

ИНФОРМАТИВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ БИОМЕТРИЧЕСКОЙ АУТЕНТИФИКАЦИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПО ИНФРАКРАСНОМУ ИЗОБРАЖЕНИЮ СОСУДИСТОГО РУСЛА

Введение

В настоящее время информационные системы (ИС) различного масштаба стали неотъемлемой частью базовой инфраструктуры государства, бизнеса, гражданского общества. Все больше защищаемой информации переносится в ИС. Современные информационные технологии не только обеспечивают новые возможности организации бизнеса, ведения государственной и общественной деятельности, но и создают значительные потребности в обеспечении безопасности для защиты информации.

Известно, что более 25 % злоупотреблений информацией в ИС совершаются внутренними пользователями, партнерами и поставщиками услуг, имеющими прямой доступ к ИС. До 70 % из них — случаи несанкционированного получения прав и привилегий, кражи и передачи учетной информации пользователей ИС [1], что становится возможным из-за несовершенства технологий разграничения доступа и аутентификации пользователей ИС. Совершенствование методов системы управления доступом и регистрации пользователей является одним из приоритетных направлений развития ИС.

Основными процедурами регистрации пользователей в ИС являются процедура идентификации — получение ответа на вопрос «Кто Вы?» и аутентификации — доказательства того, что «Вы именно тот, кем представляетесь». Несанкционированное получение злоумышленником доступа к ИС связано, в первую очередь, с нарушением процедуры аутентификации. В зависимости от типа данных, которые используются для проверки подлинности пользователя, выделяют три фактора аутентификации: на основе знаний чего-либо, на основе обладания чем-либо и на основе биометрических характеристик.

Наиболее распространенным методом аутентификации пользователей является аутентификация на основе пароля — обладания секретным знанием. Чем длиннее пароль, тем он более стойкий, но, во-первых, длинные и сложные пароли труднее запомнить, во-вторых, требуется больше времени для ввода пароля. К тому же существует более десяти методологических и организационных способов атак на системы, в которых используется аутентификация на основе пароля. В настоящее время системы аутентификации на основе знания чего-либо являются самыми ненадежными [2].

При аутентификации на основе обладания чем-либо пользователь подтверждает свою подлинность предоставлением системе некоего физического носителя, например USB-ключа или смарт-карты. Но данный вид аутентификации обладает сходными с парольной аутентификацией недостатками, а физический носитель может быть передан, скопирован, украден и т. д.

В последнее время все больше внимания уделяется аутентификации на основе биометрических характеристик. В отличие от физического ключа, биометрическую характеристику невозможно передать и существенно сложнее подделать. Биометрическая идентификация является перспективным направлением развития систем аутентификации ИС, позволяющим устранить и решить ряд проблем аутентификации на основе более привычных и традиционных факторов.

Наиболее широкое применение в биометрической аутентификации получили следующие биометрические характеристики [3]:

- отпечаток пальца;
- радужная оболочка глаза;
- геометрия лица;
- сетчатка;



- голос;
- подпись.

Однако в ряде случаев применение указанных биометрических характеристик пользователя (БХП) осложнено. БХП геометрия лица обладает низкой уникальностью и, как следствие, значительными ошибками биометрической системы. Для получения шаблона на основе сетчатки и радужной оболочки глаза требуется дорогостоящее оборудование, а процедура регистрации является неприятной. Параметры голоса и подписи характеризуются низкой стабильностью и в значительной степени зависят от эмоционального состояния пользователя. Дактилоскопические системы в настоящее время широко применяются в криминалистической практике, в связи с чем имеют низкую лояльность у пользователей ИС. Кроме того, при использовании контактных сканеров отпечатков пальцев возникают вопросы соблюдения санитарных норм.

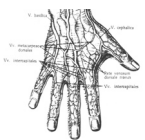

Устранить недостатки существующих методов биометрической аутентификации позволит разработка новых бесконтактных устройств и методов, ранее не применявшихся в криминалистике, имеющих низкую стоимость конечного решения и не подвергающих пользователей риску причинения вреда здоровью, но обладающих, тем не менее, высокой уникальностью, собираемостью и стабильностью.

К подобным новым методам биометрической идентификации пользователей относится, в первую очередь, биометрическая идентификация по изображению сосудистого русла, полученному на основе инфракрасной (ИК) визуализации тканей человека. Устройство визуализации сосудистого русла является бесконтактным, а процедура регистрации БХП не вызывает у пользователей негативной реакции. На сегодняшний день в сфере биометрической идентификации пользователей по ИК-изображению сосудистого русла развиваются такие крупные компании, как Fujitsu, Sony, Hitachi.

В настоящее время, кроме биометрической аутентификации, ИК-визуализация сосудистого русла используется для решения широкого круга медицинских, биологических, исследовательских и криминалистических задач: ранняя диагностика варикозной болезни, определение размеров подкожных гематом, визуализация вен для внутривенного введения лекарственных средств и т. д. [4].

Тем не менее современные системы биометрической аутентификации пользователей ИС по ИК-изображению сосудистого русла не находят широкого применения в первую очередь в связи с отсутствием формализованного комплекса идентификационных характеристик сосудистого русла (КИХСР).

Технология биометрической аутентификации пользователей по ИК-изображению сосудистого русла

<p>Этап I</p>	<p>Визуализация вен</p> 	<p>Процесс формирования контрастного изображения сосудистого русла, полученного в ИК-диапазоне длин волн</p>																	
<p>Этап II</p>	<p>Определение параметров структуры и формы сосудистого русла</p> <table border="1" data-bbox="507 1825 670 1993"> <thead> <tr> <th>Тип ИС</th> <th>Параметры</th> <th>Иллюстрация</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">Оформление</td> <td>(0, 0, 0)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>(0, 0, 90)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>(0, 0, 1)</td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Направление</td> <td>(0, 0, 0)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>(0, 0, 90)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>(0, 0, 1)</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> 	Тип ИС	Параметры	Иллюстрация	Оформление	(0, 0, 0)		(0, 0, 90)		(0, 0, 1)		Направление	(0, 0, 0)		(0, 0, 90)		(0, 0, 1)		<p>Обработка изображения, обнаружение контрольных точек и определение их типа</p>
Тип ИС	Параметры	Иллюстрация																	
Оформление	(0, 0, 0)																		
	(0, 0, 90)																		
	(0, 0, 1)																		
Направление	(0, 0, 0)																		
	(0, 0, 90)																		
	(0, 0, 1)																		

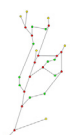
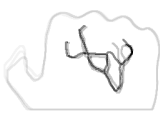
Этап III	Построение биометрического шаблона  $V = \varphi[P] = \left\{ \begin{matrix} \rho_i \\ \varphi_i \end{matrix} \right\}$ $M_{P_i P_j}$	Вычисление комплекса идентификационных характеристик сосудистого русла
Этап IV	Сопоставление биометрических шаблонов 	Выполнение алгоритмов определения меры схожести биометрических шаблонов для установления принадлежности предъявленного шаблона определенному пользователю

Рис. 1. Этапы работы системы биометрической аутентификации пользователя по ИК-изображению сосудистого русла

В основе технологии биометрической аутентификации пользователей по ИК-изображению сосудистого русла лежит оптическая визуализация подкожного венозного сосудистого русла, результатом которой является изображение. Для получения изображения в биометрическом устройстве применяется эпископическая оптическая схема, формирующая изображение в отраженном от биологического объекта свете. На регистрируемую область кожных покровов тела человека падает зондирующее излучение определенной длины волны. Отраженное излучение фиксируется фоточувствительным датчиком и представляет собой изображение с пространственным распределением интенсивностей этого излучения.

Формирование изображения основано на разнице в коэффициентах поглощения основных поглощающих элементов тканей на разных длинах волн: меланина, воды, оксигемоглобина (насыщенного кислородом гемоглобина) и дезоксигемоглобина (восстановленного гемоглобина). В ультрафиолетовом и видимом спектрах излучения интенсивно поглощается меланином. На длинах волн выше 0,9 мкм резко возрастает коэффициент поглощения содержащейся в подкожно-жировой клетчатке воды. Рабочим диапазоном длин волн, в котором выполняется зондирование тканей человека, является диапазон от 0,75 до 0,9 мкм (Рис. 2) [5, 6, 7].

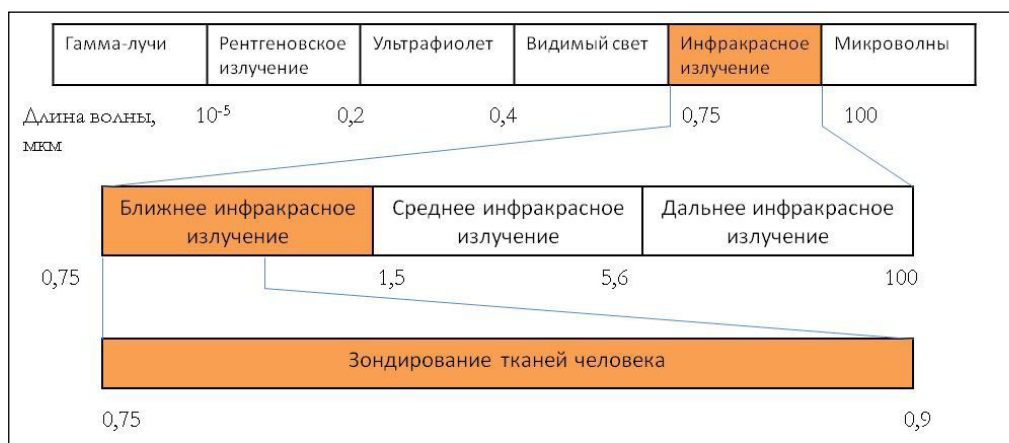


Рис. 2. Длины волн зондирующего излучения

Однако более точная настройка длины волны зондирующего излучения позволяет значительно повысить качество регистрируемого изображения. Основным показателем качества

ИК-изображения является контраст сосудистого русла на фоне окружающих тканей. Выполненные теоретические расчеты, подтвержденные эмпирическими исследованиями, показывают, что пиковая длина волны зондирующего излучения должна лежать в диапазоне 820–880 нм, а ширина спектра зондирующего излучения должна быть не более 150 нм [8].

Комплекс идентификационных характеристик сосудистого русла

Полученное в процессе ИК-визуализации изображение подвергается цифровой обработке, направленной на обнаружение контрольных точек и вычисление на их основе комплекса идентификационных характеристик сосудистого русла. КИХСР используется в качестве биометрического шаблона в процедурах биометрического сопоставления и представляет собой абстракцию структуры и формы реального сосудистого русла, основанную на описании в виде неполного плоского графа, вершинами которого являются контрольные точки, соединенные ребрами графа.

Необходимость и достаточность КИХСР определена исходя из адекватности КИХСР комплексу морфологических параметров сосудистого русла (КМПСР), являющемуся совокупностью количественных морфологических признаков сосудов. На основе исследований научной литературы было установлено, что КМПСР включает диаметр сосуда, средний диаметр сосудистого русла, среднюю протяженность сосудистого русла, коэффициент извитости сосуда, плотность сосудистого русла, углы сосудов, длину сосуда [9–12]. Условно эти параметры можно разделить на две группы — первичные параметры, численные признаки, определяемые непосредственно по структуре и форме сосудистого русла, и вычисляемые параметры — признаки, вычисление которых происходит на основе первичных параметров и априорного знания о структуре и форме сосудистого русла.

Таблица 1. Комплекс морфологических параметров сосудистого русла

№	Группа параметров	Параметр	Обозначение	Способ определения	Иллюстрация
1	Первичные параметры	Диаметр сосуда	D	Непосредственные измерения	
2		Длина сосуда	l		
3		Угол сосуда (угол бифуркации)	α		



4	Вычисляемые параметры	Средний диаметр сосудов	D_{cp}	$D_{cp} = \frac{\sum D_i}{N}$	Отсутствует
5		Средняя протяженность сосудистого русла	l_{cp}	$l_{cp} = \frac{\sum l_i}{N}$	Отсутствует
6		Коэффициент извитости сосуда	k	$k_i = \frac{l_i}{L}$	
7		Плотность сосудистого русла	ρ	$\rho = \frac{\sum l_i \cdot D_i}{S_{obj}}$	Отсутствует

Приведенный комплекс параметров в полной мере описывает структуру и форму сосудистого русла, а адекватность КИХСР определяется исходя из условия достаточности для его вычисления. В соответствии с заложенными в КИХСР принципами пространственно-геометрического моделирования структурированных образов, КМПСР может быть выражен с использованием КИХСР (Таблица 2).

Таблица 2. Преобразование КИХСР в КМПСР

КМПСР	Преобразование	КИХСР
Диаметр сосуда, D	$\omega_{p_i p_j}$	$\omega_{p_i p_j} \subset M_{N \times N}$, где $\omega_{p_i p_j}$ – вес ребра; $M_{N \times N}$ – матрица смежности КИХСР; N – количество контрольных точек
Длина сосуда, l	$\left\{ \begin{array}{l} l = \sum_i \sum_j \Omega(\mu(p_i, p_j)) \\ i, j \in Q \\ i \neq j \end{array} \right.$	$M_{N \times N} \Rightarrow \mu(p_i, p_j)$, где $\mu(p_i, p_j)$ – мера расстояния; $\Omega(Y)$ – оператор преобразования длины сплайна; Q – множество точек КИХСР, образующих сосуд
Угол сосуда (угол бифуркации), α	$\left\{ \begin{array}{l} \alpha \rightarrow A(p_i) \\ p_i \in B \end{array} \right.$	$M_{N \times N}, V_N$ V_N – матрица координат; A – оператор преобразования координат в углы; B – множество контрольных точек сосудистого русла типа бифуркация



Средний диаметр сосудов, D_{cp}	$D_{cp} = \frac{\sum_i \sum_j \omega_{p_i p_j}}{N},$ $i \neq j$	$\omega_{p_i p_j} \subset M_{N \times N}$
Средняя протяженность сосудистого русла, l_{cp}	$l_{cp} = \frac{\sum_i \sum_j \mu(p_i, p_j)}{N},$ $i \neq j$	$M_{N \times N}, V_N$
Коэффициент извитости, k	$\left\{ k_{ij} = \frac{\sum_z \mu(p_z, p_{z+1})}{\mu(p_i, p_j)} \right.$ $z \in Q$	$M_{N \times N}, V_N$
Плотность сосудистого русла, ρ	$\rho = \frac{\sum_i \sum_j \omega_{p_i p_j} \cdot l}{S_{obj}}$	$M_{N \times N}, V_N;$ S_{obj} – площадь объекта

Стабильность КИХСР

Биометрическая аутентификация пользователей по ИК-изображению сосудистого русла основывается на предположении о том, что КМПСР индивидуален для каждого человека и стабилен в течение периода жизни биометрического шаблона. На основе проведенных исследований в области генетики и анализа процессов нормального развития сосудов у эмбриона было установлено, что сосудистые предшественники начинают формировать разветвленные сосудистые сплетения на основе полученного генетического кода, а финальные морфологические параметры сосудистого русла предопределены комбинациями генетического программирования и внешними влияниями, такими как гипоксия, токсическое отравление и т. д. [13]. Наличие генетических программ формирования сосудистого русла показывает, что структура и форма сосудистого русла, описываемая КМПСР, является уникальной для каждого человека.

Для определения стабильности параметров сосудистого русла и биометрического шаблона с течением времени необходимо оценить степень изменений параметров на протяжении определенного интервала времени. Оценку разбросов параметров внутри группы возможно выполнить на основе выявления тренда параметров, значения которых получены эмпирически.

При планировании эксперимента было поставлено две цели исследований и проводимых на их основе вычислений. Первая цель — определение стабильности КМПСР в течение длительного промежутка времени. Вторая цель — определение краткосрочных изменений КМПСР при воздействии факторов окружающей среды. Основным методом получения данных в эксперименте стал метод дискретных проб и последующего автоматизированного вычисления КИХСР. Для фиксации результатов была разработана карта измерений (Таблица 3).

Таблица 3. Карта измерений

№	№ пробы	Дата, время	Воздействие [состояние]	Параметр								
				1	2	3	4	5	6	7		
1...14	1...5		[спокойное, физ. нагрузка, хим. нагрузка, температурная нагрузка]									



Выбор зоны регистрации изображения был произведен на основе следующих критериев:

- медико-биологический. Для построения биометрического шаблона и обеспечения его стабильности в течение длительного промежутка времени, а также снижения вероятности краткосрочных измерений необходимо выбрать участок тела, в подкожно-жировом слое которого существует возможность визуализировать сосуды, вероятность возникновения и частота встречаемости заболеваний которых крайне низка;
- социальные. Регистрация изображений сосудистого русла не должна вызывать морально-этических противоречий;
- целевые. Регистрация должна обеспечивать целевые преимущества технологии — возможность скрытой, бесконтактной регистрации.

Таким критериям удовлетворяет регистрация верхних конечностей человека — тыльной части кисти руки и ладони;

Определение стабильности КМПСР в течение длительного промежутка времени.

В исследовании принимали участие 14 испытуемых, которым в соответствии с картой проб были присвоены порядковые номера от 1 до 14. Для каждого испытуемого с периодом 3–8 дней производилась регистрация изображения сосудистого русла кисти руки. Длительность исследования в целом составила 170 дней, в течение которых было зарегистрировано 2380 изображений. На каждого испытуемого пришлось около 170 изображений.

По каждому изображению в автоматизированном режиме был рассчитан КИХСР. Для реализации автоматизированного режима расчета было разработано специальное программное обеспечение, выполняющее расчеты по расставляемым вручную на изображениях контрольным точкам. КМПСР был получен из КИХСР численным преобразованием (Таблица 2).

Оценка изменений параметров в группе была выполнена на основе выявления трендов критерием серий и инверсий. Расчеты показали отсутствие тренда, следовательно, изменения в группах признаков можно считать статистически незначимыми [14].

Определение краткосрочных изменений КМПСР.

Краткосрочные изменения КМПСР кисти руки проверялись путем воздействия на организм человека внешних факторов:

- физическая нагрузка — серия физических упражнений, направленных на повышение сердечно-сосудистого тонуса;
- химическая нагрузка, вызванная курением;
- тепловая нагрузка — охлаждение регистрируемой части тела человека.

Выбор контрольной группы был осуществлен из испытуемых, принимающих участие в длительном исследовании. Для выявления значимых краткосрочных изменений КМПСР был использован парный критерий Стьюдента, так как условно контрольная выборка (выборка параметров до воздействия) и выборка после воздействия соответствуют нормальному распределению. В результате проведенных расчетов было установлено, что влияние используемых внешних факторов статистически незначимо и КМПСР можно считать стабильным при воздействии внешних факторов.

Однако в ходе экспериментов было отмечено, что контраст регистрируемого изображения меняется значительно в зависимости от типа воздействия. После выкуривания сигареты контраст изображения увеличивался в среднем на 10 %, при охлаждении кисти руки — на 5 %. Этот факт объясняется снижением способности гемоглобина связывать кислород (например, в силу возникшей связи с СО), ростом концентрации дезоксигемоглобина в крови и увеличением коэффициента поглощения излучения кровью подкожного сосудистого русла. Подобный эффект был ожидаем.



Выводы

В процедурах биометрической аутентификации пользователей используется биометрический шаблон, основанный на комплексе идентификационных характеристик сосудистого русла. Адекватность данного комплекса комплексу морфологических параметров сосудистого русла показывает соответствие модели структуры и формы сосудистого русла современным данным о количественных морфологических параметрах сосудов.

Статистическая интерпретация эмпирических данных о стабильности морфологических параметров сосудистого русла показывает, что параметры сосудистого русла обладают высокой стабильностью в течение продолжительного времени и могут быть рекомендованы для использования в процедурах биометрической идентификации и вычисления биометрического шаблона. Полученные результаты подтверждают целесообразность применения биометрической идентификации по инфракрасным изображениям сосудистого русла для аутентификации пользователей ИС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. 2011 Data Breach Investigations Report. URL: http://www.verizonbusiness.com/resources/reports/rp_data-breach-investigations-report-2011_en_xg.pdf.
2. *Афанасьев А. А. и др.* Аутентификация. Теория и практика обеспечения безопасного доступа к информационным ресурсам. Учебное пособие для вузов / Под ред. А. А. Шелупанова, С. Л. Груздаева, Ю. С. Нахаева. М.: Горячая линия — Телеком, 2009.
3. Применение биометрических технологий в медико-биологической практике. URL: http://biometric.bmstu.ru/category/primenenie_biometrii.
4. *Тихонов И. А.* Технология биометрической идентификации по ИК изображениям сосудистого русла кисти руки // Научно-молодежная школа по биометрическим технологиям для медико-биологических анализов и функциональной диагностики в рамках 9-й МНТК «Физика и электроника в медицине и экологии ФРЭМЭ'2010»: Материалы. Владимир, 2010. С. 124–128.
5. *Anderson R. R., Hu J., Parrish J. A.* Optical radiation transfer in the human skin and applications in vivo remittance spectroscopy: bioengineering and the skin / Eds. by R. Marks, P. A. Payne. Lancaster: MTP Press, 1981.
6. Оптическая биомедицинская диагностика. В 2 т. Т. 1 / Пер. с англ. под ред. В. В. Тучина. М.: Физматлит, 2007. — 560 с.
7. *Anderson R. R., Parrish J. A.* Optical properties of human skin // *The Science of Photomedicine* / J. D. Regan, J. A. Parrish eds. New York—London: Plenum Press, 1982. P. 147–194.
8. *Тихонов И. А., Спиридонов И. Н.* Инфракрасная визуализация кожных покровов // Биомедицинская техника и радиоэлектроника. 2010. № 9. С. 26–32.
9. *Горчаков В. Н.* Морфологические методы исследования сосудистого русла / Сиб. отд-ние РАМН. Институт клинической и экспериментальной лимфологии. Новосибирск: Изд-во Сиб. отд-ния РАМН, 1997. — 439 с.
10. *Готов В. А.* Искривление микрососудов и конфигурация микрососудистых бифуркаций, пластичность микрососудистых сетей // Российские морфологические ведомости. 1994. № 4.
11. *Романовский А. Е., Горчаков В. Н., Цыбин А. Б.* Унифицированный метод импрегнации нервной и сосудистой систем на плечатых препаратах. Новосибирск, 1981. — 23 с.
12. *Клячкин Л. М., Добровольский Г. А. и др.* Микроциркуляция. Саратов, 1981.
13. *Coultas L., Chauwengsaksophak K., and Rossant J.* Endothelial cells and VEGF in vascular development // *Nature*. 2005. № 7070 (1438). P. 937–945.
14. *Гланц С.* Медико-биологическая статистика. Пер. с англ. М., Практика, 1998. — 459 с.

