Для обнаружения глаз используется строчный оператор, состоящий из трех площадок. Ширина центральной площадки, соответствующей ширине зрачка глаза, определяется из бинарного препарата Марра. Ширина крайних площадок оператора фиксирована. В области центральной и крайних площадок определяется среднее значение цвета расстояния между цветами. Кроме этого для каждой из площадок вычисляется среднее значение яркости и определяется отношение сигнал/шум. Из всех кандидатов выбирается точка с максимальным отношением расстояния между цветами к среднему значению яркости в центральной площадке.

4. АЛГОРИТМ ВЫДЕЛЕНИЯ НОСА.

Блок выделения носа состоит из двух основных процедур:

- первичное детектирование и слежение за положением нижней границы носа;
- прослеживание контуров носа.

Первичный детектор носа осуществляет установку корреляционного окна в начальный момент или после срыва слежения. Первичный детектор также позволяет подправить положение корреляционного окна при его смещении относительно объекта слежения. Первичный детектор носа, как и первичный детектор переносицы (см. выше), основан на операторе горизонтальных черт лица. В качестве носа (ноздрей) принимается первый существенный максимум аккумулятора горизонтальных черт, если двигаться по оси Y' локальной системы координат, связанной с центрами глаз, вниз от переносицы.

На этапе прослеживания принята следующая яркостно-геометрическая модель носа: яркий контур посередине и два темных контура слева и справа (рис.4).

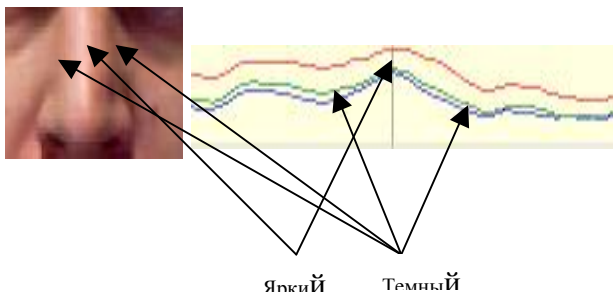


Рис.4: Яркостно-геометрическая модель носа

Для отображения носа средствами машинной графики необходимо в области носа выделять крайевые линии и центральную линию. Для этого во всех горизонтальных профилях области интереса производится поиск глобального максимума и двух существенных боковых минимумов яркости. После этого используется прослеживание методом динамического программирования. Результатом прослеживания линий носа являются: конечные точки линии S , соединяемые прямой линией; конечные точки линий L, R , соединяемые сплайн-кривой.

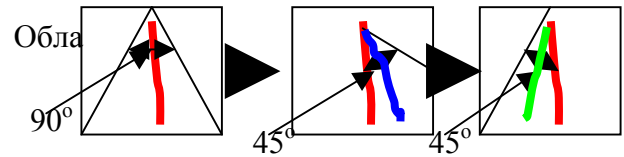


Рис.5: Последовательность получения линий носа

5. АЛГОРИТМЫ ВЫДЕЛЕНИЯ РТА.

С учетом различий в мимике, процедура выделения рта распадается на две основные алгоритмические ветви:

- выделение линии губ в случае закрытого рта
- выделение внутренней области рта в случае открытого рта.

В качестве яркостно-геометрической модели закрытого рта используется следующая модель: имеется достаточно острый глобальный минимум на всех вертикальных профилях в области рта (рис.6). Для подчеркивания данного признака используется операция морфологической нормализации фона на основе оператора открытия ([3]). Далее также производится прослеживание линии рта методом динамического программирования.

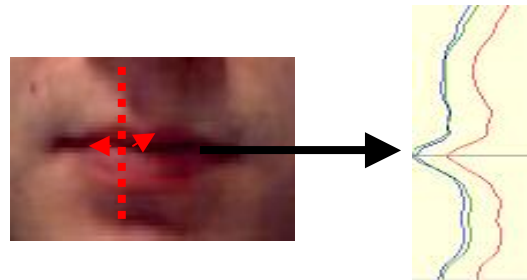


Рис.6: Яркостно-геометрическая модель закрытого рта.

Для ограничения линии рта справа и слева используются линии, образованные краями носа (рис.7).

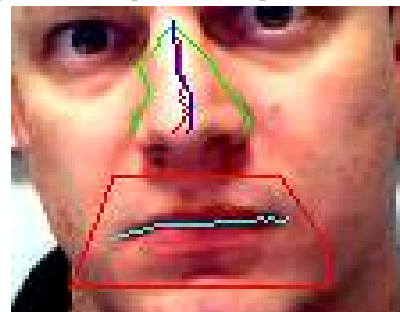


Рис.7: Прослеживание линии закрытого рта.

Алгоритм выделения открытого рта, как темной замкнутой области, запускается после алгоритма обнаружения закрытого рта. Если вертикальные размеры обнаруженной области меньше порога, то считается, что рот закрыт, и в этом случае результатом является сплайн-кривая, соединяющая несколько точек найденной области R . Иначе, в качестве результата выдается замкнутая линия, соединяющая несколько характерных точек обнаруженной области. Обнаружение темной области, основано на пороговой сегментации области рта. Порог вычисляется адаптивно в области интереса путем оптимального разделения бимодального распределения яркости по критерию Оцу. В качестве результата обнаружения выбирается связная область, которая пересекается с областью интереса и имеет наибольшую площадь (рис.8).

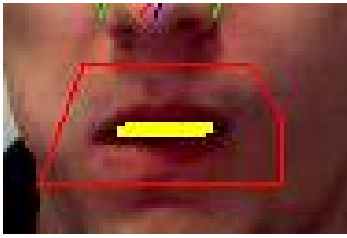


Рис.8: Обнаружение открытого рта как темной области. Таким образом, на каждом кадре оказываются выделенными основные черты лица.

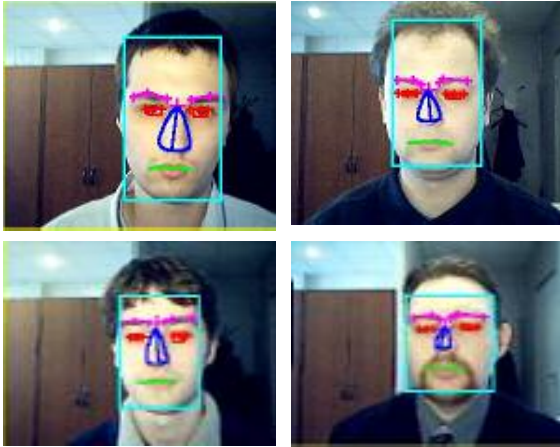


Рис.9: Примеры выделения на различных изображениях лица и его основных черт.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

В работе представлены результаты разработки алгоритмического и программного обеспечения для автоматического обнаружения лица и его характерных крупных элементов (глаз, рта, бровей, носа), слежения за этими объектами и их последующего отображения в реальном масштабе времени на персональном компьютере типа IBM PC. В качестве устройства ввода используется web-камера. Результаты выделения границ бровей, носа и рта аппроксимируются сплайнами по нескольким характерным точкам. Вся выделенная таким образом информация представляется в виде векторных графических элементов для передачи по сетям или дальнейшей визуализации средствами машинной графики в реальном времени.

Разработанная система тестировалась на значительном объеме реальных видео последовательностей, снятых с помощью web-камеры. При этом было продемонстрировано приемлемое качество распознавания элементов лица, однако, при изменении условий освещенности режим слежения иногда срывается.

Дальнейшие исследования предполагается вести в направлении повышения устойчивости системы к изменению условий освещения.

ЛИТЕРАТУРА.

- [1] Дуда Р., Харт П. Распознавание образов и анализ сцен: Пер. с англ. – М.: Мир, 1976, с.511.
- [2] Марр Д. Зрение. Информационный подход к изучению представления и обработки зрительных образов, М. Радио и связь, 1987.
- [3] J. Serra. Image Analysis and Mathematical Morphology. Academic Press. 1982.

Об авторах

Визильтер Юрий Валентинович, Желтов Сергей Юрьевич, Ососков Михаил Владимирович.
 ФГУП Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем
 125319, Москва, ул. Викторенко, 7 , тел. 157-91-58,
 e-mail: viz@gosniias.msk.ru