**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования**

**«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**РЕФЕРАТ**

**по дисциплине**

**«Организация ЭВМ и вычислительных систем»**

**Тема: «Клавиатурный почерк: идентификация и аппаратная реализация»**

**Выполнил: ст. гр. 221-331 Ситушкин Я.М.**

**Проверил: доцент, к.т.н. Пителинский К.В.**

**Москва - 2022**

Оглавление

Оглавление 1

Введение 2

Что такое клавиатурный почерк? 2

Биометрическая идентификация: методы и преимущества 3

Актуальность КП 4

Механизм считывания КП 5

Характеристики КП 7

Информативность параметров КП 10

Критерии ошибок биометрических систем 11

Регистрация КП: этапы, особенности и способы обработки 14

Оценка эффективности методов распознавания КП 18

От чего зависит КП 20

Защита КП 22

Реализации систем считывания КП 24

Реализация клавиатуры для считывания дополнительных параметров КП 26

Возможности применения и тенденции 27

Анализ работ на тему КП 28

МАИ к статьям 29

Расчёт показателей по критерию «Качество раскрытия темы» 35

Расчет показателей по критерию «Количество публикаций, касающихся темы» 36

Расчет показателей по критерию «Учёная степень» 37

Расчет показателей по критерию «Количество публикаций» 38

Расчет показателей по критерию «Количество ссылок» 39

Расчет показателей по критерию «Объём статьи» 40

Расчет показателей по критерию «Количество авторов» 41

Определение весов альтернатив 42

Экспертная оценка 43

Библиографический список 45

Введение

Клавиатурный почерк на данный момент является мощным и недооценённым инструментом. Его возможности использования и потенциал огромны, тенденции развития говорят о том, что в скором будущем клавиатурный почерк прочно войдёт в жизнь общества, если не в бытовую, то обязательно в корпоративную. Его преимуществами является простота, дешевизна и высокая точность, однако тема разработки эффективных систем клавиатурного почерка остаётся открытой для всех исследователей мира, и сами эти системы сильно нуждаются в доработке и улучшении. В этой работе рассмотрены основные темы, касающиеся клавиатурного почерка. Целью этой работы является попытка пробудить интерес к этой недооценённой сфере.

Что такое клавиатурный почерк?

Чтобы ответить на этот вопрос, сначала ответим на другой. Что такое почерк? Это индивидуальный способ письма, характеризующийся многими факторами, как например силой нажатия, количеством завивок в букве о и другие, но в основе всех этих факторов лежат отличительные особенности мелкой моторики человека. Следует, что клавиатурный почерк – индивидуальный способ письма с помощью клавиатуры, также характеризующийся многими факторами, в основе которых лежат отличительные особенности мелкой моторики каждого человека. Что относит КП к динамическим методам биометрической идентификации.

Биометрическая идентификация: методы и преимущества

Статические методы биометрической аутентификации основываются на физиологических характеристиках человека, которые уникальны и неотъемлемы от своего обладателя. 

**Рисунок 1 Методы биометрической идентификации**

Динамические методы биометрической аутентификации основываются на поведенческих характеристиках человека. Динамические методы биометрии имеют ряд преимуществ, которыми не обладают статические [1]:

* Динамическая биометрия принципиально сильнее статической биометрии, так как за счет тайны биометрических образов теоретически может быть обеспечен любой заданный уровень информационной безопасности;
* Важным свойством динамической биометрии является анонимность ее образов. Перехват злоумышленником образа динамической биометрии не дает ему возможности найти по этому образу его владельца;
* Динамическая биометрия дешевле статической, поскольку позволяет решать задачи распознавания с меньшими затратами на приобретение аппаратных средств.

Актуальность КП

Интерес клавиатурный почерк (далее КП) представляет возможностью определения субъекта, написавшего некоторое сообщение. Идея идентификации исполнителя набора текста на клавиатуре по его индивидуальному навыку работы с клавиатурой не нова. Исследования в данном направлении начались еще в начале 80-ых годов XX века в США при поддержке Национального научного фонда и Национального Бюро Стандартов Соединенных Штатов Америки. Они доказали, что образцы клавиатурного почерка содержат уникальные особенности, которые могут быть использованы для идентификации субъекта.

Потенциал КП огромен. Его обуславливают современные тенденции увеличения количества киберпреступлений. По статистике более 70% угроз были реализованы, когда в той или иной мере проявлялась халатность работников, которая позволяла инсайдеру узнать чужой пароль. В этом случае злоумышленник осуществлял несанкционированный доступ к конфиденциальной информации под чужим именем, к тому же атака оставалась незамеченной, так как действия злоумышленника маскируется под работой сотрудника. Эту проблему может решить аутентификация с помощью КП. Она не позволит инсайдеру войти в систему, только заполучив пароль, а также позволит предупредить попытку несанкционированного доступа, что в свою очередь даст возможность предпринять меры по защите системы. Также считанный КП инсайдера может служить в целях поиска злоумышленника и в качестве доказательной базы его вины.

Установление исполнителя текста, подготовленного с помощью компьютера, может служить как минимум ориентирующей информацией в расследовании целого ряда преступлений, поскольку такие документы давно уже доминируют над остальными и все чаще фигурируют в качестве доказательств прежде всего при расследовании преступлений в сфере экономики. Кроме официального документооборота, средства компьютерной техники в настоящее время активно используются и с целью личной переписки с использованием различных социальных сетей и иных сервисов. Значительная часть передаваемой при этом информации создается в текстовом формате, то есть с помощью клавиатуры компьютера. При подготовке и совершении отдельных видов преступлений, например, в сфере незаконного оборота наркотиков, такой способ передачи информации является основным.

Механизм считывания КП

В первую очередь, необходимо определить считываемые характеристики при считывании клавиатурного почерка. В операционной системе Windows обработка кодов нажатий и отжатий клавиш клавиатуры происходит с помощью процесса KBDHID.sys [2]. В свою очередь, система, реагируя на взаимодействие с клавиатурой, создает события. Нас интересуют события нажатия и отжатия клавиш.

При нажатии несистемной клавиши формируется сообщение WM\_KEYDOWN [3]. При отжатии несистемной клавиши формируется сообщение WM KEYUP [4]. При нажатии и отжатии системных клавиш соответственно формируются сообщения WM\_SYSKEYDOWN [5] и WM\_SYSKEYUP [6]. Большая часть программного обеспечения в качестве основного способа использует именно этот способ – обработку готовых сообщений алгоритмами операционной системы Windows.

Однако существует и другой подход, основанный на использовании программ перехвата событий Windows. Эти программы работают с Windows API SetWinEventHook [7] и позволяют производить запись выходных данных в обход очереди событий Windows. Hook или хук это механизм, с помощью которого некоторая функция способна узнавать о событиях до того, как они достигают приложения, которому предназначались.

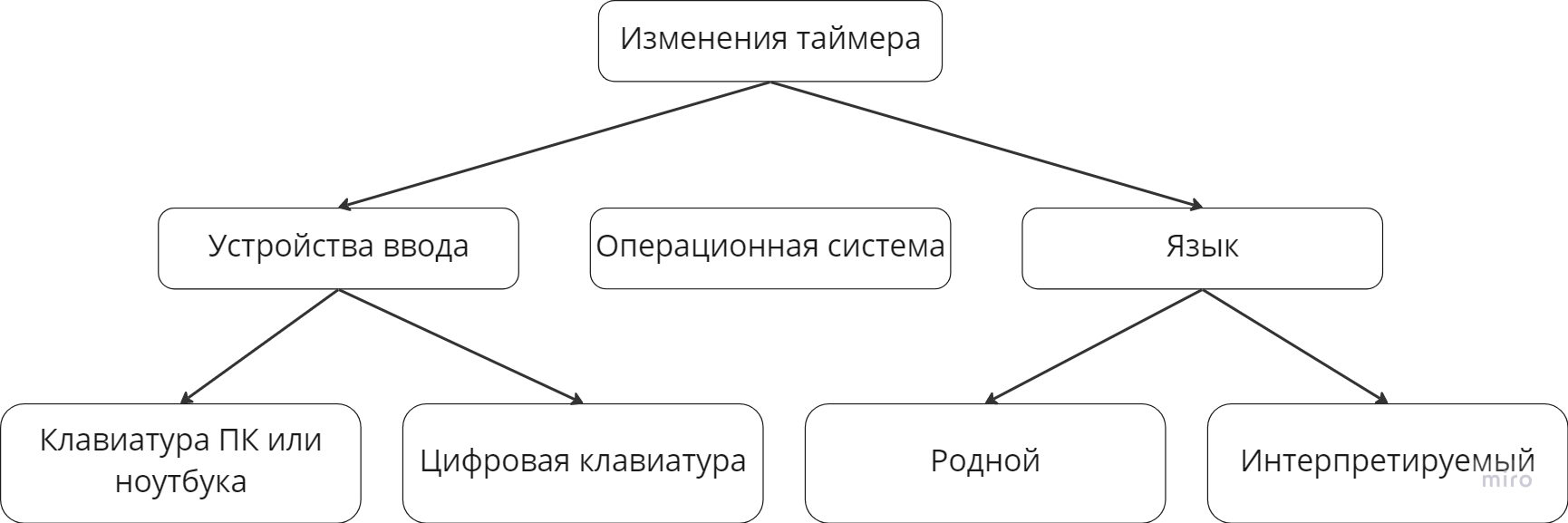
Эта функция может выполнять какие-либо действия по происшествии события, а в некоторых случаях изменять или удалять его. Такие функции, получающие сообщения о событии, называются фильтрующими функциями и классифицируются в соответствии с типом события, которое они обслуживают. Параметры, передаваемые фильтрующей функции при её вызове, зависят от типа хука. Чтобы фильтрующая функция получала уведомление о системном событии, она должна быть установлена на событие, то есть, связана с ним.

Установка функции, обрабатывающей какое-либо событие операционной системы, называется установкой хука на это событие. При установке на одно событие более чем одной фильтрующей функции их обслуживание производится по порядку. Первой в цепочке обработки хука стоит последняя установленная фильтрующая функция. Последней же в очереди будет стоять первая установленная фильтрующая функция. Принципы работы Windows подразумевают разделение адресного пространства между процессами. Это значит, что никакое приложение не может получить доступ к области памяти, занимаемой другим процессом.

В связи с этим встает вопрос реализации фильтрующей функции, чтобы она могла отслеживать состояние процессов, имеющих другое адресное пространство. Разработчики Windows рекомендуют следующий способ решения – размещение фильтрующей функции в теле динамической библиотеки Dynamic Link Library (DLL). Операционная система станет проецировать динамическую библиотеку в адресное пространство процесса, что позволит осуществить перехват результата работы с клавиатурой [8].

Перечисленные способы позволяют считывать факт нажатия клавиш, то есть такой параметр, как код клавиши. Однако одного факта нажатия клавиши недостаточно для полноценной возможности идентификации, хотя такая возможность есть, если субъект использует уникальную, для рассматриваемого круга лиц, комбинацию клавиш, характерную для своего регулярного использования, о чем говорится в этой работе. Поэтому используются временные характеристики КП, такие как длительность нажатия клавиши и длительность между нажатиями. В связи с этим актуален вопрос точного измерения времени нажатия клавиш и интервала между нажатиями.

Решением этой проблемы может являться использование счетчика отметок времени центрального процессора – Time Stamp Counter (TSC). Информация со счетчика TSC запрашивается по инструкции Read Time Stamp Counter (RDTSC), что гарантирует высокую скорость выполнения и точность результата, исчисляемого в микросекундах. Но TSC не гарантирует синхронизацию на двухъядерных и симметричных многопроцессорных – Symmetric MultiProcessing (SMP) – системах, что означает вероятность не просто уменьшения точности измерения, а кардинального изменения результатов измерения. Для двухъядерных систем с сохранением высокой точности измерения Microsoft рекомендует использование счетчика производительности - Query Performance Counter (QPC). Также применение функций TimeGetTim [9] и QPC позволяет сохранить высокую точность, повысив при этом надежность. Для наилучшего быстродействия вместе с надежностью возможно использование функции GetTickCount [10], которая показывает в Windows минимальный интервал – 55 мс, но её недостатком является низкая точность [11]. Особенностью таймеров можно выделить их зависимость от многих факторов, таких как операционная система, тип используемой клавиатуры и язык, на котором написан таймер [12].

2 Топология факторов, влияющих на таймер [13]

Характеристики КП

Описанное выше позволяет считать нам основные характеристики, такие как код нажатой клавиши, время ее удержания и интервал между нажатиями. Существуют и другие характеристики, например, как сила нажатия, но реализация ее считывания подразумевает наличие датчика давления в клавиатуре. Реализацию подобной клавиатуры подробно рассмотрели Сулавко А.Е., Федотов А.А. и Еременко А.В. в своей статье [14]. Однако, компанией Apple реализована в ноутбуках серии MacBook клавиатура с дополнительным датчиком защиты HDD от падения – Sudden Motion Sensor (SMS) [15]. Авторы исследования [16] используют движение по оси z при использовании клавиатуры в таких ноутбуках, как биометрическую информацию.

Эти предварительные исследования показывают, что такая информация является достаточно эффективной Но способы считывания КП не ограничиваются приведенными, Федотов А.А. рассмотрел реализацию идентификации КП по виброакустическим шумам, возникающих при нажатии клавиш, в статьях [16] [17]. В дальнейшем характеристики, требующие дополнительных устройств считывания, рассмотрены в статье не будут.

Подводя итог, можно выделить три основные характеристики, получаемые при считывании – это код нажатой или отжатой клавиши, длительность нажатия и временной интервал между нажатиями клавиш. На основе этих характеристик строятся производные. Можно выделить следующие значимые параметры:

1. Число символов – чистый размер текста без учета символов, удаленных при помощи Backspace;
2. Общее время сессии – считается от момента нажатия первой клавиши до момента нажатия последней;
3. Минимальная пауза между нажатиями;
4. Максимальная пауза между нажатиями;
5. Интервалы между нажатиями клавиш – средняя пауза между нажатиями;
6. Среднее время удержания – резкость нажатия, показывает среднее время между нажатием и отпусканием клавиши;
7. Symbols Per Minute (SPM) – количество набранных символов в минуту;
8. Words Per Minute (WPM) – количество символов в минуту; в англоязычных странах скорость считается именно в этих единицах, причем длина «слова» всегда равна 5 символам, иначе говоря, это скорость нетто, деленная на 5;
9. Скорость Нетто – чистая скорость набора текста, считается для всех верно набранных символов текста;
10. Скорость Брутто – скорость набора с учетом удаленных символов, позволяет оценить потери скорости в связи с неправильным вводом;
11. Скорость Брутто+ – скорость набора с учетом удаленных символов и нажатий Backspace, позволяет оценить потери скорости, связанные с неправильным вводом и его исправлением;
12. Скорость Брутто\* – при расчете этой скорости не учитываются нажатия ошибочно введенных символов, клавиши Backspace, а также время, затраченное на эти нажатия, что позволяет оценить скорость при наборе данного текста, если бы ошибок не было вовсе;
13. Потери от исправлений – показывает в процентном соотношении, насколько падает скорость из-за времени, потраченного на совершение ошибок и их исправление;
14. Степень аритмичности при наборе – степень неравномерности набора в процентах, среднее отклонение паузы между нажатиями от среднего значения (в скобках отображают значение аритмии для участков текста, набранных без ошибок);
15. Количество исправлений – число символов, удаленных при помощи клавиши Backspace;
16. Процент серий исправлений – каждая группа подряд удаленных символов считается за одно исправление;
17. Max без исправлений – размер максимального фрагмента текста, набранного без исправлений (в скобках обозначают значение в процентах по отношению к общему размеру текста);
18. Количество перекрытий между клавишами – показывает число перекрытий клавиш (кнопка не опущена, но нажата уже другая).

Подробнее расчёт этих характеристик рассматривают авторы работы [19]. Артюшина Л.А. и Троицкая Е.А. выделяют дополнительные характеристики в своей статье [20]. Стоит отметить, что характеристики 3-5, для более точного результата, могут быть использованы при считывании биграмм.

Биграмма – это сочетание двух последовательных клавиш. Технически, биграмма представляет собой временной интервал между размыканием контактных площадок последней клавиши и замыканием контактных площадок следующей клавиши. В исследовании [21] подробно рассматривается вопрос использования биграмм при идентификации КП, в том числе приводится таблица диаграмма частот использования биграмм в русском языке.

**Рисунок 3 Диаграмма частот использования биграмм в русском языке**

Поскольку возможное количество биграмм в русском языке велико, то для значительного сокращения объёма памяти и увеличения производительности вычислений в исследованиях было предложено рассмотреть не все возможные варианты биграмм, а ограничиться только наиболее часто встречаемыми вариантами, а именно 10 вариантами: «ен», «ст», «ра», «ни», «но», «ро», «ов», «пр», «ам», «по». Для каждой биграммы записываются 3 параметра:

1. Время удержания первой клавиши;
2. Время удержания второй клавиши;
3. Временной интервал между нажатиями двух клавиш.

Параметры биграмм используются вместе с другими характеристиками при идентификации КП.

Информативность параметров КП

Получив интересующие нас характеристики, следует ввести понятия стабильности и информативности параметров КП. Стабильность – это характеристика параметра не изменяться с течением времени. Клавиатурный почерк, также как и почерк человека, имеет свойство меняться со временем. Характер его изменения постепенен, но не равномерен, что означает свойство изменения одних характеристик в большей мере, в сравнении с другими. Из этого следует важность определения степени стабильности каждой характеристики индивидуально для каждого субъекта. Основываясь на этой информации возможен расчет веса каждой характеристики. Тут же вводится понятие информативности параметра КП. Информативность или вес параметра КП определяет, насколько точно он (параметр) может служить для установки субъекта. То есть, значение одних параметров с большим успехом позволяет определить владельца конкретного КП.

**Таблица 1 Стабильность параметров КП**

| Ошибки, % | Аритмичность, % | Скорость, знаки/мин | Характеристика перекрытий | | Оценка |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Число перекрытий, % | Используемое число пальцев |
| Менее 2 | Менее 10 | Более 200 | Более 50 | Все | Отлично |
| Менее 4 | Менее 15 | Более 150 | Более 30 | Большинство | Хорошо |
| Менее 8 | Менее 20 | Более 100 | Более 10 | Несколько | Удовлетворительно |
| Более 8 | Более 20 | Менее 100 | Менее 10 | По одному | Неудовлетворительно |

В работе [22] касаются проблемы определения стабильности параметров КП. Авторы делают вывод - если параметры КП субъекта не обладают необходимой стабильностью, то на основе этого КП представляется невозможным, либо маловероятным установление владельца. Также, в исследовании [20] рассматривается определение степени информативности параметров по критериям ошибок биометрических систем.

Чтобы рассмотреть этот метод установления стабильности параметров КП сначала следует разобрать что такое критерии ошибки биометрических систем.

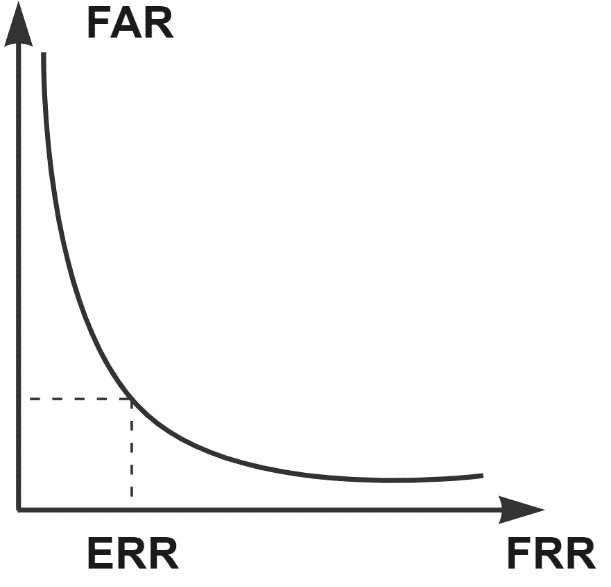
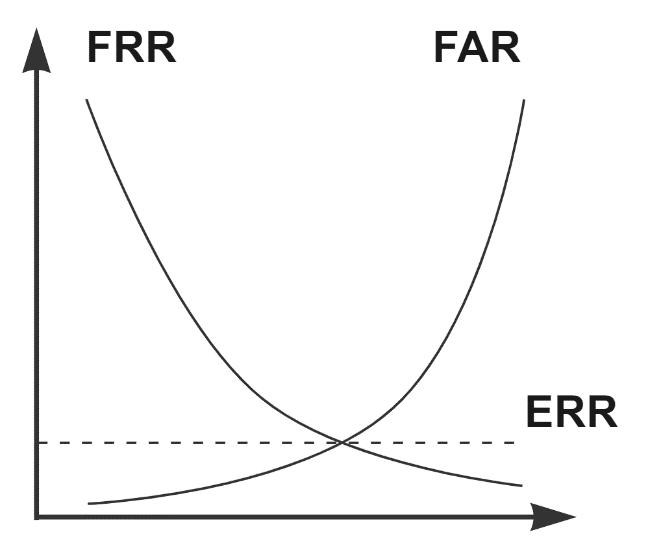
Критерии ошибок биометрических систем

Существуют ошибки первого и второго родов:

* Ошибка первого рода False Rejection Rate (FRR) или False Non-Match Rate (FNMR) – процент ложных отказов, показывает вероятность не определить автора КП, то есть, например, не допустить в систему зарегистрированного пользователя.
* Ошибка второго рода False Access Rate (FAR) или False Match Rate (FRM) – процент ложного доступа, показывает вероятность неверного определения автора КП, то есть, например, пропустить в систему злоумышленника под видом зарегистрированного пользователя.

Критерии FRR и FAR взаимосвязаны. То есть, если какой-то критерий в случае изменения параметров начнет уменьшаться, то другой критерий начнет увеличиваться, и наоборот

**Рисунок 4 График зависимостей критериев FRR и FAR**



На графике зависимостей критериев ось ординат отвечает за вероятность самих критериев и определена от 0 до 1, либо же до 100, в последнем случае единицей измерения будет являться процент. Ось абсцисс отвечает за какой-либо параметр, влияющий на критерии FRR и FAR. Обычно этим параметром является величина установленной погрешности для параметров КП, но возможно и использование других параметров. Так как величина для каждого параметра может быть уникальной, то возможно использование средней погрешности, либо же использование особой погрешности, основанной на вычислении погрешностей каждого параметра с учётом их веса (стабильности).

Важно обратить внимание на точку пересечения графиков критериев FRR и FAR. В этой точке значение вероятностей ошибок совпадает. Для обозначения этой точки вводят метрику Crossover Error Rate (CER) – показатель пересекающихся ошибок, также известную как Equal Error Rate (EER) – показатель равных ошибок [23] . На основе этого показателя удобно сравнивать системы считывания биометрии. Чем показатель CER ниже, тем надежнее биометрическая система, а значит система вероятнее верно определит легитимного пользователя и не распознает не имеющего доступ пользователя, как имеющего.

Однако, необязательно сохранять то состояние системы, при котором ошибки первого и второго родов будут равны. Выбор зависит от необходимостей объекта. В случае необходимости высокой защиты объекта возможно использование того состояния системы, при котором ошибка второго рода будет ниже, но, как следствие, ошибка первого рода будет выше. То есть в такой системе приоритетнее не пропустить нелегитимного пользователя, чем пропустить легитимного. Также возможна обратная ситуация, где уровня обеспечиваемой безопасности достаточно и важнее успешно идентифицировать разрешенного пользователя, чем закрыть доступ субъекту, не имеющего к нему разрешения. В случае равных значений вероятностей FRR и FAR, как описывалось выше, разницы в приоритете между ошибками нет. В любом случае, не существует универсального значения в выборе порога для всех систем.

Выбор оптимального значения порога является актуальным и серьезным вопросом, и в этом плане каждая система уникальна [24]. Вернемся к исследованию установления стабильности параметров КП по критериям ошибок биометрических систем.

**Таблица 2 Характеристика степени информативности параметров КП**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № | Название критерия | Характеристика степени информативности параметров по критериям |
| 1 | FAR | Высокая степень – 1% ≤FAR≤ 2%;  Средняя степень – 2% <FAR≤ 3%;  Низкая степень – FAR> 3%. |
| 2 | FRR | Высокая степень – FRR≤ 1%;  Средняя степень – 1% <FRR ≤ 3%;  Низкая степень – FAR> 3%. |
| 3 | ERR | Высокая степень – ERR≤ 0,372%;  Средняя степень – 0,372% <FRR ≤ 14%;  Низкая степень – FAR> 14%. |

Авторы данной работы [20] выделяют три характеристики степени информативности параметров: высокая, средняя и низкая. Они выделяют такую статистику -

Информативность FRR (FNMR) критерия:

* Высокая степень – до 1%;
* Средняя степень – от 1% до 3%;
* Низкая степень – больше 3%.

Информативность FAR (FRM) критерия:

* Высокая степень – от 1% до 2%;
* Средняя степень – от 2% до 3%;
* Низкая степень – больше 3%.

Информативность CER (ERR) критерия:

* Высокая степень – до 0,372%;
* Средняя степень – от 0,372% до 14%;
* Низкая степень – больше 14%.

Регистрация КП: этапы, особенности и способы обработки

Регистрация КП – это сбор и обработка введенного пользователем текста. То есть, регистрация состоит из двух фаз. От качества регистрации КП зависит насколько точно получится идентифицировать владельца. Основываясь на этом соображении, первый этап регистрации КП должен стремиться к считыванию максимального количества параметров КП. Задача второго этапа – максимально эффективно или же оптимально в зависимости от требований к системе обработать считанную информацию и разработать алгоритм, на основе которого будет производиться решение об разрешении или отказе в доступе субъекту.

Сначала разберём первый этап. Для него характерна такая зависимость - чем больше субъект введет текста, тем лучше получится аутентифицировать его в будущем. Процесс снятия характеристик КП субъекта для дальнейшей регистрации называется снятием эталонов, либо эталонного почерка. Классическим приёмом при регистрации является предоставление пользователю заранее подготовленное слово или фразу, либо же предоставление на выбор из списка или на усмотрение самого субъекта. Эти слова и фразы называют тестовыми или контрольными. В своей работе [25] Вепрев С.Б. говорит о эффективности использования таких контрольных фраз, которые требуют осмысления. Такими, требующими осмысления, могут оказаться логин или фамилия субъекта.

Выбор пароля в качестве контрольной фразы является плохим решением, так как парольная политика подразумевает периодическую смену пароля, случайный характер пароля, для невозможности его подбора, и закреплённость пароля за конкретным пользователем. Информация о характеристиках ввода пароля может быть использована для его подбора, а значит такая информация требует такого же уровня защиты, как и сам пароль, что не соответствует принципу невозможности определения носителя по динамическим критериям биометрической идентификации. Все перечисленное не позволяет использовать пароль в качестве контрольной фразы при снятии эталонов почерка субъекта.

При выборе контрольных фраз следует обратить внимания на так называемые фразы панграммы, содержащие все буквы алфавита. Они обеспечивают наилучший результат полноты считывания параметров КП в сравнении с другими фразами, так как заставляют пользователя нажать на большую часть клавиш клавиатуры. Данный подход в выборе контрольных фраз имеет свои преимущества, среди них:

* Удобство для пользователя;
* Возможность использования фразы пользователя;
* Сравнительная простота обработки полученных данных;
* Возможность использования данной фразы при аутентификации пользователя;

Однако, данный подход имеет серьезные недостатки:

* Нетерпимость к ошибкам при вводе;
* Невосприимчивость к некоторым другим характеристикам;
* Отсутствие возможности снять базовые характеристики в случае, если фраза, введённая пользователем по его усмотрению, не имеет всех символов алфавита;
* Необходимость в многократном повторении ввода фразы.

Ввод фразы при регистрации не подразумевает наличие ошибки при вводе. То есть, опечатка при вводе значительно искажает характеристики КП, как результат – попытка ввода фразы при регистрации с ошибкой не может быть учтена. Недостатком является не только факт нетерпимости к ошибкам. Информация о частоте ошибок, характерных опечатках и производных от этих параметров не может быть использована при аутентификации, так как само наличие возможности считывания этих характеристик серьезно ставит под удар стабильность других параметров. К тому же такая короткая последовательность, как слово или фраза неспособна считать параметры при нажатии характерных последовательностей символов (биграмм). В статье [26] авторы отмечают, что временные интервалы между нажатиями клавиш (биграммы) позволяют более точно характеризовать клавиатурный почерк оператора. Из-за ограниченности в считывании параметров КП данный подход требует многократного ввода контрольной фразы.

Наблюдается прямая зависимость качества аутентификации оператор от количества считываний контрольных фраз. Авторы работы [20] подтверждают такую тенденцию и приводят следующую статистику:

* Количество реализаций считывания контрольной фразы от 24 раз и более обеспечивает высокую степень надёжности;
* Количество реализаций считывания контрольной фразы от 16 до 23 раз обеспечивает среднюю степень надёжности;
* Количество реализаций считывания контрольной фразы до 16 раз обеспечивает низкую степень надёжности.

Под надёжностью тут понимается степень стабильности параметров КП. Однако авторы выделяют, что основывались на количестве реализаций в других исследованиях и делают вывод, что этот критерий раскрыт недостаточно и требует более обстоятельного и глубоко изучения. В работе [27] авторы делают вывод, что количество реализаций считывания контрольной фразы определяется исходя из закона больших чисел, в частности на теореме Чебышева.

Возвращаясь к первому подходу, можно сделать вывод, что все перечисленные недостатки первого подхода в сравнении со следующим делают данный способ менее привлекательным, однако он прост в реализации, внедрении и использовании и всё ещё остаётся достаточно точным, что позволяет использовать его в качестве дополнительной меры аутентификации. Другой подход заключается в считывании большего объема текста, что даёт следующие преимущества:

* Сбор наибольшего количества информации о КП субъекта;
* Высокая надежность в аутентификации;
* Возможность определения изменения поведения субъекта.

Он позволяет собрать достаточное количество статистической информации, приближённой к реальной работе. Хорошим вариантом является просьба ввести текст что позволяет осуществить мониторинг субъекта во время его работы. В свою очередь, при мониторинге возможно выявление изменения характеристик КП, что может значить об изменении психофизического состояния пользователя, либо участии в работе другого человека, а значит данное решение может определить успешную попытку взлома профиля разрешенного пользователя. В качестве минусов данного подхода можно выделить следующее:

* Сильная зависимость качества аутентификации от способа обработки считанных данных;
* Сложность реализации эффективного и надёжного алгоритма обработки массива считанных данных;
* Значительное количество времени, необходимое провести пользователю при наборе текста.

Объём необходимого текста для регистрации КП пользователя не определён. Однозначно можно сказать – чем большим объёмом обладает считанные текст при регистрации КП, тем точнее получится считать и рассчитать характеристики КП. Однако, в проанализированных мной работах вопрос определения оптимального значения объёма текста для регистрации рассмотрен не был, так что данная тема требует изучения и остается открытой для обсуждений.

Перейдём к следующему этапу регистрации КП, а именно к обработке эталонных значений КП и разработке решения аутентификации пользователей по этим эталонным значением. Следует отметить особую важность и сложность этого вопроса как в практическом, так и в теоретическом плане. Под теоретической частью подразумевается разработка алгоритмов обработки, обучения, аутентификации и их абстрактной модели. В свою очередь, под практической частью подразумевается разработка технических решений реализации тех самых алгоритмов и их внедрение. Можно выделить следующие основные группы методов анализа:

* Вероятностные методы;
* Геометрические методы;
* Параметрические методы;
* Нейросетевые методы.

Перечисленные методы используются для анализа данных любого рода, не обязательно только для КП и биометрии. На их основе обрабатывают экономическую, математическую и многие другие виды информации.

Поговорим подробнее об перечисленных методах. Вероятностные методы характеризуются учётом влияния множества случайных факторов. То есть, методологически основываются на разделе математики, называющимся теория вероятности. Благодаря этому данный метод позволяет рассчитать средние значения случайной переменной за определённый период наблюдения и такие характеристики случайной переменной, как точность и надёжность. Это делает выбор вероятностных методов привлекательным, так как природа клавиатурного почерка подразумевает случайность. В нашем случае расчёт средних значения случайной переменной может быть использован в качестве установления оптимальных отклонений для каждой характеристики КП, а расчёт точности и надёжности для выяснения таких характеристик, как стабильность и вес. Примерами таких методов могут являться метод Монте Карло [28] или Гауссовский процесс [29] Подробно возможность использования последнего метода в качестве анализа КП была рассмотрена в этой работе [30]. Также Брюхомицкий Ю.А. рассмотрел классификацию параметров КП с помощью вероятностных методов [31].

Геометрические методы отличаются тем, что основываются на разделе математики геометрия или планиметрия. Примерами таких методов является мера Хэмминга [32] и мера Минковского [33]. Мера Хэмминга или же расстояние Хэмминга показывает меру различия между кодовыми комбинациями (двоичными векторами) в векторном пространстве кодовых последовательностей. Мера Хэмминга активно используется в биоинформатике. Мера Минковского является мерой расстояния в четырёхмерном пространстве.

Перейдём к параметрические методам. Они называются так, потому что основываются на оценке параметров, таких как среднее или стандартное отклонение, выборочного распределения интересующей величины. Тему использования параметрических методов в распознавании образов динамической биометрии разобрал Брюхомицкий Ю.А. [34].

Перейдём к нейросетевым методам. Они основываются на обучении искусственного интеллекта (ИИ) сравнивать и распознавать биометрические образы. О возможности использования нейросетевых методов Галуевым Г.А. была написана работа [35]. Также Сулавко А.Е. рассматривает создание и обучение искусственной иммунной системы распознавания образов КП [36].

Оценка эффективности методов распознавания КП

Голеусов Я.А. провёл анализ эффективности перечисленных ранее методов [37].

**Таблица 3 Эффективность методов распознавания КП**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Метод | Вероятностный метод | Метод меры Хэмминга | Метод меры Минковского | Параметрический метод |
| EER, % | 36 | 17 | 34 | 8 |
| Пара FRR>FAR, % | 52 > 27 | 25 > 11 | 50 > 23 | 11 > 6 |
| Пара FRR<FAR, % | 28 < 40 | 9 < 26 | 28 < 43 | 5 < 16 |

На основе этого анализа автор делает следующие выводы:

* Наибольшим потенциалом в качестве основных методов биометрической системы аутентификации по клавиатурному почерку обладают метод меры Хэмминга и параметрический метод;
* Полученные показатели ошибок первого и второго родов ошибки (FRR и FAR), а также показатель CER (EER) являются слишком большими и не удовлетворяют требованиям безопасности современных систем аутентификации;
* В связи с высоким уровнем ошибок необходимы дополнительные исследования этой темы.

Также оценку эффективности методов провели Григорьев В.Р. и Никитин А.П. в статье [38]. В ней авторы выделяют следующую зависимость количества ошибок от метода сравнения биометрических образов.

**Таблица 4 Степень возникновения ошибок для различных методов считывания КП**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Один текст, одинаковое оборудование | | Один текст, разное оборудование | | Разные тексты, одинаковое оборудование | | Разные тексты, разное оборудование | |
| Ошибка  Метод сравнения образов | FRR | FAR | FRR | FAR | FRR | FAR | FRR | FAR |
| Расстояние Эвклида | 0,12 | 0,014 | 0,75 | 0,27 | 0,67 | 0,24 | 0,8 | 0,39 |
| Коэффициенты корреляции Спирмена и Пирсена | 0,09 | 0,007 | 0,24 | 0,11 | 0,15 | 0,05 | 0,56 | 0,13 |
| U-критерий Мана-Уитни | 0,01 | 0 | 0,06 | 0 | 0,04 | 0 | 0,09 | 0,008 |

В своей работе авторы делают следующие выводы:

* Наиболее корректен для сравнения образов почерков пользователей выбор критерия Жака-Бера;
* Реализованный в работе комплекс идентификации позволяет успешно идентифицировать пользователей в 91% случаев;

От чего зависит КП

Так как КП является динамическим методом биометрической идентификации, что значит зависимость КП от поведения субъекта, отсюда следует зависимость от психофизического состояния пользователя. Такую зависимость подтверждают многие исследования КП [20] [39].

Скринникова А.В. в своей работе проводит эксперимент по снятию КП у четырёх исследуемых. Эксперимент проходил в три этапа: в нейтральном состоянии, под воздействием эмоции радости и под воздействием эмоции страха. Контрольные фразы для каждого этапа были подобраны специальным образом, чтобы они описывали то состояние, которое соответствует проводимому этапу. Введение в состояние радости и страха производилось с помощью видео и аудио материалов. В состоянии радости значения характеристики КП в сравнении с нейтральным состоянием уменьшились на 6-23% у всех испытуемых. Однако, в состоянии страха у двух испытуемых изменение определённой характеристики не дало статистически верных значений и только у других двух изменение этих характеристик составило 13-20%.

**Таблица 5 Характер изменений стабильности параметров КП при опьянении**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Количество алкоголя в спиртовом эквиваленте | | |
| Параметры | 20 г. | 40 г. | 60 г. |
| Длительность пауз | Не изменилась – 13 чел.  Уменьшилась – 5 чел. | Не изменилась – 12 чел.  Уменьшилась – 5 чел.  Увеличилась – 1 чел. | Не изменилась – 9 чел.  Уменьшилась – 4 чел.  Увеличилась – 7 чел. |
| Длительность нажатий | Не изменилась – 18 чел. | Не изменилась – 18 чел. | Не изменилась – 14 чел.  Увеличилась – 3 чел.  Уменьшилась – 2 чел. |
| Скорость включения в клавиатуру | Не изменилась – 14 чел.  Увеличилась – 4 чел. | Не изменилась – 13 чел.  Увеличилась – 4 чел.  Уменьшилась – 1 чел. | Не изменилась – 9 чел.  Увеличилась – 3 чел.  Уменьшилась – 6 чел. |
| Количество опечаток | 0-5 – 18 чел. | 0-5 – 17 чел.  5-10 – 1 чел. | 0-5 – 16 чел.  5-10 – 2 чел. |

Полученные значения не позволяют сделать конкретные выводы в пользу определённого изменения характеристик КП под воздействием определённой эмоции, но достаточны чтобы отметить значимую зависимость КП от психофизического состояния человека и факт изменения характеристик при изменении этого состояния.

Также на психофизическое состояние человека могут повлиять психоактивные вещества. Горчакова А.В. в работе [40] рассматривает влияние алкоголя на КП.

В ходе исследования был проведён эксперимент, в котором КП испытуемых считывался в разных состояниях: нормальном, после употребления 20 грамм алкоголя, после употребления 40 грамм алкоголя и после употребления 60 грамм алкоголя. Эталонным показателем КП являлся считанный при нормальном состоянии и все сравнения при других состояниях проводились с ним. На основе полученных данных автор делает следующие выводы:

* Приём алкоголя до 40 г. в этиловом эквиваленте не оказывает критического влияние на КП и позволяет проводить их аутентификацию;
* Наиболее выраженное изменение КП происходит при употреблении алкоголя от 40 г. и больше;
* Состояние при употреблении от 40 г. алкоголя все ещё позволяет с высокой вероятностью опознавать владельца КП;
* Необходимы дополнительные критерии опознавания КП.

Изучение способов выявления индивидуальных информативных признаков и состояния пользователя всё ещё остаётся перспективным направлением.

Защита КП

В связи с высокой индивидуальностью динамических параметров биометрии человека их использование в системах идентификации и аутентификации остаётся вопросом времени. Однако подобная тенденция несёт в себе новые проблемы, на которые в будущем мире, где повсеместно используются подобные системы, необходимо будет найти решение.

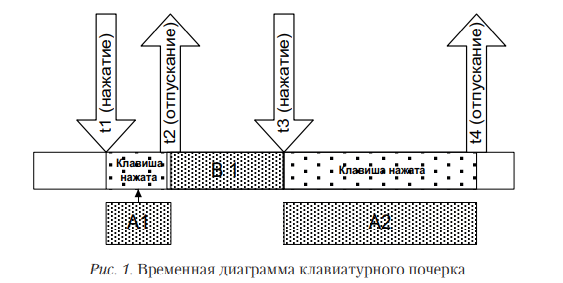
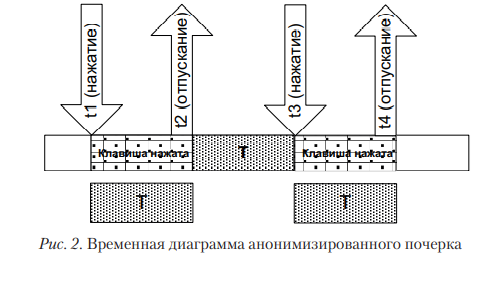
Такой проблемой является сохранность КП. Если злоумышленник получит образцы КП пользователя, то в худшем случае сможет использовать их для аутентификации, а значит получить доступ к конфиденциальной информации. В лучшем же случае злоумышленник сможет идентифицировать владельца КП, как следствие опознавать кем набирался текст на ресурсах, где имеется система считывания КП, к которой злоумышленник имеет доступ. Это грозит возможностью шантажа и компрометации пользователя. Так как право на анонимность действий в сети интернет закреплена конституцией РФ, то оно должно быть реализовано.

Данную проблему возможно решить способами фальсификации КП. То есть, параметры КП пользователя должны быть изменены перед тем, как могут быть считаны. Это значит, что программное или аппаратное решение будет перехватывать нажимаемые клавиши пользователем, сохранять и пересылать их, изменив временные характеристики нажатий. У такого программного решения есть недостатки, в сравнении с аппаратным:

* Сложность реализации – подобное решение подразумевает изменение работы некоторых служб операционной системы, что требует определенной компетенции в данной области;
* В случае возникновения какой-либо ошибки в работе программы возможна ситуация, при которой КП пользователя не будет изменяться, а значит позволит злоумышленнику получить его.

Аппаратное решение [41] подразумевает разработку устройства, которое еще до этапа обработки операционной системой нажатых клавиш изменяет их временные характеристики. Это может быть как модуль внедрения в клавиатуру, так и модуль между клавиатурой и компьютером. Модуль внедрения в клавиатуру преимуществ, кроме визуальной скрытности наличия комплекса изменения КП, не даёт. Более универсальным является модуль между клавиатурой и компьютером. Данное решение позволяет не зависеть от операционной системы и использовать его для любой ОС, однако подобный комплекс является зависимым от типа порта подключения, таких как USB или PS/2. Принцип работы подобного решения основывается на использовании буфера, где регистрируются события клавиатуры. После, содержимое буфера передаётся на компьютер.

**Рисунок 5 Временная схема длительности нажатий до и после анонимизации**



Это позволяет обеспечить анонимность КП, так как устраняется большинство индивидуальных характеристик КП. Теоретически, возможна реализация изменения не только временных характеристик, а и самих нажатых клавиш. Это может использоваться для того, чтобы не дать возможность идентифицировать пользователя по его часто используемым сочетаниям клавиш или особенных клавиш.

Например, изменение кода набранных клавиш чисел с боковой части клавиатуры (NumPad) на коды клавиш чисел, расположенных над основной клавиатурой или наоборот или же изменение сочетания клавиш для переключения языка ввода «Windows + Пробел» на «Shift + Alt». Следует выделить возможность разработки такого комплекса, где будет иметься возможность выбора характеристик КП и их настройки, а буфер будет не просто пересылаться на компьютер, а делать это в соответствии с введёнными временными интервалами. Такой комплекс позволит подделывать КП – копировать характеристики КП в случае их считывания или же подбирать необходимые характеристики. Вероятно, такие возможности останутся незамеченными злоумышленниками.

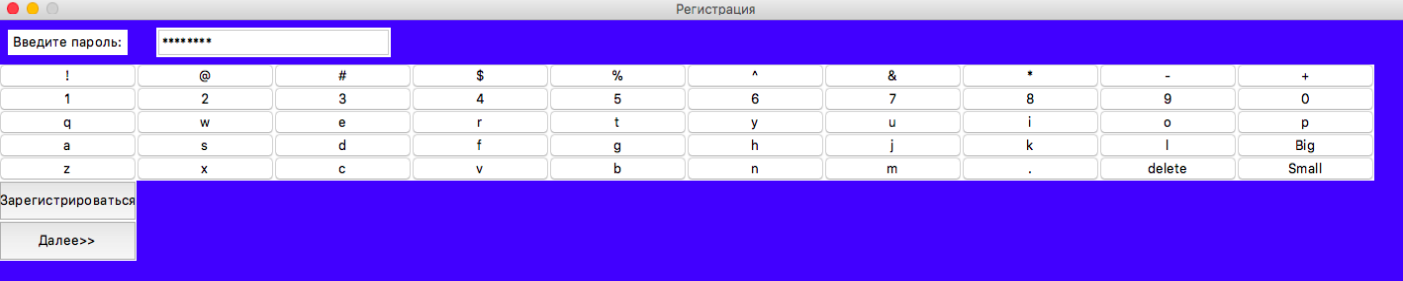
Стоит выделить и другую проблему КП – способ хранения. Так как КП используется для аутентификации пользователей, то закономерным является хранение эталонов КП пользователей для проведения сравнения КП. Если эталоны образцов КП будут храниться на сервере, то в случае их хищения у похитителя появляется возможность получения доступа к конфиденциальной информации и использования данных эталонов для деанонимизации действий пользователей.

Решением данной проблемы может являться применение метода «нечётких экстракторов» [42]. Принцип работы данного метода заключается в том, что информация об эталоне КП конкретного пользователя объединяется с битовой последовательностью. Принципы генерации битовой последовательности и объединения могут быть различными, как случайная генерация для битовой последовательности, так и простое сложения для объединения. Результат объединения сохраняется на сервере, а сам эталон КП нет. В результате авторизации из данного результата «вычитаются» характеристики КП и полученное «частное» сравнивается с битовой последовательностью. В случае высокой степени совпадения происходит аутентификация.

Если случится похищение данных с сервера, то злоумышленник получит «сумму» эталона КП и битовой последовательности и саму битовую последовательность, в случае если все эти данные хранятся на одном сервере, но не будет знать алгоритма «вычитания», что не позволит раскрыть КП пользователей. Подробнее метод «нечётких экстракторов» рассмотрен в статье [43].

Реализации систем считывания КП

Благодаря возможности опознавать владельца КП с высокой точностью КП может использоваться для систем в качестве основной или дополнительной меры аутентификации. Основными критериями для таких систем являются надёжность, удобство пользователя и скорость аутентификации. В качестве ускорения процесса аутентификации может служить скрытая аутентификация. Скрытая аутентификация – это та аутентификация, которая проходит без ведома пользователя. В нашем случае скрытая аутентификация по КП может быть реализована при считывании написания логина. Примером программы считывания КП может являться программа BioKeyLogon. Возможно и создание собственной программы по считыванию КП. Исследование разработки такого программного комплекса рассмотрены в работах [44] [45].



**Рисунок 6 Программа на MACOS с реализацией считывания КП**

Также существуют полноценные биометрические системы, основывающиеся на статических методах биометрии, но, к тому же, использующие технологии фиксации биометрии поведения. Активное распространение такие системы получили у финансового сектора, особенно среди банков. Такая тенденция вполне обоснованна. Примером успешного внедрения и использования является пример предотвращения снятия денег со счета клиента Королевского Шотландского Банка. Тогда в 2018 году система обнаружила нетипичные действия для клиента, после аутентификации он использовал колесо мыши, а цифры вводил с верхней части клавиатуры, а не с боковой панели, как обычно. В итоге счёт был заблокирован, как позже оказалось, учётная запись была взломана.

В России используют разработанную ПАО «Ростелеком» при поддержке Банка России и Министерства цифрового развития Единую Биометрическую Систему (ЕБС) [46]. Наиболее известной системой биометрической аутентификации в мире является разработка компании Enigma Logic – ID-007. В России же подобным решением является разработка академии ФСБ – АСОО «Кобра» [47]. Подробнее о сравнении принципов работы данных систем рассмотрено тут [48]. В ЕБС внедряются технологии фиксации динамических методов биометрии.

Реализация клавиатуры для считывания дополнительных параметров КП

В работе [14] рассматривается создание клавиатуры, способной считывать силу нажатия клавиш и вибрации, создаваемые при наборе текста. В качестве платформы для регистрации дополнительных параметров КП был выбран контроллер Arduino Uno R3, построенного на чипе ATmega328, способного преобразовывать аналоговые сигналы в цифровые с помощью аналого-цифрового преобразователя (АЦП).

К Arduino Uno R3 подключается сенсор вибрации и пять сенсоров давления. В качестве представленных датчиков давления был использован датчик давления Interlink 408 FSR. Для получения данных о вибрации использован пьезоэлектрический датчик вибрации Analog Piezo Disk Vibration Sensor компании DFRobot.

Для определения кодов клавиш и моментов их нажатий использован модуль USB Host Shield.К Arduino Uno R3 через USB Host Shield подключена клавиатураLogitech K120. Корпус клавиатуры был вскрыт и под ряды её клавиш были установлены датчики давления.

**Рисунок 7 Клавиатура с установленными датчиками давления**

Возможности применения и тенденции

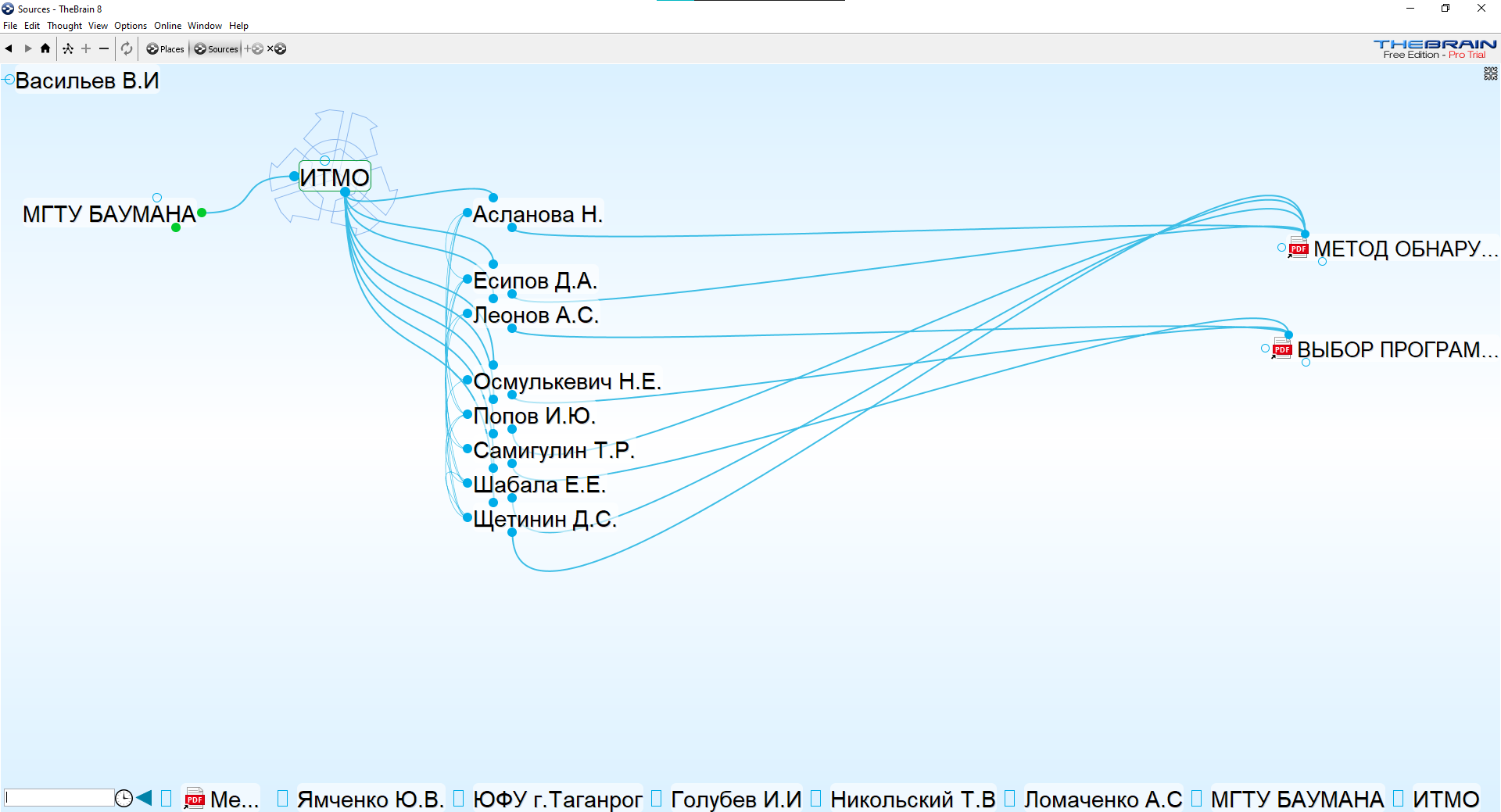
Существует и другая область применения КП – мониторинг поведения субъекта, то есть считывание КП происходит не только в момент регистрации и аутентификации пользователя, а непосредственно во время работы субъекта, что позволяет регистрировать изменения КП во время работы, следовательно может предупреждать изменения психофизического состояния, смену человека, работающего за клавиатурой или же реализованные попытки несанкционированного доступа. Предупреждение изменения психофизического состояния позволяет определить сильное воздействие на нервную систему пользователя. Причиной этому может являться стресс, который мог бы быть вызван насильным принуждением третьими лицами к предоставлению конфиденциальной информации, также может являться опьянение [40], как алкогольное, так и наркотическое, но более интересной возможностью применения является возможность распознания нелояльного сотрудника [49]. Эта возможность распознания нелояльного сотрудника основывается на изменении стабильности характеристик КП, в связи со стрессом, вместе с совершением действий, нехарактерных для обычной работы этого сотрудника.

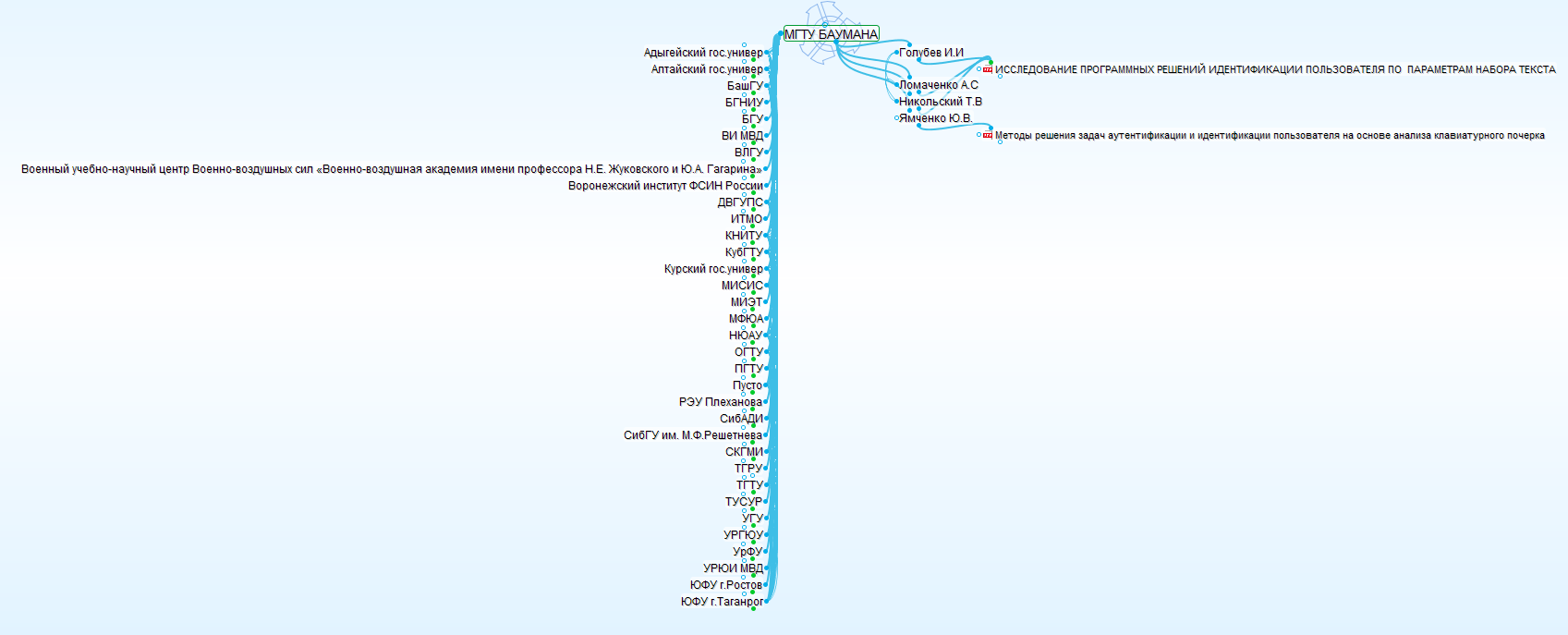
Изменение стабильности характеристик КП является достаточно надёжным поводом полагать об изменении поведения пользователя. На основе этого было проведено исследование о возможности создания полиграфа на основе клавиатурного почерка [50]. В нём авторы проводят эксперимент по снятию КП на основе фраз на русском, английском, немецком и испанском языках. Основываясь на результатах, авторы подтверждают зависимость КП от психофизического состояния, выделяют медленную тенденцию изменения характеристик КП при «нормальном» состоянии и подтверждают возможность реализации полиграфа на основе КП. О способах обнаружения инцидентов проникновения в систему подробнее говорится в статье [51].

Помимо возможности создания полиграфа, в работе [52] рассматривается возможность использования КП для стилометрии – области, занимающаяся изучением особенностей стилистики– и для габитоскопии – области, изучающей закономерности запечатления внешнего вида человека в различных отображениях.

Анализ работ на тему КП

В ходе выполнения работы мной ещё на этапе набора материала для изучения все статьи с ресурса Киберленинка были классифицированы по авторам и вузам в программе TheBrain.

Каждый ВУЗ содержит авторов, к каждому автору привязана его статья, что позволяет оперативно искать необходимые работы по вузам или авторам.

Мною было выявлено 34 вуза, в которых публиковались статьи, касающиеся КП и 100 авторов. Количество проанализированной мною литературы только с ресурса Киберленинка – 59 статей.

**Рисунок 8 Список вузов в программе TheBrain**

**Рисунок 9 Реализация классификации статей по названию, авторам и вузам**

На основе полученных данных хочется выделить особый интерес большинства авторов из вузов МВД РФ к теме использования КП в качестве процедуры определения вины подозреваемых. Также хочется выделить авторов наиболее долго работающих с темой КП и, по моему мнению, наиболее полно раскрывших свою тему. Такими являются Сулавко А.Е и Еременко А.В. из ОГТУ и Брюхомицкий Ю.А. из ЮФУ г.Таганрог. Кроме того, хочется выделить авторов, чьи работы также, по моему мнению, очень хорошо и полно раскрывают аспекты КП. Это Довгаль В.А. из Адыгейского гос.Универа, Голеусов Я.А. из СибГУ Решетнёва, Губко Д.О, Душкин.А.В., Кольцов А.С., Смидюк А.О. из Воронежского института ФСИН РФ и Скринникова А.В. из СКГМИ.

МАИ к статьям

На основе изученных данных можно применить метод анализа иерархий к статьям. Целью является нахождение наиболее авторитетной статьи из представленных. Были отобраны три статьи:

1. Довгаль В.А. Обзор характеристик производительности наборов данных, используемых для обеспечения информационной безопасности на основе клавиатурного почерка [12];
2. Ложников П.С., Сулавко А.Е., Бурая Е.В., Еременко А.В. Способы генерации ключевых последовательностей на основе клавиатурного почерка [43];
3. Ямченко Ю.В. Методы решения задач аутентификации и идентификации пользователя на основе анализа клавиатурного почерка [53].

Для удобства в дальнейшем статьи будут называться ФИО первого автора. Выявлено семь важных критериев.

**Таблица 6 Характеристики статей**

|  |  |
| --- | --- |
| № | Характеристика |
| 1 | Качество раскрытия темы |
| 2 | Количество публикаций, касающихся темы |
| 3 | Учёная степень |
| 4 | Количество публикаций |
| 5 | Количество ссылок |
| 6 | Объём статьи |
| 7 | Количество авторов |

Объяснение критериев:

* Качество раскрытия темы – это субъективная оценка полноты информирования читателя в статье.
* Количество публикаций, касающихся темы – это количество работ автора статьи, в которых рассматривается как КП, так и его аспекты.
* Учёная степень – наличие или отсутствие учёной степени у автора.
* Количество публикаций – сравнительное количество работ у автора на ресурсе «Киберленинка» любой тематики.
* Количество ссылок – количество использованной литературы в статье, на которую ссылается автор.
* Объём статьи – количество страниц в статье.
* Количество авторов – количество указанных людей в качестве авторов.

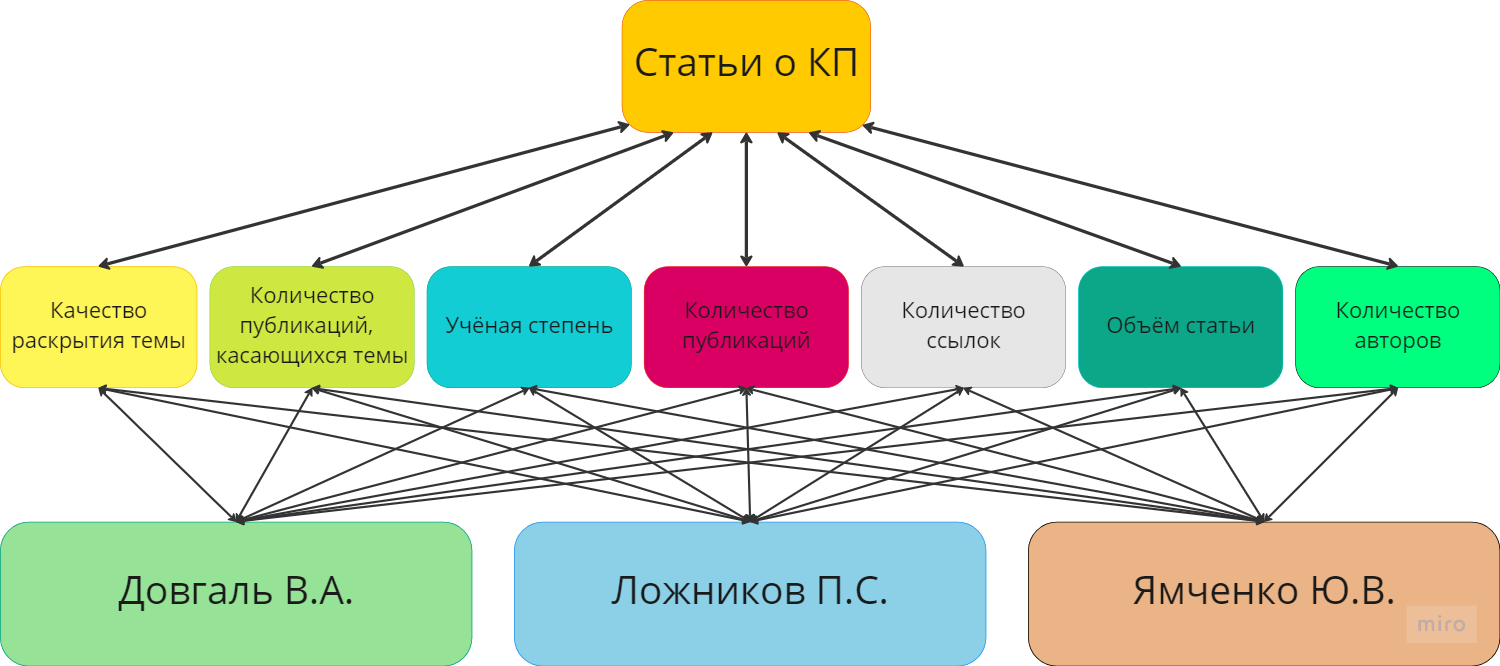
Сравнение критериев выполнялось по такой качественной шкале:

* равно, безразлично = 1;
* немного лучше (хуже) = 3 (1/3);
* лучше (хуже) = 5 (1/5);
* значительно лучше (хуже) = 7 (1/7);
* принципиально лучше (хуже) = 9 (1/9).

Для усредненной оценки использовались промежуточные баллы 2, 4, 6 и 8.

Составляем матрицу aij - отношение критерия i к критерию j, где aji=1/aij и aii=1.

**Рисунок 10 Дерево альтернатив**



| **Критерии** | **Качество раскрытия темы** | **Количество публикаций, касающихся темы** | **Учёная степень** | **Количество публикаций** | **Количество ссылок** | **Объём статьи** | **Количество авторов** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Качество раскрытия темы** | **1** | 9 | 5 | 9 | 6 | 5 | 4 |
| **Количество публикаций, касающихся темы** | 1/9 | **1** | 1/3 | 5 | 7 | 4 | 9 |
| **Учёная степень** | 1/5 | 3 | **1** | 3 | 4 | 5 | 5 |
| **Количество публикаций** | 1/9 | 1/5 | 1/3 | **1** | 3 | 2 | 4 |
| **Количество ссылок** | 1/6 | 1/7 | 1/4 | 1/3 | **1** | 2 | 3 |
| **Объём статьи** | 1/5 | 1/4 | 1/5 | 1/2 | 1/2 | **1** | 3 |
| **Количество авторов** | 1/4 | 1/9 | 1/5 | 1/4 | 1/3 | 1/3 | **1** |

**Таблица 7 Матрица попарных сравнений для критериев**

Составив матрицу, считаем сумму ячеек в каждом столбце.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Критерии** | **Качество раскрытия темы** | **Количество публикаций, касающихся темы** | **Учёная степень** | **Количество публикаций** | **Количество ссылок** | **Объём статьи** | **Количество авторов** |
| **Качество раскрытия темы** | **1** | 9 | 5 | 9 | 6 | 5 | 4 |
| **Количество публикаций, касающихся темы** | 1/9 | **1** | 1/3 | 5 | 7 | 4 | 9 |
| **Учёная степень** | 1/5 | 3 | **1** | 3 | 4 | 5 | 5 |
| **Количество публикаций** | 1/9 | 1/5 | 1/3 | **1** | 3 | 2 | 4 |
| **Количество ссылок** | 1/6 | 1/7 | 1/4 | 1/3 | **1** | 2 | 3 |
| **Объём статьи** | 1/5 | 1/4 | 1/5 | 1/2 | 1/2 | **1** | 3 |
| **Количество авторов** | 1/4 | 1/9 | 1/5 | 1/4 | 1/3 | 1/3 | **1** |
| **Сумма** | 2.04 | 13.7 | 7.32 | 18.27 | 21.83 | 19.33 | 29 |

**Таблица 8 Матрица критериев с суммой**

Каждую ячейку делим на значение суммы искомого столбца и составляем новую матрицу.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ***Aij*** | **Качество раскрытия темы** | **Количество публикаций, касающихся темы** | **Учёная степень** | **Количество публикаций** | **Количество ссылок** | **Объём статьи** | **Количество авторов** |
| **Качество раскрытия темы** | **0.49** | 0.66 | 0.68 | 0.471 | 0.275 | 0.259 | 0.138 |
| **Количество публикаций, касающихся темы** | 0.05 | **0.07** | 0.05 | 0.262 | 0.322 | 0.207 | 0.311 |
| **Учёная степень** | 0.1 | 0.22 | **0.137** | 0.157 | 0.183 | 0.258 | 0.172 |
| **Количество публикаций** | 0.05 | 0.014 | 0.045 | **0.052** | 0.137 | 0.104 | 0.137 |
| **Количество ссылок** | 0.09 | 0.01 | 0.034 | 0.017 | **0.045** | 0.103 | 0.104 |
| **Объём статьи** | 0.1 | 0.018 | 0.027 | 0.026 | 0.022 | **0.051** | 0.103 |
| **Количество авторов** | 0.12 | 0.008 | 0.027 | 0.015 | 0.016 | 0.018 | **0.035** |

**Таблица 9 Нормированная матрица сравнений для критериев**

Основываясь на нормированную матрицу, вычисляем среднее арифметическое значение каждого критерия.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ***Aij*** | **Качество раскрытия темы** | **Количество публикаций, касающихся темы** | **Учёная степень** | **Количество публикаций** | **Количество ссылок** | **Объём статьи** | **Количество авторов** | **Среднее значение** |
| **Качество раскрытия темы** | **0.49** | 0.66 | 0.68 | 0.471 | 0.275 | 0.259 | 0.138 | 0.425 |
| **Количество публикаций, касающихся темы** | 0.05 | **0.07** | 0.05 | 0.262 | 0.322 | 0.207 | 0.311 | 0.181 |
| **Учёная степень** | 0.1 | 0.22 | **0.137** | 0.157 | 0.183 | 0.258 | 0.172 | 0.175 |
| **Количество публикаций** | 0.05 | 0.014 | 0.045 | **0.052** | 0.137 | 0.104 | 0.137 | 0.077 |
| **Количество ссылок** | 0.09 | 0.01 | 0.034 | 0.017 | **0.045** | 0.103 | 0.104 | 0.057 |
| **Объём статьи** | 0.1 | 0.018 | 0.027 | 0.026 | 0.022 | **0.051** | 0.103 | 0.049 |
| **Количество авторов** | 0.12 | 0.008 | 0.027 | 0.015 | 0.016 | 0.018 | **0.035** | 0.036 |

**Таблица 10 Нормированная матрица сравнений для критериев со средним значением**

На данном этапе можно сделать следующий промежуточный вывод - по степени удовлетворения нашей цели при выборе авторитетной статьи наиболее весомым критерием является качество раскрытия темы.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **Вес в долях** | **Вес в процентах** |
| **Качество раскрытия темы** | 0.425 | 42,5 |
| **Количество публикаций, касающихся темы** | 0.181 | 18,1 |
| **Учёная степень** | 0.175 | 17,5 |
| **Количество публикаций** | 0.077 | 7,7 |
| **Количество ссылок** | 0.057 | 5,7 |
| **Объём статьи** | 0.049 | 4,9 |

**Таблица 11 Весовые столбцы критериев по цели**

Расчёт показателей по критерию «Качество раскрытия темы»

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Качество раскрытия темы** | **Довгаль В.А.** | **Ложников П.С.** | **Ямченко Ю.В.** |
| **Довгаль В.А.** | **1** | 1/4 | 3 |
| **Ложников П.С.** | 4 | **1** | 6 |
| **Ямченко Ю.В.** | 1/3 | 1/6 | **1** |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Качество раскрытия темы** | **Довгаль В.А.** | **Ложников П.С.** | **Ямченко Ю.В.** |
| **Довгаль В.А.** | **1** | 1/4 | 3 |
| **Ложников П.С.** | 4 | **1** | 6 |
| **Ямченко Ю.В.** | 1/3 | 1/6 | **1** |
| **Сумма** | 5.33 | 1.42 | 10 |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Качество раскрытия темы** | **Довгаль В.А.** | **Ложников П.С.** | **Ямченко Ю.В.** |
| **Довгаль В.А.** | **0.188** | 0.177 | 0.3 |
| **Ложников П.С.** | 0.75 | **0.705** | 0.6 |
| **Ямченко Ю.В.** | 0.062 | 0.118 | **0.1** |

| **Качество раскрытия темы** | **Довгаль В.А.** | **Ложников П.С.** | **Ямченко Ю.В.** | **Среднее значение** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Довгаль В.А.** | **0.188** | 0.177 | 0.3 | 0.222 |
| **Ложников П.С.** | 0.75 | **0.705** | 0.6 | 0.685 |
| **Ямченко Ю.В.** | 0.062 | 0.118 | **0.1** | 0.093 |

Расчет показателей по критерию «Количество публикаций, касающихся темы»

| **Количество публикаций, касающихся темы** | **Довгаль В.А.** | **Ложников П.С.** | **Ямченко Ю.В.** |
| --- | --- | --- | --- |
| **Довгаль В.А.** | **1** | 1/2 | 2 |
| **Ложников П.С.** | 2 | **1** | 1/3 |
| **Ямченко Ю.В.** | 1/2 | 3 | **1** |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Количество публикаций, касающихся темы** | **Довгаль В.А.** | **Ложников П.С.** | **Ямченко Ю.В.** |
| **Довгаль В.А.** | **1** | 1/2 | 2 |
| **Ложников П.С.** | 2 | **1** | 1/3 |
| **Ямченко Ю.В.** | 1/2 | 3 | **1** |
| **Сумма** | 3.5 | 4.5 | 3.33 |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Количество публикаций, касающихся темы** | **Довгаль В.А.** | **Ложников П.С.** | **Ямченко Ю.В.** |
| **Довгаль В.А.** | **0.286** | 0.111 | 0.6 |
| **Ложников П.С.** | 0.571 | **0.222** | 0.1 |
| **Ямченко Ю.В.** | 0.143 | 0.667 | **0.3** |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Количество публикаций, касающихся темы** | **Довгаль В.А.** | **Ложников П.С.** | **Ямченко Ю.В.** | **Среднее значение** |
| **Довгаль В.А.** | **0.286** | 0.111 | 0.6 | 0.332 |
| **Ложников П.С.** | 0.571 | **0.222** | 0.1 | 0.298 |
| **Ямченко Ю.В.** | 0.143 | 0.667 | **0.3** | **0.37** |

Расчет показателей по критерию «Учёная степень»

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Учёная степень** | **Довгаль В.А.** | **Ложников П.С.** | **Ямченко Ю.В.** |
| **Довгаль В.А.** | **1** | 1 | 7 |
| **Ложников П.С.** | 1 | **1** | 7 |
| **Ямченко Ю.В.** | 1/7 | 1/7 | **1** |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Учёная степень** | **Довгаль В.А.** | **Ложников П.С.** | **Ямченко Ю.В.** |
| **Довгаль В.А.** | **1** | 1 | 7 |
| **Ложников П.С.** | 1 | **1** | 7 |
| **Ямченко Ю.В.** | 1/7 | 1/7 | **1** |
| **Сумма** | 2.143 | 2.143 | 15 |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Учёная степень** | **Довгаль В.А.** | **Ложников П.С.** | **Ямченко Ю.В.** |
| **Довгаль В.А.** | **0.466** | 0.467 | 0.466 |
| **Ложников П.С.** | 0.467 | **0.466** | 0.467 |
| **Ямченко Ю.В.** | 0.067 | 0.067 | **0.67** |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Учёная степень** | **Довгаль В.А.** | **Ложников П.С.** | **Ямченко Ю.В.** | **Среднее значение** |
| **Довгаль В.А.** | **0.466** | 0.467 | 0.466 | 0.466 |
| **Ложников П.С.** | 0.467 | **0.466** | 0.467 | 0.467 |
| **Ямченко Ю.В.** | 0.067 | 0.067 | **0.067** | **0.067** |

Расчет показателей по критерию «Количество публикаций»

| **Количество публикаций** | **Довгаль В.А.** | **Ложников П.С.** | **Ямченко Ю.В.** |
| --- | --- | --- | --- |
| **Довгаль В.А.** | **1** | 2 | 6 |
| **Ложников П.С.** | 1/2 | **1** | 5 |
| **Ямченко Ю.В.** | 1/6 | 1/5 | **1** |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Количество публикаций** | **Довгаль В.А.** | **Ложников П.С.** | **Ямченко Ю.В.** |
| **Довгаль В.А.** | **1** | 2 | 6 |
| **Ложников П.С.** | 1/2 | **1** | 5 |
| **Ямченко Ю.В.** | 1/6 | 1/5 | **1** |
| **Сумма** | 1.667 | 3.2 | 12 |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Количество публикаций** | **Довгаль В.А.** | **Ложников П.С.** | **Ямченко Ю.В.** |
| **Довгаль В.А.** | **0.6** | 0.625 | 0.5 |
| **Ложников П.С.** | 0.3 | **0.312** | 0.417 |
| **Ямченко Ю.В.** | 0.1 | 0.063 | **0.083** |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Количество публикаций** | **Довгаль В.А.** | **Ложников П.С.** | **Ямченко Ю.В.** | **Среднее значение** |
| **Довгаль В.А.** | **0.6** | 0.625 | 0.5 | 0.575 |
| **Ложников П.С.** | 0.3 | **0.312** | 0.417 | 0.343 |
| **Ямченко Ю.В.** | 0.1 | 0.063 | **0.083** | 0.082 |

Расчет показателей по критерию «Количество ссылок»

| **Количество ссылок** | **Довгаль В.А.** | **Ложников П.С.** | **Ямченко Ю.В.** |
| --- | --- | --- | --- |
| **Довгаль В.А.** | **1** | 1/5 | 1/9 |
| **Ложников П.С.** | 5 | **1** | 1/6 |
| **Ямченко Ю.В.** | 9 | 6 | **1** |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Количество ссылок** | **Довгаль В.А.** | **Ложников П.С.** | **Ямченко Ю.В.** |
| **Довгаль В.А.** | **1** | 1/5 | 1/9 |
| **Ложников П.С.** | 5 | **1** | 1/6 |
| **Ямченко Ю.В.** | 9 | 6 | **1** |
| **Сумма** | 15 | 7.2 | 1.278 |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Количество ссылок** | **Довгаль В.А.** | **Ложников П.С.** | **Ямченко Ю.В.** |
| **Довгаль В.А.** | **0.067** | 0.028 | 0.087 |
| **Ложников П.С.** | 0.333 | **0.139** | 0.131 |
| **Ямченко Ю.В.** | 0.6 | 0.833 | **0.782** |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Количество ссылок** | **Довгаль В.А.** | **Ложников П.С.** | **Ямченко Ю.В.** | **Среднее значение** |
| **Довгаль В.А.** | **0.067** | 0.028 | 0.087 | 0.061 |
| **Ложников П.С.** | 0.333 | **0.139** | 0.131 | 0.201 |
| **Ямченко Ю.В.** | 0.6 | 0.833 | **0.782** | 0.738 |

Расчет показателей по критерию «Объём статьи»

| **Объём статьи** | **Довгаль В.А.** | **Ложников П.С.** | **Ямченко Ю.В.** |
| --- | --- | --- | --- |
| **Довгаль В.А.** | **1** | 2 | 1/8 |
| **Ложников П.С.** | 1/2 | **1** | 1/9 |
| **Ямченко Ю.В.** | 8 | 9 | **1** |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Объём статьи** | **Довгаль В.А.** | **Ложников П.С.** | **Ямченко Ю.В.** |
| **Довгаль В.А.** | **1** | 2 | 1/8 |
| **Ложников П.С.** | 1/2 | **1** | 1/9 |
| **Ямченко Ю.В.** | 8 | 9 | **1** |
| **Сумма** | 9.5 | 12 | 1.236 |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Объём статьи** | **Довгаль В.А.** | **Ложников П.С.** | **Ямченко Ю.В.** |
| **Довгаль В.А.** | **0.105** | 0.167 | 0.101 |
| **Ложников П.С.** | 0.053 | **0.083** | 0.09 |
| **Ямченко Ю.В.** | 0.842 | 0.75 | **0.809** |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Объём статьи** | **Довгаль В.А.** | **Ложников П.С.** | **Ямченко Ю.В.** | **Среднее значение** |
| **Довгаль В.А.** | **0.105** | 0.167 | 0.101 | 0.125 |
| **Ложников П.С.** | 0.053 | **0.083** | 0.09 | 0.075 |
| **Ямченко Ю.В.** | 0.842 | 0.75 | **0.809** | 0.8 |

Расчет показателей по критерию «Количество авторов»

| **Количество авторов** | **Довгаль В.А.** | **Ложников П.С.** | **Ямченко Ю.В.** |
| --- | --- | --- | --- |
| **Довгаль В.А.** | **1** | 1/9 | 1 |
| **Ложников П.С.** | 9 | **1** | 9 |
| **Ямченко Ю.В.** | 1 | 1/9 | **1** |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Количество авторов** | **Довгаль В.А.** | **Ложников П.С.** | **Ямченко Ю.В.** |
| **Довгаль В.А.** | **1** | 1/9 | 1 |
| **Ложников П.С.** | 9 | **1** | 9 |
| **Ямченко Ю.В.** | 1 | 1/9 | **1** |
| **Сумма** | 11 | 1.222 | 11 |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Количество авторов** | **Довгаль В.А.** | **Ложников П.С.** | **Ямченко Ю.В.** |
| **Довгаль В.А.** | **0.091** | 0.091 | 0.091 |
| **Ложников П.С.** | 0.818 | **0.818** | 0.818 |
| **Ямченко Ю.В.** | 0.091 | 0.091 | **0.091** |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Количество авторов** | **Довгаль В.А.** | **Ложников П.С.** | **Ямченко Ю.В.** | **Среднее значение** |
| **Довгаль В.А.** | **0.091** | 0.091 | 0.091 | 0.91 |
| **Ложников П.С.** | 0.818 | **0.818** | 0.818 | 0.818 |
| **Ямченко Ю.В.** | 0.091 | 0.091 | **0.091** | 0.91 |

Определение весов альтернатив

**Таблица 12 Вектор весов критериев b**

| **Критерий** | **Значение** |
| --- | --- |
| Качество раскрытия темы | 0.425 |
| Количество публикаций, касающихся темы | 0.181 |
| Учёная степень | 0.175 |
| Количество публикаций | 0.077 |
| Количество ссылок | 0.057 |
| Объём статьи | 0.049 |
| Количество авторов | 0.036 |

**Таблица 13 Матрица весов альтернатив по каждому критерию A**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Критерии** | **Качество раскрытия темы** | **Количество публикаций, касающихся темы** | **Учёная степень** | **Количество публикаций** | **Количество ссылок** | **Объём статьи** | **Количество авторов** |
| **Довгаль В.А.** | 0.222 | 0.332 | 0.466 | 0.575 | 0.061 | 0.125 | 0.91 |
| **Ложников П.С** | 0.685 | 0.298 | 0.467 | 0.343 | 0.201 | 0.075 | 0.818 |
| **Ямченко Ю.В.** | 0.093 | 0.37 | 0.067 | 0.082 | 0.738 | 0.8 | 0.91 |

Перемножив A на b получим вектор весов альтернатив с точки зрения цели ЛПР:

Компоненты матрицы С вычисляются следующим образом:

c11 = a11 · b11 + a12 · b21 + a13 · b31 + a14 · b41 + a15 · b51 + a16 · b61 + a17 · b71 = 0.222 · 0.425 + 0.332 · 0.181 + 0.466 · 0.175 + 0.575 · 0.077 + 0.061 · 0.057 + 0.125 · 0.049 + 0.91 · 0.036 = 0.09435 + 0.060092 + 0.08155 + 0.044275 + 0.003477 + 0.006125 + 0.03276 = 0.322629

c21 = a21 · b11 + a22 · b21 + a23 · b31 + a24 · b41 + a25 · b51 + a26 · b61 + a27 · b71 = 0.685 · 0.425 + 0.298 · 0.181 + 0.467 · 0.175 + 0.343 · 0.077 + 0.201 · 0.057 + 0.075 · 0.049 + 0.818 · 0.036 = 0.291125 + 0.053938 + 0.081725 + 0.026411 + 0.011457 + 0.003675 + 0.029448 = 0.497779

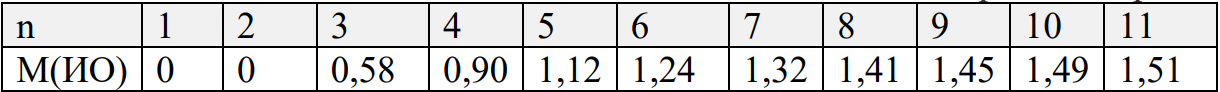
c31 = a31 · b11 + a32 · b21 + a33 · b31 + a34 · b41 + a35 · b51 + a36 · b61 + a37 · b71 = 0.093 · 0.425 + 0.37 · 0.181 + 0.067 · 0.175 + 0.082 · 0.077 + 0.738 · 0.057 + 0.8 · 0.049 + 0.91 · 0.036 = 0.039525 + 0.06697 + 0.011725 + 0.006314 + 0.042066 + 0.0392 + 0.03276 = 0.23856

**Таблица 14 Матрица C**

|  |  |
| --- | --- |
| **Критерии** | **A \* B = C** |
| **Довгаль В.А.** | 0.322629 |
| **Ложников П.С** | 0.497779 |
| **Ямченко Ю.В.** | 0.23856 |

Из вектора **C** видно, что наиболее привлекательной для цели ЛПР является статья при участии Ложникова П.С.

Экспертная оценка

Оценим качество однородности мнения эксперта по формулам ИО=ИМ=(λmax-n)/(n-1) ОО=ОС=ИО/М(ИО)

В нашем случае количество критериев n = 7.

Характеристический полином:

⁁^7 - 7.0\*⁁^6 + 4.0000000000151e-5\*⁁^5 - 84.9460769003\*⁁^4 - 113.872362954622\*⁁^3 - 150.305568448087\*⁁^2 - 91.8160060106338\*⁁ - 19.6303933802973 = 0

⁁\_1 = 7.42076991565496 - λmax

⁁\_2 = -0.424132861292739 - 0.136102551009984\*i

⁁\_3 = -0.424132861292739 + 0.136102551009984\*i

⁁\_4 = -0.303585783230087 - 1.03258599327079\*i

⁁\_5 = -0.303585783230087 + 1.03258599327079\*i

⁁\_6 = 0.0173336866953455 - 3.18470072641239\*i

⁁\_7 = 0.0173336866953455 + 3.18470072641239\*i

ИО=ИМ=(λmax-n)/(n-1)=(7.4208-7)/(7-1)= 0. 0.0701

ОО=ОС=ИО/М(ИО)= 0.0701/1.32=**0.053131**≤0.10.

Допустимость оценок эксперта проверена, следовательно, полученные экспертные оценки являются достоверными и практически приемлемыми.

Библиографический список

1. Еременко Ю.И., Олюнина Ю.С. Об идентификации клавиатурного почерка пользователей // Перспективы развития информационных технологий. 2016 [Электронный ресурс]. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ob-identifikatsii-klaviaturnogo-pocherka-polzovateley> (дата обращения: 28.12.2022).
2. Драйверы клиента HID клавиатуры и мыши // [Электронный ресурс]. URL: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/windows-hardware/drivers/hid/keyboard-and-mouse-hid-client-drivers> (дата обращения: 28.12.2022).
3. Cообщение WM\_KEYDOWN // [Электронный ресурс]. URL: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/windows/win32/inputdev/wm-keydown> (дата обращения: 28.12.2022).
4. Cообщение WM\_KEYUP // [Электронный ресурс]. URL: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/windows/win32/inputdev/wm-keyup> (дата обращения: 28.12.2022).
5. Cообщение WM\_SYSKEYDOWN // [Электронный ресурс]. URL: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/windows/win32/inputdev/wm-syskeydown> (дата обращения: 28.12.2022).
6. Cообщение WM\_SYSKEYUP // [Электронный ресурс]. URL: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/windows/win32/inputdev/wm-syskeyup> (дата обращения: 28.12.2022).
7. SetWinEventHook function // [Электронный ресурс]. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/windows/win32/api/winuser/nf-winuser-setwineventhook> (дата обращения: 28.12.2022).
8. Душкин А.В., Кольцов А.С., Смидюк А.О., Губко Д.О. Реализация механизма перехвата клавиш при идентификации пользователя по клавиатурному почерку // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2015. — [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/realizatsiya-mehanizma-perehvata-klavish-pri-identifikatsii-polzovatelya-po-klaviaturnomu-pocherku> (дата обращения: 28.12.2022).
9. timeGetTime function // [Электронный ресурс]. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/windows/win32/api/timeapi/nf-timeapi-timegettime> (дата обращения: 28.12.2022).
10. Ломаченко А.С., Никольский Т.В., Голубев И.И. Исследование программных решений идентификации пользователя по параметрам набора текста // Colloquium-journal. 2020. [Электронный ресурс]. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-programmnyh-resheniy-identifikatsii-polzovatelya-po-parametram-nabora-teksta> (дата обращения: 28.12.2022).
11. Довгаль В.А. Обзор характеристик производительности наборов данных, используемых для обеспечения информационной безопасности на основе клавиатурного почерка // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. 2016. — [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-harakteristik-proizvoditelnosti-naborov-dannyh-ispolzuemyh-dlya-obespecheniya-informatsionnoy-bezopasnosti-na-osnove> (дата обращения: 28.12.2022).
12. Довгаль В.А. Особенности захвата параметров клавиатурного почерка // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. 2017. — [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-zahvata-parametrov-klaviaturnogo-pocherka> (дата обращения: 28.12.2022).
13. Сулавко А.Е., Федотов А.А., Еременко А.В. Распознавание пользователей компьютерных систем по клавиатурному почерку с учетом параметров вибрации и давления на клавиши // Динамика систем, механизмов и машин. 2017. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/raspoznavanie-polzovateley-kompyuternyh-sistem-po-klaviaturnomu-pocherku-s-uchetom-parametrov-vibratsii-i-davleniya-na-klavishi> (дата обращения: 28.12.2022).
14. Sudden Motion Sensor // [Электронный ресурс]. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Sudden_Motion_Sensor> (дата обращения: 28.12.2022).
15. M. van Erp, H. Stehouwer, M. van Zaanen Vibration Sensitive Keystroke Analysis // Benelearn 09: the 18th Annual Belgian-Dutch Conference on Machine Learning: proceedings of the conference. 2009. С. 75-80. — [Электронный ресурс]. URL: <https://benelearn09.uvt.nl/Proceedings_Benelearn_09.pdf> (дата обращения: 28.12.2022).
16. Федоров В.М., Рублев Д.П. Идентификация набираемого на клавиатуре текста по виброакустическим шумам // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2014. [Электронный ресурс]. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/identifikatsiya-nabiraemogo-na-klaviature-teksta-po-vibroakusticheskim-shumam> (дата обращения: 28.12.2022).
17. Федоров В.М., Рублев Д.П., Панченко Е.М. Идентификация пользователя по виброакустическим шумам, возникающим при наборе произвольного текста на клавиатуре // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2013. — [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/identifikatsiya-polzovatelya-po-vibroakusticheskim-shumam-voznikayuschim-pri-nabore-proizvolnogo-teksta-na-klaviature> (дата обращения: 28.12.2022).
18. Бацких А.В., Дровникова И.Г., Рогозин Е.А. К вопросу использования новой информационной технологии, связанной с дополнительной аутентификацией субъектов доступа по клавиатурному почерку, в системах защиты информации от несанкционированного доступа на объектах информатизации органов внутренних дел // Вестник Воронежского института МВД России. 2020. — [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-ispolzovaniya-novoy-informatsionnoy-tehnologii-svyazannoy-s-dopolnitelnoy-autentifikatsiey-subektov-dostupa-po> (дата обращения: 28.12.2022).
19. Артюшина Л.А., Троицкая Е.А. Некоторые подходы к оценке информативности параметров идентификации пользователя по клавиатурному почерку на основе поведенческой биометрии // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2022. — [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/nekotorye-podhody-k-otsenke-informativnosti-parametrov-identifikatsii-polzovatelya-po-klaviaturnomu-pocherku-na-osnove> (дата обращения: 28.12.2022).
20. Васильев В.И., Калямов М.Ф., Калямова Л.Ф. Идентификация пользователей по клавиатурному почерку с применением алгоритма регистрации частых биграмм // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. Научный журнал, Том 6, № 1. 2018. — [Электронный ресурс]. URL: <https://moitvivt.ru/en/journal/pdf?id=458> (дата обращения: 28.12.2022).
21. Ходашинский И.А., Савчук М.В., Горбунов И.В., Мещеряков Р.В. Технология усиленной аутентификации пользователей информационных процессов // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2011. — [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologiya-usilennoy-autentifikatsii-polzovateley-informatsionnyh-protsessov> (дата обращения: 28.12.2022).
22. Biometric Security Jargon: CER, EER, FRR, FAR // [Электронный ресурс]. URL: <https://dzone.com/articles/biometric-security-jargon-cer-eer-frr-far> (дата обращения: 28.12.2022).
23. Савинов А.Н., Иванов В.И. Анализ решения проблем возникновения ошибок первого и второго рода в системах распознавания клавиатурного почерка // Вестник Волжского университета им. В. Н. Татищева. 2011. — [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-resheniya-problem-vozniknoveniya-oshibok-pervogo-i-vtorogo-roda-v-sistemah-raspoznavaniya-klaviaturnogo-pocherka> (дата обращения: 28.12.2022).
24. Вепрев С.Б. Скрытый метод аутентификации пользователей автоматизированной системы // Вестник Московского финансово-юридического университета. 2015. — [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/skrytyy-metod-autentifikatsii-polzovateley-avtomatizirovannoy-sistemy> (дата обращения: 28.12.2022).
25. Соломатин М.С., Митрофанов Д.В. Использование методов биометрической аутентификации в автоматизированных системах управления с использованием клавиатурного почерка // Труды МАИ. 2020. — [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-metodov-biometricheskoy-autentifikatsii-v-avtomatizirovannyh-sistemah-upravleniya-s-ispolzovaniem-klaviaturnogo> (дата обращения: 28.12.2022).
26. Еременко А.В., Сулавко А.Е. Двухфакторная аутентификация пользователей компьютерных системна удаленном сервере по клавиатурному почерку // Прикладная информатика. 2015. — [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/dvuhfaktornaya-autentifikatsiya-polzovateley-kompyuternyh-sistemna-udalennom-servere-po-klaviaturnomu-pocherku> (дата обращения: 28.12.2022).
27. Monte Carlo method // [Электронный ресурс]. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Monte_Carlo_method> (дата обращения: 28.12.2022).
28. Gaussian Process // [Электронный ресурс]. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Gaussian_process> (дата обращения: 28.12.2022).
29. Шарипов Р.Р., Катасёв А.С., Кирпичников А.П. Методы анализа клавиатурного почерка пользователей с использованием эталонных гауссовских сигналов // Вестник Казанского технологического университета. 2016. — [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-analiza-klaviaturnogo-pocherka-polzovateley-s-ispolzovaniem-etalonnyh-gaussovskih-signalov> (дата обращения: 28.12.2022).
30. Брюхомицкий Ю.А. Классификация биометрических параметров пользователя с помощью вероятностных методов // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2005. — [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/klassifikatsiya-biometricheskih-parametrov-polzovatelya-s-pomoschyu-veroyatnostnyh-metodov> (дата обращения: 28.12.2022).
31. Расстояние Хэмминга // [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B0%D1%81%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%8F%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%A5%D1%8D%D0%BC%D0%BC%D0%B8%D0%BD%D0%B3%D0%B0> (дата обращения: 28.12.2022).
32. Метрика Минковского // [Электронный ресурс]. URL: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1034781> (дата обращения: 28.12.2022).
33. Брюхомицкий Ю.А. Параметрические методы распознавания образов динамической биометрии // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2011. — [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/parametricheskie-metody-raspoznavaniya-obrazov-dinamicheskoy-biometrii> (дата обращения: 28.12.2022).
34. Галуев Г.А. Нейросетевые методы и технологии в задачах комплексного обеспечения информационной безопастности // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2003. — [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/neyrosetevye-metody-i-tehnologii-v-zadachah-kompleksnogo-obespecheniya-informatsionnoy-bezopastnosti> (дата обращения: 28.12.2022).
35. Сулавко А.Е. Абстрактная модель искусственной иммунной сети на основе комитета классификаторов и её использование для распознавания образов клавиатурного почерка // Компьютерная оптика. 2020. — [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/abstraktnaya-model-iskusstvennoy-immunnoy-seti-na-osnove-komiteta-klassifikatorov-i-eyo-ispolzovanie-dlya-raspoznavaniya-obrazov> (дата обращения: 28.12.2022).
36. Голеусов Я.А. Оценка эффективности методов анализа динамики нажатия клавиш при вводе пользователем парольной фразы // Решетневские чтения. 2013. — [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-effektivnosti-metodov-analiza-dinamiki-nazhatiya-klavish-pri-vvode-polzovatelem-parolnoy-frazy> (дата обращения: 28.12.2022).
37. Григорьев В.Р., Никитин А.П. Использование статических методов для биометрической идентификации пользователя // История и архивы. 2012. — [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-staticheskih-metodov-dlya-biometricheskoy-identifikatsii-polzovatelya-1> (дата обращения: 28.12.2022).
38. Скринникова А.В. Изменение индивидуальной динамики манипуляций устройствами управления курсором под влиянием эмоций страха и радости // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2013. — [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/izmenenie-individualnoy-dinamiki-manipulyatsiy-ustroystvami-upravleniya-kursorom-pod-vliyaniem-emotsiy-straha-i-radosti> (дата обращения: 28.12.2022).
39. Горчакова А.В. Изучение влияния внешних факторов на клавиатурный портрет пользователя // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2011. — [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/izuchenie-vliyaniya-vneshnih-faktorov-na-klaviaturnyy-portret-polzovatelya> (дата обращения: 28.12.2022).
40. Иванов Д.А., Никитин А.П. Противодействие анализу клавиатурного почерка // История и архивы. 2014. — [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/protivodeystvie-analizu-klaviaturnogo-pocherka-1> (дата обращения: 28.12.2022).
41. Васильев В.И., Бурая Е.В. Биометрическая криптосистема идентификации личности на основе нечеткого экстрактора // Перспективы развития информационных технологий. 2013. — [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/biometricheskaya-kriptosistema-identifikatsii-lichnosti-na-osnove-nechetkogo-ekstraktora> (дата обращения: 28.12.2022).
42. Ложников П.С., Сулавко А.Е., Бурая Е.В., Еременко А.В. Способы генерации ключевых последовательностей на основе клавиатурного почерка // Динамика систем, механизмов и машин. 2016. — [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sposoby-generatsii-klyuchevyh-posledovatelnostey-na-osnove-klaviaturnogo-pocherka> (дата обращения: 28.12.2022).
43. Калужин А.С., Рудер Д.Д. Подтверждение личности пользователя по его клавиатурному почерку // Известия Алтайского государственного университета. 2015. — [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/podtverzhdenie-lichnosti-polzovatelya-po-ego-klaviaturnomu-pocherku> (дата обращения: 28.12.2022).
44. Бацких А.В. Практические результаты реализации подсистем управления доступом к информации, модифицированных на основе исследования клавиатурного почерка пользователей, в автоматизированных системах органов внутренних дел // Вестник Воронежского института МВД России. 2021. — [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prakticheskie-rezultaty-realizatsii-podsistem-upravleniya-dostupom-k-informatsii-modifitsirovannyh-na-osnove-issledovaniya> (дата обращения: 28.12.2022).
45. Единая биометрическая система // [Электронный ресурс]. URL: <https://bio.rt.ru/> (дата обращения: 28.12.2022).
46. Кузлякина В.В. Зайцев Д.В. Пафнутьева Е.Ю. Крысенко А.В. Дикова И.Г. Автоматизированная система организации обучения Кобра (программный продукт) – оболочка для организации учебного процесса по любой дисциплине. // Научный журнал Современные наукоемкие технологии. 2009. — [Электронный ресурс]. URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=26363> (дата обращения: 28.12.2022).
47. Исследование системы биометрической аутентификации пользователя ПК по клавиатурному почерку // [Электронный ресурс]. URL: <https://works.doklad.ru/view/zC2at53DJAw/all.html> (дата обращения: 28.12.2022).
48. Сулавко А.Е., Еременко А.В., Левитская Е.А. Разграничение доступа к информации на основе скрытого мониторинга пользователей компьютерных систем: портрет нелояльного сотрудника // Известия Транссиба. 2015. — [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razgranichenie-dostupa-k-informatsii-na-osnove-skrytogo-monitoringa-polzovateley-kompyuternyh-sistem-portret-neloyalnogo-sotrudnika> (дата обращения: 28.12.2022).
49. Дюк В.А., Сенкевич Ю.И. О возможности создания клавиатурного полиграфа // Биотехносфера. 2016. — [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-vozmozhnosti-sozdaniya-klaviaturnogo-poligrafa> (дата обращения: 28.12.2022).
50. Есипов Д.А., Асланова Н., Шабала Е.Е., Щетинин Д.С., Попов И.Ю. Метод обнаружения инцидентов информационной безопасности по аномалиям в биометрических поведенческих чертах пользователя // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2022. — [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metod-obnaruzheniya-intsidentov-informatsionnoy-bezopasnosti-po-anomaliyam-v-biometricheskih-povedencheskih-chertah-polzovatelya> (дата обращения: 28.12.2022).
51. Комаров И.М., Третьяков М.Ю. Идентификационные признаки исполнителя текстового электронного документа // NOMOTHETIKA: Философия. Социология. Право. 2013. — [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/identifikatsionnye-priznaki-ispolnitelya-tekstovogo-elektronnogo-dokumenta> (дата обращения: 28.12.2022).
52. Ямченко Ю.В. Методы решения задач аутентификации и идентификации пользователя на основе анализа клавиатурного почерка // Вестник Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана. Серия «Приборостроение». 2020. — [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-resheniya-zadach-autentifikatsii-i-identifikatsii-polzovatelya-na-osnove-analiza-klaviaturnogo-pocherka> (дата обращения: 28.12.2022).
53. Метод анализа иерархий // [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4_%D0%B0%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7%D0%B0_%D0%B8%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%80%D1%85%D0%B8%D0%B9> (дата обращения: 28.12.2022).
54. Онлайн калькулятор матриц // [Электронный ресурс]. URL: <https://coinsite.ru/kalkulyator-matritsonlajn/#eigenvectors%28%7B%7B1,3,1,1%2F2,5%7D,%7B3333%2F10000,1,1%2F4,1429%2F10000,2%7D,%7B1,4,1,1,6%7D,%7B2,7,1,1,8%7D,%7B1%2F5,1%2F2,833%2F5000,1%2F8,1%7D%7D%29> (дата обращения: 28.12.2022).
55. Решение уравнений онлайн // [Электронный ресурс]. URL:[https://www.kontrolnaya-rabota.ru/s/equal-one/any-uravnenie/?ef-TOTAL\_FORMS=20&ef-INITIAL\_FORMS=0&ef-MIN\_NUM\_FORMS=0&ef-MAX\_NUM\_FORMS=1000&X=x&solve=-x%5E5+%2B+5.00000\*x%5E4+%E2%88%92+0.00020\*x%5E3+%2B+1.53280\*x%5E2+%2B+0.03529\*x+%2B+0.04992++%3D+0&ef-0-s=&ef-1-s=&ef-2-s=&ef-3-s=&ef-4-s=&ef-5-s=&ef-6-s=&ef-7-s=&ef-8-s=&ef-9-s=&ef-10-s=&ef-11-s=&ef-12-s=&ef-13-s=&ef-14-s=&ef-15-s=&ef-16-s=&ef-17-s=&ef-18-s=&ef-19-s=&a0=-20&b0=20](https://www.kontrolnaya-rabota.ru/s/equal-one/any-uravnenie/?ef-TOTAL_FORMS=20&ef-INITIAL_FORMS=0&ef-MIN_NUM_FORMS=0&ef-MAX_NUM_FORMS=1000&X=x&solve=-x%5E5+%2B+5.00000*x%5E4+%E2%88%92+0.00020*x%5E3+%2B+1.53280*x%5E2+%2B+0.03529*x+%2B+0.04992++%3D+0&ef-0-s=&ef-1-s=&ef-2-s=&ef-3-s=&ef-4-s=&ef-5-s=&ef-6-s=&ef-7-s=&ef-8-s=&ef-9-s=&ef-10-s=&ef-11-s=&ef-12-s=&ef-13-s=&ef-14-s=&ef-15-s=&ef-16-s=&ef-17-s=&ef-18-s=&ef-19-s=&a0=-20&b0=20) (дата обращения: 28.12.2022).