

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ БИОМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ АЙТРЕКЕРА TOBII X2-30

А. В. Лямин<sup>а</sup>, канд. техн. наук, доцент

Е. Н. Череповская<sup>а</sup>, старший лаборант

<sup>а</sup>Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург, РФ

**Цель:** биометрическая идентификация на основе анализа движения глаз обладает высокой степенью защиты от подлога. Точность этого метода идентификации зависит от анализируемых параметров движения глаз, применяемых стимулов, а также частоты прибора регистрации траектории взгляда. Цель исследования заключается в определении параметров движения глаз, имеющих наиболее существенное значение для идентификации, а также стимулов, которые нужно использовать, чтобы выявить характерные особенности движения глаз конкретного человека на основе данных низкочастотного прибора регистрации траектории взгляда Tobii X2-30. **Результаты:** проведены экспериментальные исследования идентификации личности на основе анализа движения глаз, зафиксированного с помощью айтрекера Tobii X2-30, при воздействии двух различных стимулов. Данные, полученные с помощью систем регистрации траектории взгляда, в том числе и низкочастотных, могут быть использованы для идентификации личности человека. Анализ данных двух экспериментов показал, что ошибка идентификации может варьироваться от 0 до 40 % в зависимости от рассматриваемого параметра движения. В ходе обработки результатов второго эксперимента было выявлено, что анализ саккад обеспечивает более точную идентификацию по сравнению с анализом параметров, рассчитанных для фиксаций, за счет снятия ограничения на скорости и амплитуды движений глаза. По результатам второго эксперимента определено, что значение ускорения взгляда при рассмотрении саккад может быть использовано для идентификации личности. **Практическая значимость:** полученные в ходе проведенного экспериментального исследования результаты подтверждают возможность использования низкочастотных систем регистрации траектории взгляда в целях идентификации личности человека.

**Ключевые слова** — информационные системы, биометрические методы идентификации, анализ движения глаз.

### Введение

Разработка надежных, недорогих и удобных методов идентификации пользователей — серьезная проблема из-за растущего спроса на услуги, которые предоставляются информационными системами. Под идентификацией в информационных системах понимают установление личности пользователя (идентификатора) по характерным признакам (факторам). Традиционные методы идентификации делятся на два типа. Первый тип предполагает наличие у пользователя специального компактного устройства: USB-ключа, пластиковой карты и т. п. Однако эти устройства легко украсть, их можно потерять или повредить. Второй тип методов основывается на специальных знаниях пользователя, когда система запрашивает ввод пароля или же воспроизведение некоторых графических комбинаций. Несмотря на то что методы данного типа широко используются в информационных системах, они не лишены недостатков. Во-первых, они не предоставляют достоверной информации о пользователе, так как невозможно определить личность человека, основываясь лишь на проверке правильности введенного пароля. Во-вторых, они требуют от пользователей запоминания большого количества лишней информации, например паролей, вопросов и от-

ветов для их восстановления, графических комбинаций.

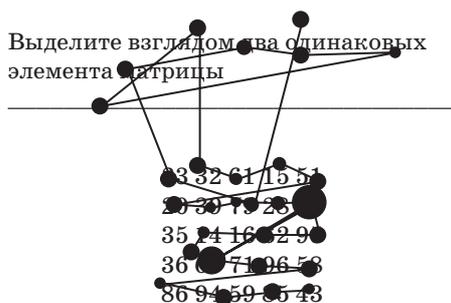
Отмеченные недостатки традиционных методов идентификации способствуют увеличению интереса к методам идентификации на основе биометрических данных. По сравнению с традиционными методами идентификации биометрические методы обеспечивают более защищенные способы контроля доступа на основе анализа физиологических особенностей (отпечатка пальца [1], формы ладони [2], геометрии лица [3], формы ушной раковины [4], узора радужной оболочки глаза [5], рисунка кровеносных сосудов на сетчатке глаза [6] и т. д.); поведенческих характеристик (походки [7], подписи [8], электронного почерка [9], голоса [10], траектории взгляда [11], электрической активности сердца [12] или мозга [13] и т. д.), а также какого-либо сочетания вышеперечисленных факторов (многофакторные методы идентификации).

Среди методов биометрической идентификации наиболее распространен метод по отпечаткам пальцев, который был успешно применен в многочисленных приложениях. Несмотря на то что все люди, как известно, имеют уникальные и неизменные отпечатки пальцев, метод идентификации по отпечаткам пальцев не защищен от подлога, поскольку человек может непредна-

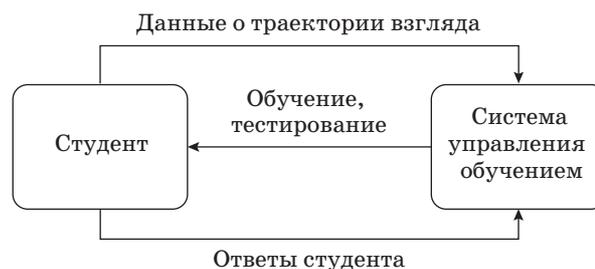
меренно оставить отпечатки своих пальцев где-нибудь, где их возможно будет скопировать. Для повышения уровня защиты от подлога в системах контроля доступа начали применять многофакторные методы биометрической идентификации, которые предполагают анализ одновременно нескольких факторов, например отпечатка пальца и узора радужной оболочки глаза [14]. Желание повысить уровень защиты от подлога инициировало также разработку методов биометрической идентификации, построенных на анализе поведенческих характеристик, которые невозможно или чрезвычайно сложно скопировать. К таким поведенческим характеристикам относят движения глаз.

Движения глаз содержат трудновоспроизводимую биометрическую информацию, которая невидима постороннему. Взгляд человека либо фиксируется на некоторой области в поле зрения (фиксация), либо быстро перемещается между фиксациями (саккада). Продолжительность фиксации составляет от 200 до 350 мс, продолжительность саккады не превышает 200 мс. На рис. 1 показана траектория взгляда человека, который осуществляет поиск двух одинаковых элементов в матрице размером 5×5. Видно, что траектория состоит из последовательности сменяющих друг друга фиксаций и саккад. Обычно для регистрации траектории взгляда пользователя применяют специальное устройство — айтрекер. Это устройство способно определять фиксации и саккады, координаты траектории взгляда, положение глаз в пространстве.

Известные методы биометрической идентификации на основе анализа движения глаз имеют низкую точность, что препятствует их широкому применению на практике [15]. Глаза человека представляют собой богатый источник информации, только частично используемый для биометрии. Например, неизвестно, какие параметры движения глаз имеют существенное значение для идентификации, какие стимулы позволяют наиболее эффективным способом выявить характерные свойства движения глаз человека.



■ Рис. 1. Визуализация фиксаций (точки) и саккад (линии) взгляда



■ Рис. 2. Схема взаимодействия студента с системой электронного обучения

Необходимы дополнительные исследования, чтобы понять, какую информацию могут предоставить глаза и как эта информация должна быть проанализирована.

Ряд исследований показал, что анализ траектории взгляда можно применять не только для идентификации личности пользователя, но и для оценки его функционального состояния и уровня навыков в различных областях деятельности [16, 17]. Например, методы анализа движения глаз могут широко использоваться в интеллектуальных системах электронного обучения (рис. 2, [18]), что позволит: снизить стоимость интернет-экзаменов, повысить доверие педагогического сообщества к результатам электронного обучения за счет непрерывной идентификации личности студента; повысить точность педагогических оценок и эффективность электронного обучения за счет непрерывного контроля функционального состояния студента [19, 20] и уровня его подготовки. Методы анализа движения глаз могут применяться при проведении интернет-экзаменов в компьютерных классах [21] и при дистанционном надзоре, так как уже сейчас многие персональные компьютеры оборудованы 3D-камерами, которые можно использовать в качестве айтрекеров.

В данной статье представлены результаты экспериментальных исследований биометрической идентификации пользователей на основе анализа движения глаз, зафиксированного с помощью айтрекера Tobii X2-30, при воздействии двух различных стимулов.

### Этапы проведения исследования и метод анализа итоговых результатов

#### Участники и схема исследования

В экспериментальном исследовании были использованы два теста с различными стимулами. Испытуемые должны были выполнять поставленные перед ними задачи по обоим тестам. Данные были собраны с помощью айтрекера Tobii X2-30, частота дискретизации которого составляет 30 Гц. Каждая запись включала временную метку в миллисекундах, информацию о виде движения

■ Таблица 1. Схемы экспериментов

Идентификатор испытуемого		Количество повторов теста	
Первый эксперимент	Второй эксперимент	Первый эксперимент	Второй эксперимент
1	1	1	2
2	2	2	2
3	3	2	1
4	–	3	–
5	–	1	–

(саккада или фиксация), координаты обоих глаз, координаты взгляда и диаметры зрачков левого и правого глаза.

Цель первого эксперимента заключалась в анализе параметров, рассчитанных для фиксаций. Было подготовлено простое стимул-изображение для получения наиболее точных измерений. Испытуемым было необходимо в течение 20 с смотреть в центр показанного им изображения, где находился небольшой круг — точка фиксации. Полученные в ходе эксперимента данные были очищены от записей, расположенных на границе саккад и фиксаций. В эксперименте приняли участие пять испытуемых, не имеющих проблем со зрением, для которых было собрано в сумме девять записей. Схема прохождения эксперимента представлена в табл. 1.

Второй эксперимент включал в себя анализ как фиксаций, так и саккад. Стимул для данного эксперимента был выбран таким образом, чтобы предоставить точные данные для обоих видов движения. Для этой цели было выбрано изображение-реализация теста переплетенных линий А. Рея. Испытуемым было необходимо поочередно проследить каждую из представленных на рисунке линий и назвать цифры, связанные с левым и правым концом линии. В эксперименте приняли участие трое испытуемых, не имеющих проблем со зрением, для которых было собрано в сумме пять записей (см. табл. 1).

#### Анализ полученных данных

На основе собранных данных были рассчитаны необходимые для последующего анализа динамические параметры: линейная и угловая скорость, ускорение взгляда; скорость и ускорение изменения диаметра зрачков. Параметры были рассчитаны отдельно для левого и правого глаза для проведения сравнительного анализа.

Был использован тест парных выборок Колмогорова — Смирнова с пятипроцентным уровнем значимости для каждой пары записей. В качестве результата были получены таблицы вероятностей, содержащих информацию о степени схожести данных в каждой паре выборок для рас-

■ Таблица 2. Таблица вероятностей для скорости взгляда левого глаза для данных фиксаций, полученных в ходе второго эксперимента

	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$
$P_1$	1	0,03	$2,3 \times 10^{-4}$	$9,37 \times 10^{-27}$	$3,22 \times 10^{-46}$
$P_2$		1	0,24	$1,31 \times 10^{-22}$	$1,2 \times 10^{-43}$
$P_3$			1	$2,63 \times 10^{-12}$	$6,67 \times 10^{-30}$
$P_4$				1	$1,03 \times 10^{-6}$
$P_5$					1

считанных параметров. Пример одной из полученных таблиц вероятностей приведен в табл. 2.

После этого полученные таблицы вероятностей и результатов теста Колмогорова — Смирнова для проверки нулевой гипотезы были проанализированы. Для каждого из двух экспериментов результаты были сопоставлены с ключами тестов — идентификационными кодами испытуемых и кодами, сгенерированными для каждого из них при обработке, что позволило определить погрешность идентификации.

#### Результаты исследования

Главная цель экспериментального исследования — определение того, какой вид движения глаз и какие вышеперечисленные динамические параметры движения левого и правого глаза позволяют получить наименьшую ошибку идентификации личности человека.

##### Первый эксперимент

Целью первого эксперимента был анализ записей для фиксаций. Для последующей обработки были сформированы три набора данных. Первый включал стандартные данные, полученные при помощи айтрекера, без проведения дополнительной обработки. Второй набор включал записи, нормированные по формуле

$$X' = \frac{X - \mu}{\sigma},$$

где  $X'$  — новое значение;  $X$  — предыдущее значение;  $\mu$  — среднее значение и  $\sigma$  — стандартное отклонение выборки. Третий набор был сформирован данными между  $1/4$  и  $3/4$  квантилями с целью уменьшить возможный шум. Описанные типы наборов данных были проанализированы отдельно для всех фиксаций и для самой длинной фиксации.

Первичный анализ сформированных наборов данных показал, что наиболее значимые результаты были получены для первого типа обеих гипотез. Второй и третий наборы, записи в которых были статистически обработаны, не предоставили необходимую точность результатов, так как

все значения вероятностей были расположены близко к нулю, что автоматически означало отвержение гипотезы о принадлежности выборок к единой совокупности.

Наиболее точные результаты для первого эксперимента были получены при рассмотрении параметра угловой скорости взгляда. Значения ошибок первого и второго рода, полученные для этих данных, представлены в табл. 3.

Таблицы вероятностей для объединенных фиксаций и самой продолжительной фиксации были сравнимы по положению значимых вероятностей, однако значения различались. Результаты обработки данных для самой продолжительной фиксации предоставляли более высокие значения, что привело к увеличению погрешности. Далее рассматривались только результаты, полученные в ходе обработки записей объединен-

■ **Таблица 3.** Значения ошибок первого и второго рода, %, полученные в ходе анализа фиксаций взгляда при обработке данных первого эксперимента

Параметр	α-ошибка		β-ошибка	
	Левый глаз	Правый глаз	Левый глаз	Правый глаз
Угловая скорость	0		32	
Диаметр зрачка	80	100	0	0
Скорость зрачка	100	80	6	3
Скорость взгляда	80	80	13	6
Ускорение взгляда	80	80	16	16
Ускорение зрачка	80	100	3	3

■ **Таблица 4.** Результаты для параметра угловой скорости, рассчитанные в ходе обработки данных первого эксперимента

Первая запись	Вторая запись	Вероятность совпадения
$P_1$	$P_2$	0,69
$P_1$	$P_3$	0,19
$P_1$	$P_6$	0,56
$P_1$	$P_9$	0,81
$P_2$	$P_6$	0,44
$P_2$	$P_7$	0,27
$P_2$	$P_9$	0,43
$P_3$	$P_6$	0,81
$P_3$	$P_9$	0,37
$P_4$	$P_7$	0,29
$P_4$	$P_8$	0,34
$P_6$	$P_9$	0,8
$P_7$	$P_8$	0,67

ных фиксаций. Всего было зарегистрировано девять записей, закодированных как  $P_1, P_2, \dots, P_9$ . Результаты представлены в табл. 4.

Данная таблица предоставляет информацию о тех парах записей, для которых была установлена степень их совпадения. Анализируя ее, можно выделить следующие кластеры:

$$P_4 = P_7 = P_8;$$

$$P_5;$$

$$P_3 = P_6 = P_9 = P_1;$$

$$P_1 = P_2 = P_9.$$

Кластеры были сформированы на основе анализа связей между парами выборок. В первый кластер включены 4-, 7- и 8-я записи. Во второй кластер была включена только 5-я запись, так как связи между ней и остальными выборками не были обнаружены. Следовательно, 5-я запись была отделена и обозначена уникальной. Третий кластер состоит из четырех записей, а четвертый кластер — из трех.

После формирования кластеров было необходимо определить точность предоставляемых результатов для каждого из кластеров на основе ключей эксперимента:

- в первом кластере все представленные зависимости соответствуют реальным;
- запись во втором кластере действительно была уникальной;
- в третьем кластере только одна из зависимостей соответствует действительности;
- четвертый кластер содержит одну верную и одну неверную зависимость.

Погрешность, рассчитанная для представленных кластеров, составляет 38 %.

Следующий шаг обработки заключался в возможном уменьшении погрешности с выделением из рассматриваемой таблицы пар записей с вероятностью более 40 %. На основе этого были сформированы новые кластеры:

$$P_7 = P_8;$$

$$P_5;$$

$$P_3 = P_6 = P_9;$$

$$P_1 = P_2 = P_9.$$

Анализ их в сравнении с первым набором выявил, что:

- в первом кластере пропала одна верная связь;
- второй кластер остался неизменным;
- в третьем кластере пропала одна неверная зависимость;
- четвертый кластер остался неизменным.

Из сравнения новых кластеров с ключами эксперимента следует, что погрешность составила 33 %.

Анализ данных, полученных в ходе проведения первого эксперимента, показал, что наиболее

удачным параметром для осуществления идентификации личности по фиксации взгляда является угловая скорость, погрешность использования которого может достигать 38 %.

*Второй эксперимент*

Целью второго эксперимента был анализ данных для двух видов движения глаз — саккад и фиксаций, однако главными рассматриваемыми параметрами являлись параметры саккад.

Было сформировано три группы данных. Первая из них включала в себя данные для фиксаций, вторая — данные для саккад, а третья группа объединяла данные для саккад и фиксаций.

Как и при обработке данных первого эксперимента, для фиксаций были реализованы два варианта обработки: объединенные данные всех фиксаций и данные для самой продолжительной фиксации, — в то время как для саккад был осуществлен только первый вариант обработки экспериментальных данных. Для объединенных данных были исключены точки, находящиеся на границе саккад и фиксаций.

Во время обработки результатов второго эксперимента были рассмотрены изначальные данные, без проведения предварительной статистической обработки. Были рассчитаны 11 параметров для каждой из пяти полученных записей.

Анализ фиксаций и комбинированных фиксаций и саккад не показал значимых отличий от результатов первого эксперимента. Рассчитанная погрешность была сравнима с ранее полученными значениями.

Следующий шаг заключался в проведении анализа данных саккад. Значения ошибок первого и второго рода, полученные для описанных данных, представлены в табл. 5.

В ходе анализа была рассмотрена таблица вероятностей для параметра угловой скорости (табл. 6) в целях сравнения полученных значений с первым экспериментом, но значимых отличий не было обнаружено. Наиболее точные результаты предоставляют значения параметров ускоре-

■ **Таблица 5.** Значения ошибок первого и второго рода, %, полученные в ходе анализа саккад взгляда при обработке данных второго эксперимента

Параметр	α-ошибка		β-ошибка	
	Левый глаз	Правый глаз	Левый глаз	Правый глаз
Угловая скорость	50		63,5	
Диаметр зрачка	100	100	0	0
Скорость зрачка	50	50	37,5	25
Скорость взгляда	50	50	12,5	0
Ускорение взгляда	0	0	0	0
Ускорение зрачка	50	50	25	63,5

ния взгляда для левого (табл. 7) и правого (табл. 8) глаза.

На основе представленной таблицы вероятностей можно сформировать следующие кластеры:

$$P_1;$$

$$P_2 = P_3 = P_4 = P_5.$$

Первый кластер является ложным, второй — содержит только одну верную зависимость. Согласно данным кластерам погрешность составляет 75 %, следовательно, данный параметр не обеспечивает необходимой точности идентификации.

Далее были рассмотрены и сравнены значения параметров ускорения взгляда левого и правого глаз. Табл. 7 и 8 предоставляют сравнимые результаты, сформированные на их основе кластеры идентичны:

$$P_1 = P_4;$$

$$P_2 = P_3;$$

$$P_5.$$

■ **Таблица 6.** Таблица вероятностей для параметра угловой скорости саккад взгляда

	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$
$P_1$	1	$3,2 \times 10^{-4}$	$3,7 \times 10^{-3}$	$3,7 \times 10^{-3}$	$1,9 \times 10^{-5}$
$P_2$		1	0,84	0,81	0,17
$P_3$			1	0,72	0,43
$P_4$				1	0,09
$P_5$					1

■ **Таблица 7.** Таблица вероятностей для параметра ускорения взгляда левого глаза

	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$
$P_1$	1	$9,6 \times 10^{-8}$	$2,5 \times 10^{-7}$	0,11	$3 \times 10^{-20}$
$P_2$		1	0,4	$3 \times 10^{-7}$	$4,5 \times 10^{-6}$
$P_3$			1	$1,3 \times 10^{-5}$	$1,4 \times 10^{-4}$
$P_4$				1	$6,5 \times 10^{-18}$
$P_5$					1

■ **Таблица 8.** Таблица вероятностей для параметра ускорения взгляда правого глаза

	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$
$P_1$	1	$1,4 \times 10^{-9}$	$3,6 \times 10^{-12}$	0,47	$1,9 \times 10^{-22}$
$P_2$		1	0,06	$6,8 \times 10^{-8}$	$2,5 \times 10^{-6}$
$P_3$			1	$7,7 \times 10^{-10}$	$1,3 \times 10^{-3}$
$P_4$				1	$6 \times 10^{-20}$
$P_5$					1

■ **Таблица 9.** Таблица результатов проверки нулевой гипотезы теста Колмогорова — Смирнова для параметра ускорения взгляда для данных саккад, полученных в ходе проведения второго эксперимента

	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$
$P_1$	0	1	1	0	1
$P_2$		0	0	1	1
$P_3$			0	1	1
$P_4$				0	1
$P_5$					0

Согласно представленным кластерам и ключам эксперимента, погрешность составила 0 %, что визуально отображено в таблице результатов теста Колмогорова — Смирнова для проверки нулевой гипотезы (табл. 9). Нулевые значения означают совпадение выборок и, следовательно, положительный результат идентификации.

Анализ данных, полученных в ходе второго эксперимента, показал, что использование параметра ускорения взгляда при саккадах может обеспечить точные результаты, необходимые для осуществления корректной идентификации личности.

### Заключение

После завершения экспериментального исследования были достигнуты следующие результаты.

1. Описанный в статье метод показывает, что данные, полученные с помощью систем регистрации траектории взгляда, в том числе и низкочастотных, таких как Tobii X2-30, могут быть использованы для идентификации личности человека.

2. Анализ данных, полученных в ходе проведения двух экспериментов, показал, что ошибка идентификации может варьироваться от 0 до 40 % в зависимости от рассматриваемого параметра движения. В ходе обработки результатов второго эксперимента было выявлено, что анализ саккад обеспечивает более точные результаты по сравнению с анализом параметров, рассчитанных для фиксации, за счет снятия ограничения на скорости и амплитуды движений глаза.

3. Результаты второго эксперимента показали, что значение ускорения взгляда при рассмотрении саккад может быть использовано для идентификации личности.

Для осуществления идентификации личности с применением анализа ускорения взгляда предполагается, что в режиме реального времени через определенный временной интервал будет производиться расчет значений необходимого параметра на основе полученных с помощью айтрекера данных о траектории взгляда. После чего будет сравниваться полученный результат с записями в базе данных, содержащими рассчитанные значения ускорений взгляда пользователей, и определяться личность человека. Для обеспечения инвариантности системы идентификации относительно зависимости параметров движения глаз от психофизиологического состояния человека в базе данных необходимо хранить одновременно несколько записей, организованных по принципу очереди: новая запись вытесняет самую старую.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку новых высокоэффективных алгоритмов идентификации личности человека по характеристикам движения глаз, вычисленных на основе данных низкочастотных систем регистрации траектории взгляда.

### Литература

1. Youssif A. A. A., Chowdhury M. U., Ray S., Nafaa H. Y. Fingerprint Recognition System Using Hybrid Matching Techniques // 6<sup>th</sup> IEEE/ACIS Intern. Conf. on Computer and Information Science. 2007. P. 234–240. doi:10.1109/ICIS.2007.101
2. Nowak P. A Comparative Study on Biometric Hand Identification: Proc. of the 21<sup>st</sup> Intern. Conf. «Mixed Design of Integrated Circuits & Systems» (MIXDES). 2014. P. 411–414. doi:10.1109/MIXDES.2014.6872231
3. Napieralski J. A., Pastuszka M. M., Sankowski W. 3D Face Geometry Analysis for Biometric Identification: Proc. of the 21<sup>st</sup> Intern. Conf. «Mixed Design of Integrated Circuits & Systems» (MIXDES). 2014. P. 519–522. doi:10.1109/MIXDES.2014.6872255
4. Ross A., Abaza A. Human Ear Recognition // Computer. 2011. Vol. 44(11). P. 79–81. doi:10.1109/MC.2011.344

5. Павельева Е. А., Крылов А. С., Ушмаев О. С. Развитие информационной технологии идентификации человека по радужной оболочке глаза на основе преобразования Эрмита // Системы высокой доступности. 2009. № 1. С. 36–42.
6. Akram M. U., Tariq A., Khan S. A. Retinal Recognition: Personal Identification Using Blood Vessels // Intern. Conf. for Internet Technology and Secured Transactions (ICITST). 2011. P. 180–184.
7. Сазонов В. А., Садов В. С., Тихоненко С. Г. Идентификация личности по походке на основе скрытых марковских моделей // Электроника инфо. 2012. № 4. С. 105–109.
8. Анисимова Э. Идентификация подписи с помощью радиальных функций // Фундаментальные исследования. 2014. № 9-6. С. 1185–1189.
9. Ходашинский И. А., Савчук М. В., Горбунов И. В., Мещеряков Р. В. Технология усиленной аутенти-

- фикации пользователей информационных процессов // Докл. Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2011. № 2–3. С. 236–248.
10. **Можаров Г. П., Чеботарев Р. С.** Текстонезависимый метод идентификации человека по его голосу // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Приборостроение. Спец. выпуск «Моделирование и идентификация компьютерных систем и сетей». 2012. С. 168–179.
  11. **Kasprowski P., Ober J.** Enhancing Eye Movement Based Biometric Identification Method by Using Voting Classifiers // Proc. of SPIE. 2005. Vol. 5779. P. 314–324. doi:10.1117/12.603321
  12. **Chan A. D. C., Hamdy M. M., Badre A., Badee V.** Person Identification Using Electrocardiograms // Canadian Conf. on Electrical and Computer Engineering. 2006. P. 1–4. doi:10.1109/CCECE.2006.277291
  13. **Shedeed H. A.** A New Method for Person Identification in a Biometric Security System Based on Brain EEG Signal Processing // 2011 World Congress on Information and Communication Technologies (WICT). 2011. P. 1205–1210. doi: 10.1109/WICT.2011.6141420
  14. **Besbes F., Trichili H., Solaiman B.** Multimodal Biometric System Based on Fingerprint Identification and Iris Recognition // 3<sup>rd</sup> Intern. Conf. on Information and Communication Technologies: From Theory to Applications. 2008. P. 1–5. doi: 10.1109/ICTTA.2008.4530129
  15. **Kasprowski P., Harężlak K.** The Second Eye Movements Verification and Identification Competition // 2014 IEEE Intern. Joint Conf. on Biometrics (IJCB). 2014. P. 1–6. doi: 10.1109/BTAS.2014.6996285
  16. **Nugrahaningsih N., Porta M., Ricotti S.** Gaze Behavior Analysis in Multiple-Answer Tests: An Eye Tracking Investigation // 2013 Intern. Conf. on Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET). 2013. P. 1–6. doi:10.1109/ITHET.2013.6671020
  17. **Pande P., Chandrasekharan S.** Eye-Tracking in STEM Education Research: Limitations, Experiences and Possible Extensions // 2014 IEEE Sixth Intern. Conf. on Technology for Education (T4E). 2014. P. 116–119. doi: 10.1109/T4E.2014.29
  18. **Uskov V., Lyamin A., Lisitsyna L., Sekar B.** Smart e-Learning as a Student-Centered Biotechnical System // Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering. Springer, 2014. Vol. 138. P. 167–176. doi: 10.1007/978-3-31913293-8\_21
  19. **Lisitsyna L., Lyamin A., Skshidlevsky A.** Estimation of Student Functional State in Learning Management System by Heart Rate Variability Method // Smart Digital Futures 2014. IOS Press, 2014. P. 726–731. doi: 10.3233/978-1-61499-405-3-726
  20. **Лисицына Л. С., Лямин А. В., Быстрицкий А. С., Мартынихин И. А.** Проблема поддержки когнитивных функций в процессе электронного обучения // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2014. № 6(94). С. 177–184.
  21. **Лямин А. В., Скушдлевский А. А., Чежин М. С.** Система управления работой компьютерного класса общего доступа // Информационно-управляющие системы. 2011. № 4. С. 66–69.

UDC 004.056.5, 612.846

doi:10.15217/issn1684-8853.2015.5.26

### Experimental Studies of Biometric User Identification Based on the Data of Eye Tracker Tobii X2-30

Lyamin A. V.<sup>a</sup>, PhD, Tech., Associate Professor, lyamin@mail.ifmo.ru

Cherepovskaya E. N.<sup>a</sup>, Senior Assistant, cherepovskaya@cde.ifmo.ru

<sup>a</sup>Saint-Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, 49, Kronverkskii St., 197101, Saint-Petersburg, Russian Federation

**Purpose:** Biometric identification based on eye movement analysis has high protection against forgery. The accuracy of this identification method depends on the analyzed parameters of the eye movement, on the applied stimuli and also on the frequency of the device which records the gaze trajectory. The purpose of our experimental studies is to reveal which eye movement parameters provide the best identification results and which stimuli should be used to reveal personal characteristics of one's eye movement. **Results:** The results of experimental studies of person identification based on eye movement data analysis obtained by eye tracker Tobii X2-30 under two different stimuli are presented. Eye-tracking data obtained by gaze trajectory registration systems, including low-frequency ones, can potentially be used to reveal person's identity. Data analysis for the two experiments showed that the identification error could vary from 0 to 40% over the observed parameter and the gaze event type. The results of the second experiment showed that analyzing saccades' data is more efficient due to the gaze velocity threshold set in order to determine the gaze event type correctly. The second experiment revealed that gaze acceleration parameter of the saccade data could be used to identify a person. **Practical relevance:** The results obtained during the experimental study proved the opportunity of using low-frequency eye-tracking systems for person identification.

**Keywords** — Information Systems, Biometric Identification Methods, Eye Movement Analysis.

### References

1. Youssif A. A. A., Chowdhury M. U., Ray S., Nafaa H. Y. Fingerprint Recognition System Using Hybrid Matching Techniques. 6<sup>th</sup> IEEE/ACIS Intern. Conf. on Computer and Information Science, 2007, pp. 234–240. doi:10.1109/ICIS.2007.101
2. Nowak P. A Comparative Study on Biometric Hand Identification. Proc. of the 21<sup>st</sup> Intern. Conf. Mixed Design of Integrated Circuits & Systems (MIXDES), 2014, pp. 411–414. doi:10.1109/MIXDES.2014.6872231

3. Napieralski J. A., Pastuszka M. M., Sankowski W. 3D Face Geometry Analysis for Biometric Identification. *Proc. of the 21<sup>st</sup> Intern. Conf. Mixed Design of Integrated Circuits & Systems (MIXDES)*, 2014, pp. 519–522. doi:10.1109/MIXDES.2014.6872255
4. Ross A., Abaza A. Human Ear Recognition. *Computer*, 2011, vol. 44(11), pp. 79–81. doi:10.1109/MC.2011.344
5. Pavelyeva E. A., Krylov A. S., Ushmaev O. S. Development of Human Iris Identification Information Technology Using Hermite Transform. *Sistemy vysokoi dostupnosti*, 2009, no. 1, pp. 36–42 (In Russian).
6. Akram M. U., Tariq A., Khan S. A. Retinal Recognition: Personal Identification Using Blood Vessels. *Intern. Conf. for Internet Technology and Secured Transactions (ICITST)*, 2011, pp. 180–184.
7. Sazonov V. A., Sadov V. S., Tikhonenko S. G. Person identification by Gait Based on Hidden Markov Models. *Elektronika info*, 2012, no. 4, pp. 105–109 (In Russian).
8. Anisimova E. Signature Identification by use of radial Functions. *Fundamental'nye issledovaniia*, 2014, no. 9-6, pp. 1185–1189 (In Russian).
9. Hodashinsky I. A., Savchuk M. V., Gorbunov I. V., Meshcheryakov R. V. Strong Authentication Technology of the Users of Information Processes. *Doklady Tomskogo gosudarstvennogo universiteta sistem upravleniia i radioelektroniki*, 2011, no. 2–3, pp. 236–248 (In Russian).
10. Mozharov G. P., Chebotarev R. S. Text-Independent Method of Speaker Identification by its Voice. *Vestnik MGTU im. N. E. Baumana. Ser. Priborostroenie. Spetsial'nyi vypusk "Modelirovanie i identifikatsiia komp'uternykh sistem i setei"*, 2012, pp. 168–179 (In Russian).
11. Kasprowski P., Ober J. Enhancing Eye Movement Based Biometric Identification Method by Using Voting Classifiers. *Proc. of SPIE*, 2005, vol. 5779, pp. 314–324. doi:10.1117/12.603321
12. Chan A. D. C., Hamdy M. M., Badre A., Badee V. Person Identification Using Electrocardiograms. *Canadian Conf. on Electrical and Computer Engineering*, 2006, pp. 1–4. doi:10.1109/CCECE.2006.277291
13. Sheded H. A. A New Method for Person Identification in a Biometric Security System Based on Brain EEG Signal Processing. *2011 World Congress on Information and Communication Technologies (WICT)*, 2011, pp. 1205–1210. doi:10.1109/WICT.2011.6141420
14. Besbes F., Trichili H., Solaiman B. Multimodal Biometric System Based on Fingerprint Identification and Iris Recognition. *3<sup>rd</sup> Intern. Conf. on Information and Communication Technologies: From Theory to Applications*, 2008, pp. 1–5. doi:10.1109/ICTTA.2008.4530129
15. Kasprowski P., Harçlak K. The Second Eye Movements Verification and Identification Competition. *2014 IEEE Intern. Joint Conf. on Biometrics (IJCB)*, 2014, pp. 1–6. doi:10.1109/BTAS.2014.6996285
16. Nugrahaningsih N., Porta M., Ricotti S. Gaze Behavior Analysis in Multiple-Answer Tests: An Eye Tracking Investigation. *2013 Intern. Conf. on Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET)*, 2013, pp. 1–6. doi:10.1109/ITHET.2013.6671020
17. Pande P., Chandrasekharan S. Eye-Tracking in STEM Education Research: Limitations, Experiences and Possible Extensions. *2014 IEEE Sixth Intern. Conf. on Technology for Education (T4E)*, 2014, pp. 116–119. doi:10.1109/T4E.2014.29
18. Uskov V., Lyamin A., Lisitsyna L., Sekar B. Smart e-Learning as a Student-Centered Biotechnical System. *Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering*, Springer, 2014, vol. 138, pp. 167–176. doi:10.1007/978-3-319-13293-8\_21
19. Lisitsyna L., Lyamin A., Skshidlevsky A. Estimation of Student Functional State in Learning Management System by Heart Rate Variability Method. *Smart Digital Futures 2014*, IOS Press, 2014, pp. 726–731. doi:10.3233/978-1-61499-405-3-726
20. Lisitsyna L. S., Lyamin A. V., Bystritsky A. S., Martynikhin I. A. Support Problem for Cognitive Functions in the e-Learning. *Nauchno-tehnicheskii vestnik informatsionnykh tekhnologii, mekhaniki i optiki*, 2014, no. 6(94), pp. 177–184 (In Russian).
21. Lyamin A. V., Skshidlevsky A. A., Chezhin M. S. Computer-Based Classroom Management System with Public Access. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy* [Information and Control Systems], 2011, no. 4(53), pp. 66–69 (In Russian).

---

### К статьям:

**Ben-Shimol Y., Kitroser I.** An Efficient Cross-Layer Aware Mapping of VoIP Calls in Wireless OFDMA Systems. Part I. Problem description and channel tracking (*Informatsionno-upravliaiushchie sistemy* [Information and Control Systems], 2015, no. 2(75), pp. 90–98.).

**Ben-Shimol Y., Kitroser I.** An Efficient Cross-Layer Aware Mapping of VoIP Calls in Wireless OFDMA Systems. Part II. Mapping Algorithms and their Performance (*Informatsionno-upravliaiushchie sistemy* [Information and Control Systems], 2015, no. 3(76), pp. 77–84.).

ВМЕСТО

**Ben-Shimol Y.**, PhD, Electrical Engineering, Professor

следует читать

**Ben-Shimol Y.**, PhD, Electrical Engineering, Senior Lecturer

---