

Алгоритм автоматического выделения лица на термографических изображениях

Наталья Баша, Людмила Шульга

ФГУП «Научно-исследовательский институт прикладной акустики», Центр высоких технологий, г. Дубна, Россия,

Международный Университет природы, общества и человека «Дубна», г. Дубна, Россия

{natalia.basha, luda.shulga}@niipa.ru

Аннотация

В статье представлен подход к исследованию термографических изображений человека для интеллектуального видеонаблюдения. В работе предложен алгоритм автоматического выделения лица в инфракрасном спектре излучения. Приведены результаты его работы и проведен анализ эффективности его на базе данных 103 термографических портретов 15 человек.

Ключевые слова: распознавание образов, анализ изображений, системы видеонаблюдения, термография, детекция лица.

1. ВВЕДЕНИЕ

Тепловидение является одной из самых перспективных наукоемких технологий XXI века. Являясь дальнейшим развитием приборов и систем технического зрения, тепловизоры в перспективе будут иметь более широкое распространение, чем предыдущее поколение, ориентированное на видимый диапазон. Термографический образ (термограмма) – изображение объекта, полученное камерой, улавливающей инфракрасное излучение объекта (человека). Для получения термографических изображений используются специальные тепловизионные камеры (или тепловизоры). Различные системы диагностики и контроля на базе тепловизора нашли широкое применение в промышленности и технике (неразрушающий контроль, техническая и медицинская диагностика), в силу того, что применение тепловизоров абсолютно безопасно и дает практически готовый анализ состояния оборудования (технических систем, кровоснабжения частей человеческого организма) уже на момент проведения инфракрасной диагностики.

Наряду с видеонаблюдением, тепловизионное наблюдение так же является бесконтактным методом. Существенными преимуществами его использования для автоматической идентификации тепловизионной камеры по сравнению с видеокамерой являются:

- нечувствительность к освещенности объекта и способность работать в полной темноте;
- способность давать вполне приемлемое для опознавания изображение даже при значительном удалении от человека;
- нечувствительность к внешней маскировке (например, элементам макияжа).

Эти отличительные черты позволяют применять тепловидение в условиях, когда получение изображения с видеокамеры недостаточно для реализации поставленных целей [1,2].

Хотелось бы отметить, что работы, связанные с задачами распознавания лиц в ближайшем ИК-диапазоне, ведутся последние 10 лет, однако возможность применять термограф для данного рода исследований появилась недавно. Отличие заключается в том, что данные, получаемые с ИК-камеры – это изображение, а получаемые с термографа – температурные карты, где графическое представление в цвете используется только для визуализации разницы температур.

Информационными признаками в термографии являются подкожные рисунки артерий и вен, которые являются уникальными и неизменными для каждого человека, так как сосудистый рисунок человека не подвергается изменениям ни при изменении температуры лица, ни при пластических операциях, ни от фактора старения человека. Это еще один довод, почему задача использования термографических изображений в системах интеллектуального видеонаблюдения является актуальной.

2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В работе был исследован вопрос автоматического выделения лиц на термографических изображениях. Для этого было проведено исследование с целью определения на лице человека стабильной температурной области, которую можно использовать как область интереса при создании индивидуального температурного портрета человека.

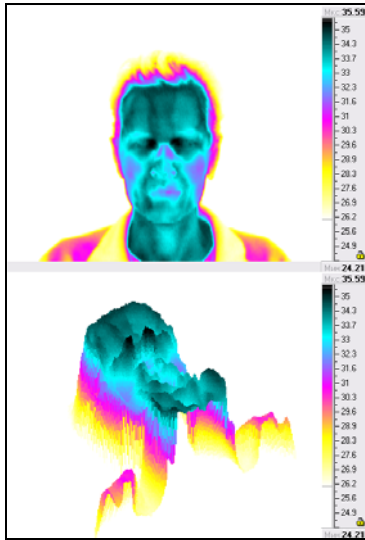


Рис. 1: Изображение лица, полученное тепловизионной камерой: сверху – двумерное изображение термограммы лица, снизу – 3D отображение термограммы лица; вертикальная шкала отображает цветом температуру объекта в градусах Цельсия.

Термографические данные (рис. 1) были получены термографом «ИРТИС-2000МЕ», представляют собой матрицу температур размером 240×320 , с точностью изменения температур $0,01^\circ\text{C}$. База термографических данных состоит из 103 снимков 15 людей разного возраста, пола и телосложения. Термограммы получены в разное время суток, при разных условиях окружающей среды (в помещении и на улице). Сбор данных проводился еженедельно в течение 4 месяцев.

В результате исследования было выяснено, что внутренний угол глаза здорового человека дает отклик в ИК-диапазоне наиболее интенсивно (рис. 1, 2а).

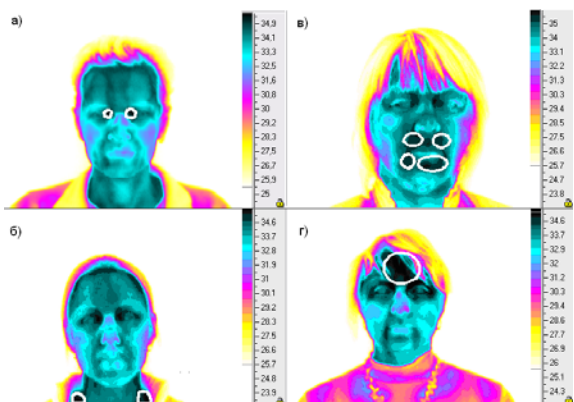


Рис. 2: Изображения лица, полученное тепловизионной камерой: а) гипертермия области внутренних углов глаз (норма); б) симметричная гипертермия в области ключиц, на границе с одеждой; в) гипертермия в области носа и рта; г) гипертермия в области лба, частично разрываемая волосами; вертикальная шкала отображает температуру объекта в градусах Цельсия.

Экспериментально были замечены некоторые отклонения от общей тенденции. Основные причины: симметричные зоны гипертермии, связанные с воспалительными процессами, вегетососудистой дистонией, гипертермией на границе открытых и закрытых участков тела (рис. 2 б, в, г).

Результаты наблюдений были учтены при разработке алгоритма детекции лица.

Поэтому в качестве опорных точек области интереса были выбраны точки внутренних углов глаза. Использование данных меток эффективно потому, что с их помощью по коэффициентам пропорциональности на лице можно вычислить размеры самого лица и расположение основных деталей (рис. 3) [3].

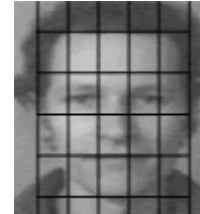


Рис. 3: Пропорции лица взрослого человека.

В настоящей статье предложен и разработан подход автоматического выделения области лица, базирующийся на детекции внутренних углов глаз.

Анализируя тепловые профили, соответствующие зоне внутренних углов глаз, набора термограмм из базы данных, было установлено, что данные точки на профиле представляются в виде двух четко выраженных пиков, симметричных относительно срединной линии лица. Тепловой профиль по строке, соответствующей зоне внутренних углов глаз, приведен на рис. 4.

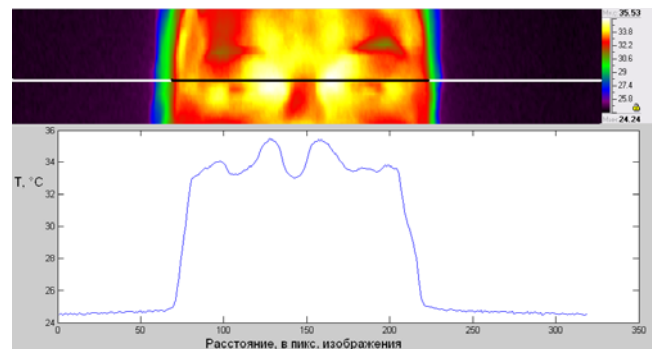


Рис. 4: Тепловой профиль по строке, соответствующей зоне внутренних углов глаз: сверху – часть исходного изображения термограммы лица (линией выделена строка, содержащая внутренние углы глаз), снизу – соответствующий ей тепловой профиль.

По результатам данных термограмм разработан алгоритм выделения области лица. Он состоит из нескольких этапов.

Первый этап: пороговая фильтрация

Первым этапом является предварительная обработка изображения методом пороговой фильтрации. Экспериментально было установлено значение этого порога $threshold$, равное $min + (max - min) / 3$, где min и max –

минимальное и максимальное, соответственно, значения температур, соответствующих человеку. Это значение соответствует температуре кожи и не включает одежду и волосы. Для каждой строки изображения находится левая и правая границы области, подозрительной на лицо, а так же точка *top_head* для всего изображения, соответствующая верхней точке потенциальной области лица.

Второй этап: вычисление интервала для нахождения линии глаз

Вторым этапом вычисляется мода для левой и правой границы области, подозрительной на лицо, мода для средней линии области, *moda_middle_line* (как мода середины отрезка между правой и левой границей каждой конкретной строки выделенной области изображения) и мода ширины области, *moda_width* (как мода разности между правой и левой границей каждой конкретной строки выделенной области изображения). Экспериментально было установлено, что значение моды ширины области, подозрительной на лицо, соответствует ширине реального лица на уровне глаз).

Исходя из пропорций лица, значения верхней точки головы и значения средней ширины рассчитывается значение линии глаз *eye_line*:

$$eye_line = top_head + round(0.68 * moda_width).$$

Экспериментально было установлено, что для более надежного определения глаз, нужно задать некий интервал *borders* для «попадания» глаз.

Таким образом, выделяется интервал, находящийся между значениями $[eye_line - borders; eye_line + borders]$.

Третий этап: поиск реальной линии глаз

Было экспериментально установлено, что глаза являются зонами гипертермии. Поэтому на выделенном интервале ведется поиск значения максимума температуры. Затем осуществляется проход маской с двумя пиками всего выделенного интервала. Среди строк, удовлетворяющих условиям, выбирается строка, где:

- Значение одного из «пиков» равно максимуму на интервале;
- «Пики» симметрично расположены относительно средней линии;
- «Пики» симметрично расположены относительно соответствующих границ лица;
- «Впадина» расположена на средней линии;
- Разница температур между «пиком» и «впадиной» больше порогового значения (экспериментально было установлено пороговое значение, равное 0,5 °C).

Выделенная строка является линией глаз.

Четвертый этап: выделение лица

На изображении расставляются маркеры глаз. Вычисляется ширина области, подозрительной на лицо, на уровне глаз и по ней рассчитывается верхний угол прямоугольника, заключающего потенциальное лицо, его длина и ширина.

Выделенная таким образом область принимается за лицо.

Предложенный метод был проверен на базе из 103 изображений 15 человек. Результат выделения лица продемонстрирован на рис. 5. По данной выборке процент верного выделения лиц составил 98%, анализ ошибочно детектированных изображений показал, что, ошибка была связана с размытостью исходной термограммы (по причине движения объекта во время съемки). В экспериментальных исследованиях было установлено, что на качество детекции лица, для конкретно взятого человека, не влияют ни изменение прически и волосяного покрова лица (наличия и отсутствия бороды, усов), температурные условия сбора изображений (сбор проводился в помещении и зимой на открытом воздухе, и в обоих случаях выделение проходило успешно).

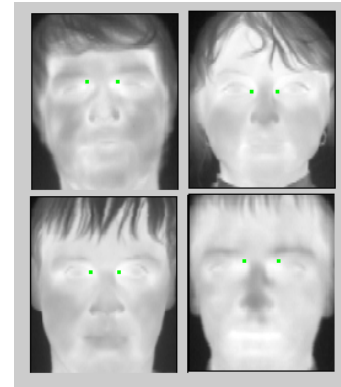


Рис. 5: Результат работы алгоритма автоматического выделения области лица.

Отдельно стоит отметить, что предложенный алгоритм демонстрирует свое быстроедействие: среднее время выделения одного лица составляет 2,07с (в среде MatLab).

С целью расширения класса термограмм, на которых применим разработанный метод выделения лица, приведем результаты детекции для термограмм, полученных в разных условиях. На рис. 6а, представлен термографический снимок, где лицо конкурирует с другими объектами. Для обработки этого термоснимка, сначала производится операция сегментирования областей, похожих на лицо (выделены 2 области: «лицо» и «чайник», находящиеся в одном температурном диапазоне и схожей площади). Далее применяется разработанный алгоритм выделения лица. Объект «чайник» был отбракован на третьем этапе: не были найдены строки, удовлетворяющие условиям линии глаз. Результат детекции лица представлен на рис. 6в.

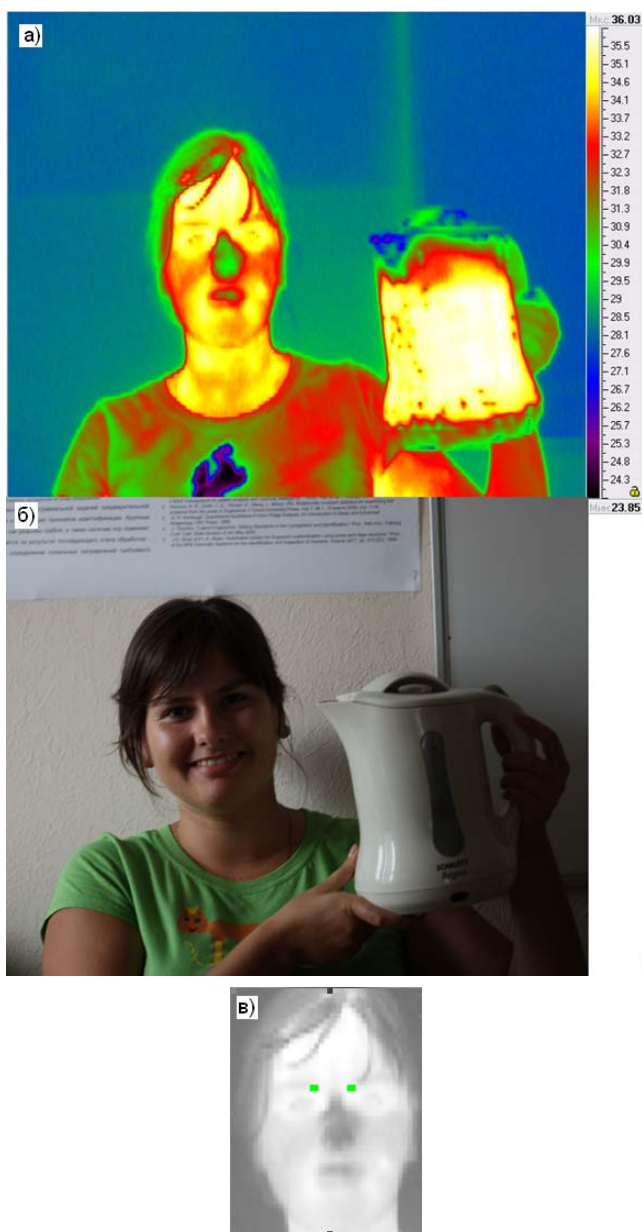


Рис. 6: Результат работы алгоритма автоматического выделения области лица: а) температурная карта, б) соответствующее ей изображение, в) выделенное лицо.

3. ВЫВОДЫ

Предложен алгоритм автоматического выделения лица на термографических изображениях. Описанный алгоритм базируется на поиске внутренних углов глаз, которые являются стабильной гипертермической областью на лице человека. Экспериментальные результаты показали, что выделенные предложенным алгоритмом точки термограммы, соответствуют внутренним углам глаз.

Стоит отметить, что данный алгоритм можно использовать как алгоритм автоматического определения присутствия человека в кадре, скажем, такая задача решается в системах охраны периметра.

В дальнейшем рассмотренный метод можно применять в задачах идентификации личности и построения интеллектуальных систем видеонаблюдения.

4. ЛИТЕРАТУРА

1 Evans, David C. «Infrared Facial Recognition Technology Being Pushed Toward Emerging Applications», Proc. SPIE Vol. 2962, 1997, p. 276-286.

2 Иваницкий Г.Р. «Современное матричное тепловидение в биомедицине», Успехи физических наук, т. 176, № 12, 2006, с. 1293-1320.

3 Куприянов В. В., Стовичек Г. В. Лицо человека: Анатомия, мимика. — М.: Медицина, 1988.

Сведения об авторах

Наталья Сергеевна Баша, аспирант кафедры Системного Анализа и Управления Международного Университета природы, общества и человека «Дубна», инженер-программист Центра высоких технологий ФГУП «Научно-исследовательского института прикладной акустики».

Людмила Александровна Шульга, кандидат технических наук, начальник лаборатории Центра высоких технологий ФГУП «Научно-исследовательского института прикладной акустики».