

Н. М. Костылев, Ф. А. Трушкин,
В. Я. Колючкин

ОБНАРУЖЕНИЕ ВИТАЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА ПО СПЕКТРАЛЬНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ КОЖИ ЛИЦА

На основе анализа существующих методов обмана биометрических систем на уровне сенсора (атак спуфинга) предложены новые подходы к оценке витальности человека по биометрическим признакам в области лица. Рассмотрен универсальный метод обнаружения витальности, основанный на анализе спектральных характеристик отражения кожи лица. Приведено математическое моделирование системы и разработан макетный образец для проведения исследований. Представлены результаты экспериментальных исследований, подтверждающие возможность создания аппаратных средств, работающих по предложенным принципам.

E-mail: kostylevnm@gmail.com

Ключевые слова: биометрические системы, цифровая обработка изображений, распознавание лица, обнаружение витальности, атака спуфинга.

На сегодняшний день идентификация личности по биометрическим признакам является одним из приоритетных направлений развития биометрических систем. Такие системы находят широкое применение в системах информационной безопасности, электронной коммерции, при раскрытии и предотвращении преступлений, судебной экспертизе, пограничном контроле, телемедицине и т. д.

Согласно принятой терминологии, биометрия (Biometrics) — область знаний, представляющая методы измерения физических характеристик и формулирования персональных поведенческих черт человека и их использования для идентификации или аутентификации человека [1]. Задачей биометрических систем распознавания является идентификация человека как определенной личности на основе его физиологических или поведенческих черт.

Независимо от используемых в системе идентификации биометрических характеристик возможны ситуации, когда злоумышленник предпримет попытку выдать себя за другого человека на различных стадиях обработки информации, в частности на уровне сенсора, где принимается изображение или сигнал от индивидуума, атаки повтора (replay) на линиях коммуникаций, атаки на базу данных, где хранятся биометрические шаблоны, атаки на модули сравнения и принятия решений. Основную потенциальную угрозу на уровне сенсора пред-

ставляют атаки спуфинга. Спуфинг (spoofing) — это обман биометрических систем путем предоставления биометрическому сенсору поддельных искусственно сформированных объектов, обладающих необходимыми биометрическими характеристиками. Такими объектами могут быть копии, муляжи, слепки с отпечатками пальцев, фотографии, видеозаписи, линзы с нанесенным изображением радужной оболочки глаза, манекены, маски лица, заранее записанные звуки и т. п. [2].

Поэтому задача по противодействию указанным действиям злоумышленников достаточно актуальна. Одним из способов решения этой задачи является дополнительный анализ признаков витальности обнаруживаемых объектов. Витальность (vitality) — жизненная сила — в приложении к системам обеспечения безопасности означает принадлежность объекта к живому человеку [3]. Анализ витальности позволяет преодолеть часть атак на биометрические системы распознавания, в которых предъявляемые поддельные образцы не обладают свойствами, характерными для живых объектов.

Поскольку решения, принимаемые в алгоритме обнаружения витальности, не зависят от базы данных розыска, выбранной структуры биометрического шаблона, выбранных методов сравнения, то можно ставить задачу о разработке таких алгоритмов как независимых элементов, которые могут функционировать совместно с любой системой распознавания. При этом каждый распознанный объект дополнительно приобретает вектор признаков витальности, значения которых можно использовать в процессе дальнейшей аналитической обработки результатов работы системы.

Особый интерес представляют биометрические системы, основанные на распознавании лица, так как в отличие от остальных биометрических систем не требуют прямого контакта с регистрирующим устройством. Эта особенность является как достоинством таких систем, поскольку значительно увеличивает пропускную способность постов контроля, так и недостатком, поскольку позволяет достаточно легко получить биометрическую информацию другого человека для организации атаки на систему.

Для регистрации лица в системах распознавания обычно применяется одна или несколько видеокамер, на обман которых и направлена атака. Для подмены биометрических характеристик злоумышленник может использовать фотографию, видеозапись, манекен, маску, грим.

Таким образом, можно сформулировать два основных требования к алгоритму обнаружения витальности:

— устойчивость ко всем перечисленным выше средствам подмены биометрических характеристик;

— использование для обнаружения витальности тех исходных данных, которые применяются для распознавания.

Последний пункт подразумевает, что для обнаружения витальности не будет использоваться дополнительное дорогостоящее оборудование.

В данной работе предложен метод обнаружения витальности, основанный на спектральных характеристиках поверхности лица. Из всех упомянутых выше объектов, используемых для подмены биометрических характеристик, только маски или грим могут иметь спектральные характеристики, близкие к коже человека. Остальные объекты по данному признаку будут обнаружены с высокой степенью надежности.

Известно [4], что зависимость спектрального коэффициента отражения кожи лица человека от длины волны падающего излучения имеет достаточно сложный вид. Графики спектральных коэффициентов отражения кожи людей различных этнических групп приведены на рис. 1. Особенности коэффициента отражения человеческой кожи связаны в первую очередь со спектральными свойствами химических элементов, входящих в состав эпидермиса и дермиса. Спектральные характеристики отражения верхнего слоя кожи (эпидермиса) обусловлены преобладающим содержанием меланина: его коэффициент поглощения высок в ультрафиолетовом диапазоне оптического излучения и снижается в красном. Этим объясняется высокий уровень отражения поверхностью кожи оптического излучения в диапазоне длин волн 650 нм.

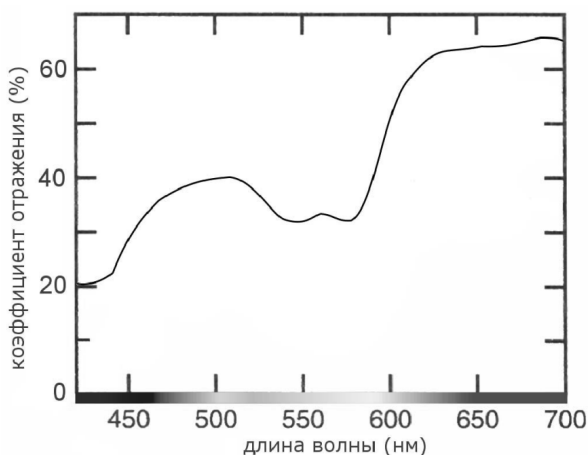


Рис. 1. Зависимость спектрального коэффициента отражения кожи лица человека от длины волны падающего излучения

Однако основное влияние на спектральные характеристики человеческой кожи в видимом диапазоне оказывает присутствие

большого количество гемоглобина во внутреннем слое кожи (дермисе). Как показывает анализ [4], все характерные локальные минимумы и максимумы коэффициента отражения кожи лица человека (сплошная линия) коррелируют с локальными максимумами и минимумами коэффициента поглощения гемоглобина (пунктирная линия) (рис. 2).

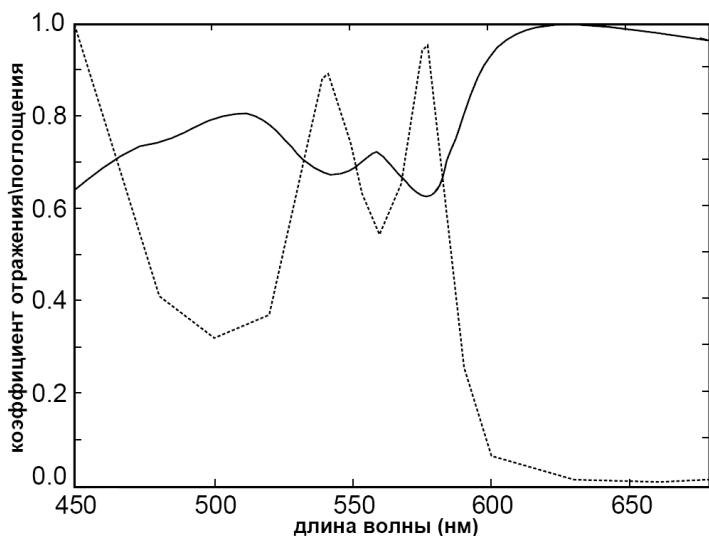


Рис. 2. Графики коэффициентов отражения кожи лица человека и поглощения гемоглобина

Перечисленные особенности спектральных характеристик отражения присущи коже людей различных этнических групп. Среднестатистическая зависимость коэффициента отражения кожи лица человека от длины волны падающего излучения представлена на рис. 3.

Спектральные характеристики отражения большинства материалов, используемых для изготовления масок лица, имеют более простой вид, чем спектральные характеристики отражения кожи. Наиболее распространенным материалом для изготовления масок лица является силикон [4]. Зависимость спектрального коэффициента отражения силикона от длины волны падающего излучения представлена на рис. 4. Из сравнения рис. 3 и 4 следует, что коже лица человека в отличие от искусственных материалов соответствует резкое возрастание коэффициента отражения в диапазоне длин волн излучения 570...650 нм. Силикону, напротив, соответствует плавное уменьшение коэффициента отражения во всем видимом диапазоне. Большинство других материалов, используемых для изготовления масок лица, имеют аналогичный вид спектральной характеристики отражения.

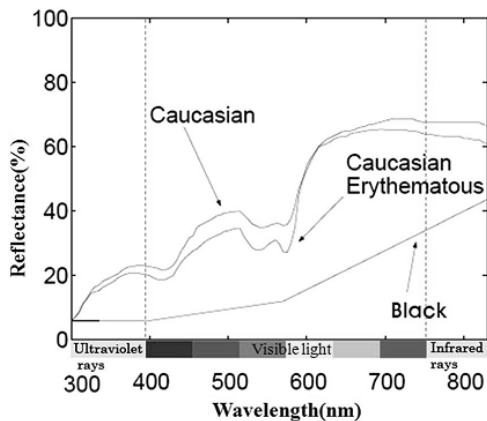


Рис. 3. Спектральные коэффициенты отражения кожи лица людей

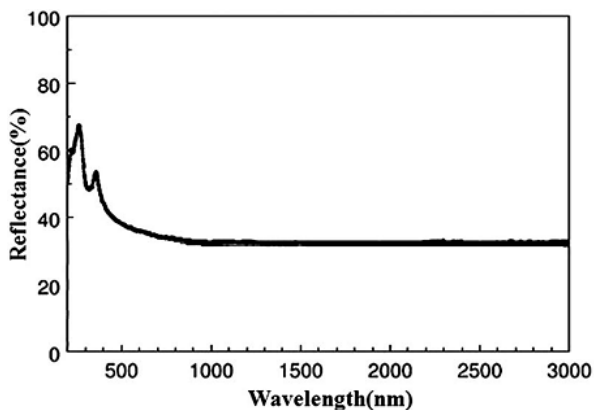


Рис. 4. Зависимость спектрального коэффициента отражения силикона от длины волны падающего излучения

Для сравнения спектральных коэффициентов отражения существующих силиконовых масок и кожи лица человека были проведены экспериментальные исследования. Поскольку система для оценки витальности объектов должна входить в состав систем видеонаблюдения, использование аппаратных средств в виде дорогостоящих спектроанализаторов является неприемлемым вариантом. Поэтому при проведении экспериментальных исследований проверяли возможность анализа спектральных признаков при использовании устройства подсветки со светодиодами, излучающими на различных длинах волн, и регистрации подсвеченных объектов телевизионной камерой.

Указанные ограничения на аппаратные средства не позволяют определять коэффициенты отражения поверхности для большого набора длин волн. Однако при выявлении характерных особенностей отражения излучения достаточно провести измерения всего для не-

скольких длин волн. Определение абсолютных значений коэффициента отражения требует сложной предварительной калибровки, но для различения объектов в данном случае достаточно оценить отношение коэффициентов отражения для различных длин волн.

В разработанной экспериментальной установке (рис. 5) оценка витальности проводится по отношению коэффициентов отражения для двух длин волн. Для подсветки объекта поочередно использовали две группы светодиодов, излучающих на длинах волн 450 и 685 нм, в изолированном от других источников излучения помещении. Регистрацию объекта осуществляли с помощью телевизионной камеры, обработку зарегистрированных изображений — на персональном компьютере.

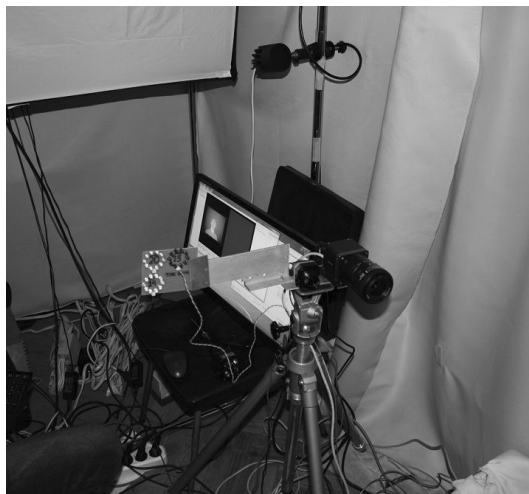


Рис. 5. Экспериментальная установка

В ходе эксперимента регистрировали области лба людей в силиконовых масках и без масок при подсветке диодами двух типов. Примеры исходных снимков приведены на рис. 6. Для анализа коэффициента отражения выбрана небольшая область в центре лба — наиболее плоская и равномерно отражающая область лица (отмечена квадратом на рис. 6). Выбор такой области анализа позволяет минимизировать погрешность, связанную с неравномерностью распределения освещенности при подсветке.

В результате эксперимента для каждого человека имеются два цветных цифровых изображения центральной области лба, полученные при подсветке лица на длинах волн 450 и 685 нм. Каждое цифровое изображение представляет собой три матрицы: R , G и B . Для оценки спектральных характеристик зарегистрированных объектов необходимо найти связь между указанными матрицами и спектральным коэффициентом отражения.

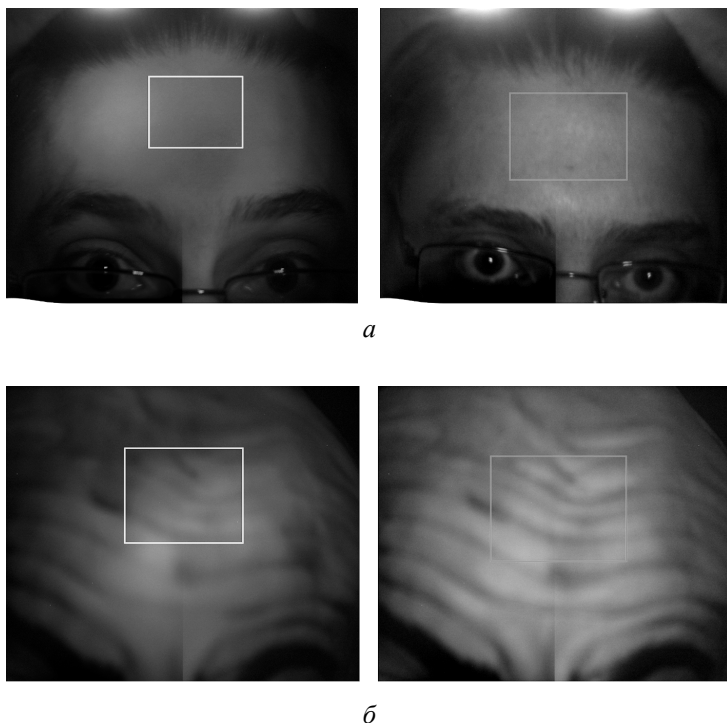


Рис. 6. Пример исходных изображений человека без маски (а) и в маске (б)

Элементы каждой матрицы — значения редуцированного потока, падающего на пиксели матрицы определенного типа (R , G или B соответственно). Изображению, полученному при длине волны подсветки 685 нм, соответствуют матрицы R_1 , G_1 и B_1 . Поскольку к красному излучению наиболее чувствительны пиксели R , для анализа первого изображения следует использовать только матрицу R_1 , т. е. рассматривать его только в красном канале. Изображению, полученному при длине волны подсветки 450 нм, соответствуют матрицы R_2 , G_2 и B_2 . Поскольку к зеленому излучению наиболее чувствительны пиксели G , для анализа второго изображения следует использовать только матрицу G_2 , т. е. рассматривать его только в зеленом канале. Среднее значение редуцированного потока для первого (красного) изображения можно вычислить по формуле

$$r = \frac{1}{N \times M} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M R_1(i, j), \quad (1)$$

где N , M — размеры области в пикселях.

Среднее значение редуцированного потока для второго (зеленого) изображения можно рассчитать по формуле

$$g = \frac{1}{N \times M} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M G_2(i, j). \quad (2)$$

Выразим редуцированный поток на матрице через параметры источника излучения и параметры элементов, преобразующих излучение, а именно светофильтров матрицы, объектива и поверхности лба. Освещенность E , создаваемая группой диодов в анализируемой области лба, прямо пропорциональна мощности P светодиодов: $E = C_1 P$, где C_1 — величина, зависящая от размера области, расстояния до объекта и индикатрисы источника. Светимость указанной площадки

$$M = \rho E = C_1 \rho P,$$

где ρ — коэффициент отражения объекта (лба).

Можно приближенно принять, что небольшой участок лба является плоским. Тогда поток, падающий на приемник излучения, будет пропорционален светимости площадки:

$$\Phi_{\text{п.и}}(\lambda) = C_2 \tau_{\text{об}} M = C \tau_{\text{об}} \rho P,$$

где C_2 — величина, зависящая от размера области, расстояния до объекта, относительного отверстия объектива, размера приемника излучения; $\tau_{\text{об}}$ — коэффициент пропускания объектива; $C = C_1 C_2$. Тогда спектральная плотность потока излучения, падающего на приемник излучения,

$$\Phi_{\text{п.и}}(\lambda) = C \tau_{\text{об}}(\lambda) \rho(\lambda) \Phi_{\text{д}}(\lambda), \quad (3)$$

где $\Phi_{\text{д}}(\lambda)$ — спектральная плотность потока излучения группы диодов.

Обозначим спектральные чувствительности пикселей матрицы трех типов через $K_R(\lambda)$, $K_G(\lambda)$ и $K_B(\lambda)$, спектральную плотность потока излучения первой (красной) группы светодиодов — $\Phi_R(\lambda)$, а второй (зеленой) группы светодиодов — $\Phi_G(\lambda)$. Учтем, что индикатрисы излучения двух групп светодиодов совпадают, также при последовательной подсветке разными группами диодов неизменными остаются дистанция съемки и размер анализируемой области объекта. Следовательно, для одного объекта коэффициент C является константой.

Таким образом, редуцированный поток в красном канале при подсветке объекта первой группой светодиодов

$$r = \int_0^{\infty} K_R(\lambda) C \tau_{\text{об}}(\lambda) \rho(\lambda) \Phi_R(\lambda) d\lambda, \quad (4)$$

а редуцированный поток в зеленом канале при подсветке объекта второй группой светодиодов

$$g = \int_0^{\infty} K_G(\lambda) C \tau_{об}(\lambda) \rho(\lambda) \Phi_G(\lambda) d\lambda. \quad (5)$$

Поскольку светодиоды излучают в узком спектральном диапазоне, то выражения (4) и (5) можно преобразовать к следующему виду:

$$r = CP_R K_R(\lambda_1) \tau_{об}(\lambda_1) \rho(\lambda_1); \quad (6)$$

$$g = CP_G K_G(\lambda_2) \tau_{об}(\lambda_2) \rho(\lambda_2), \quad (7)$$

где $\lambda_1 = 685$ нм; $\lambda_2 = 450$ нм.

Отношение редуцированных потоков

$$\frac{r}{g} = \frac{P_R K_R(\lambda_1) \tau_{об}(\lambda_1) \rho(\lambda_1)}{P_G K_G(\lambda_2) \tau_{об}(\lambda_2) \rho(\lambda_2)}. \quad (8)$$

Таким образом, искомое отношение спектральных коэффициентов на двух длинах волн

$$\frac{\rho(\lambda_1)}{g} = \frac{P_G K_G(\lambda_2) \tau_{об}(\lambda_2)}{P_R K_R(\lambda_1) \tau_{об}(\lambda_1)} \frac{r}{g} = K \frac{r}{g'}, \quad (9)$$

где $K = \frac{P_G K_G(\lambda_2) \tau_{об}(\lambda_2)}{P_R K_R(\lambda_1) \tau_{об}(\lambda_1)}$ — коэффициент, зависящий только от параметров компонентов макетного образца. Подставив в формулу (9) выражения (1) и (2), получим

$$\frac{\rho(\lambda_1)}{\rho(\lambda_2)} = K \left(\frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M R_1(i, j)}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M G_2(i, j)} \right). \quad (10)$$

Выражение (10) представляет собой итоговую формулу для расчета соотношения спектральных коэффициентов отражения по экспериментальным данным. В предложенном методе эта величина является количественной характеристикой витальности. На рис. 1 видно, что для кожи лица человека рассчитанное соотношение коэффициентов отражения должно лежать в диапазоне значений 1,9...2,4. Если в результате эксперимента этот показатель оказывается в данном диапазоне, то система определяет, что был зарегистрирован живой человек, в противном случае — маска лица человека.

Для точного определения коэффициента K необходимо проводить предварительную калибровку системы. Если для поверхности некоторого объекта выполняется равенство

$$\rho(\lambda_1) = \rho(\lambda_2), \quad (11)$$

то по формуле (9) коэффициент $K = \frac{g_W}{r_W}$, где g_W, r_W — редуцированные потоки на приемнике излучения при съемке такого объекта (тест-объекта). Расчет данных редуцированных потоков проводили по формулам (1) и (2). Равенство (11) с высокой точностью выполняется для матовой белой бумаги. Таким образом, процесс калибровки сводится к предварительной регистрации плоской поверхности белой бумаги на двух длинах волн.

В экспериментальных исследованиях участвовали 10 человек без масок, а также двое в масках двух видов (рис. 7). Перед началом регистрации лиц по описанной выше методике была проведена калибровка системы, в результате которой вычислен коэффициент K ; его значение составило 0,787.



Рис. 7. Маски лиц, на которых проводились испытания

Регистрация лица каждого из 10 человек, а также двух людей в масках, проводилась в изолированном от внешних источников помещении только при подсветке определенным типом диодов. Результаты обработки полученных данных: $\rho(\lambda_1) / \rho(\lambda_2)$ для 10 лиц без маски равно 2,05, 2,08, 2,08, 2,01, 2,11, 2,02, 2,12, 2,09, 2,07, 2,01 соответственно, для двух лиц в маске — 1,49 и 1,17.

Следует отметить, что полученные в результате экспериментальных исследований показатели витальности кожи лица человека лежат в диапазоне значений 2,01...2,12, что полностью согласуется с теоретическими данными.

Обе маски, используемые в испытаниях, являются силиконовыми. Как видно на рис. 4, для силикона исследуемый показатель должен быть меньше единицы, однако в результате испытаний для двух масок были получены значения 1,17 и 1,49. Это связано с тем, что на поверхность маски нанесен тонкий слой краски. Тем не менее эти показатели витальности не характерны для кожи человека, так как не попадают в диапазон значений 1,9...2,4. Следовательно, маски такого типа можно отличить от кожи лица человека разработанным методом.

При современном темпе развития технологий могут появиться более совершенные маски, спектральные характеристики которых приближены к характеристикам кожи человека. Обнаружение таких масок данным методом будет затруднительным, однако при детальном анализе спектра с использованием большего числа длин волн обнаружить отличия возможно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Традиционные методы биометрической аутентификации и идентификации / В. М. Колешко, Е. А. Воробей, П. М. Азизов и др. // Информатика человека и биосистем: учебное электронное издание. Минск: БНТУ, 2009. 107 с.
2. Алгулиев Р. М., Имамвердиев Я. Н. Методы обнаружения живучести в биометрических системах. Баку: Институт информационных технологий НАН Азербайджана, 2009.
3. Derakhshani R. Determination of Vitality From A Non-Invasive Biomedical Measurement for Use in Integrated Biometric Devices // West Virginia University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Electrical Engineering, 1999.
4. Youngshin Kim, Jaekeun Na, Seongbeak Yoon, Juneho Yi. Masked fake face detection using radiance measurements // Optical Society of America. 2009. Vol. 26. No 4. P. 760–765.

Статья поступила в редакцию 26.09.2012.