



УДК 004.065

М. Б. Леонова, Е. А. Пустозеров

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Методы оценки психофизиологического состояния оператора ПК на основе параметров работы с манипуляторами «клавиатура» и «мышь»

Представлен обзор методов оценки эмоций, стресса и утомляемости человека-оператора на основе мониторинга показателей работы с манипуляторами «клавиатура» и «мышь». Представлен сравнительный анализ различных подходов и выделены наиболее перспективные направления анализа психофизиологического состояния человека-оператора.

Человек-оператор, утомляемость, стресс, клавиатурный почерк, мониторинг

Актуальность работы. Оценка психофизиологического состояния оператора – актуальная тема исследований в свете повышающегося уровня внедрения интеллектуальных терминалов во многие сферы человеческой деятельности.

За последнее десятилетие наблюдается значительный рост количества обрабатываемой информации и, как следствие, увеличение числа рабочих часов персонала за ПК, что придает вопросу оценки утомляемости оператора ярко выраженный экономический и социальный характер.

Более того, следует отметить проблему безопасности, связанную с допущением ошибок операторами на опасных производственных и стратегических объектах.

Постановка цели и задач исследования. Ввиду очевидной необходимости контроля психофизиологического состояния человека-оператора коллективом авторов планируется разработка оригинального метода оценки утомляемости. Данная статья посвящена анализу уже существующих подходов к контролю психофизиологического состояния оператора и является одним из первоначальных этапов исследования.

С целью проведения литературного обзора были поставлены следующие задачи:

– проведение поиска материалов на заданную тему в российских и зарубежных источниках на русском и английском языках;

– выделение основных видов определяемых состояний человека-оператора посредством анализа данных, полученных с помощью использования манипуляторов «клавиатура» и «мышь»;

– анализ ранее разработанных методов классификации состояний человека-оператора (обзор информативных признаков событий манипуляторов «клавиатура» и «мышь», методик проведения экспериментов, результатов экспериментов (если таковые имеются) и т. д.);

– выделение наиболее перспективных направлений исследований.

Материал исследования. В основу работы вошли результаты обзора 57 источников. Поиск осуществлялся по различным запросам:

– «клавиатурный почерк», «движения компьютерной мыши», «движения компьютерной мыши психофизиология» в электронных библиотеках dislib, disercat, eLibrary;

– «keystroke dynamics emotions», «keystroke dynamics fatigability», «keystroke dynamics psychophysiology», «keyboard handwriting», «touch screen emotions», «touch screen stress», «touch screen fatigability», «touch devices psychophysiology», «smartphone keystroke dynamics», «tablet PC psychophysiology», «клавиатурный почерк», «движения компьютерной мыши», «движения компьютерной мыши психофизиология» в системе Google Scholar.

Анализ собранных материалов по заданной теме позволил выделить две категории по целевому назначению методов. К первой группе можно отнести методы, направленные непосредственно на оценку психофизиологических и психоэмоциональных состояний оператора ПК. Ко второй – методы аутентификации и идентификации – они служат для достижения иных целей, но при их реализации рассматриваются те же параметры и проводятся близкие по методикам эксперименты, что делает их ценным аналитическим материалом.

Так, например, в статье С. М. Диденко [1] описан алгоритм распознавания компьютерного образа динамики системы «пользователь–мышь». В качестве параметров траекторий указателя на экране монитора рассматриваются:

- время движения манипулятора до остановки;
- длина (погонная) траектории;
- средняя скорость движения указателя;
- начальная скорость движения манипулятора, скорость прохождения первых 10 % длины траектории;
- длина начального участка траектории;
- время удержания кнопки на манипуляторе;
- максимальная скорость движения указателя по траектории;
- время между остановкой указателя и подтверждающим нажатием кнопки манипулятора;
- угол между направлением начального движения (до 3-й вершины траектории) и линией, связывающей начальную и конечную точки траектории;
- среднее квадратичное отклонение траектории от линейного пути следования указателя (прямой, соединяющей первую и последнюю вершины траектории).

Большинство этих параметров определяют скоростные характеристики (динамику) работы пользователя с компьютерной мышью и в достаточной степени коррелируют с параметрами, предложенными в статье А. И. Суздальцева, В. А. Лобанова, В. Г. Абашиной [2].

Также надо отметить, что основой алгоритма распознавания компьютерного образа динамики системы «пользователь–мышь» служит нейронная сеть – достаточно распространенный инструмент классификации, предложенный также в [3].

В целом, при анализе 20 источников, поднимающих вопрос аутентификации, идентификации и распознавания, были рассмотрены следующие методы классификации для манипуляторов «клавиатура», «мышь» и «сенсорный экран» применительно к теме текущего исследования:

- статистические;
- вероятностно-статистические;
- на основе нечетких моделей и нечеткой логики;
- нейронные сети;
- машинное обучение;
- совместное использование аппарата теории вероятностей и теории нечетких множеств и т. д.

Также были рассмотрены экспериментальные методики:

- для клавиатуры – с набором заданных и свободных/произвольных текстов разной сложности в течении различных промежутков времени;
- для мыши – с отслеживанием как произвольных движений курсором во время работы с ПВЭМ, так и связанные с выполнением специальных заданий, требующих от оператора концентрации и обдуманных действий.

В статье представлена сравнительная характеристика ряда наиболее существенных разработок данной области.

Оценка уровня достижений по данным выявленных отечественных источников. К методам оценки психофизиологических состояний оператора относится работа метод, описанный в [2], в котором точками измерения состояния оператора автоматизированного рабочего места (АРМ) служат интервалы нажатий на клавиши и время удержания клавиши между нажатиями. Для измерений выбираются последовательности, наиболее часто встречающиеся на протяжении рабочей смены оператора. Максимальная работоспособность приравнивается к наилучшему состоянию оператора, это состояние является эталоном и оценивается как 100 % работоспособности. Минимальная работоспособность оценивается в 0 %. На основании полученной информации определяется психофизическое состояние оператора АРМ и в дальнейшем – формируется управляющее воздействие.

А. В. Скринникова предлагает метод оценки изменения индивидуальной динамики управления манипуляторами оператора под влиянием эмоций страха и радости [3]. Тестирование проводилось последовательным набором предложенной фразы и ответа на простые вопросы в форме сбора данных нажатием мышью предусмотренных для этого кнопок.

В качестве информативных признаков печатания на клавиатуре взяты:

- время удержания клавиш;
- время пауз между нажатиями клавиш по фиксированной фразе из 21 символа.

Признаками динамики управления мышью являются:

- поправка на расстояние при достижении указателем мыши цели;
- кривизна кривой (по модулю), которую описывает указатель при перемещении мыши;
- скорость движения указателя мыши;
- ускорение указателя мыши;
- общее время управления мышью.

Эксперимент проводится в три этапа: в нейтральном состоянии, в состояниях радости и страха. Для доказательства достоверности различий между выборочной совокупностью признаков в разных эмоциональных состояниях использовались методы непараметрической статистики.

Оценка уровня достижений по данным выявленных зарубежных источников. Существует ряд методик, позволяющих оценить уровень стресса по показателям работы с клавиатурой. К ним относится работа [4], где рассматривается метод оценки состояний оператора при физическом и умственном стрессах. Классификация нормального состояния и состояний умственного и физического стрессов производилась посредством набора фиксированного и свободного (произвольного) текста длиной примерно 1200 знаков с помощью машинного обучения, включающего в себя дерево решений (Decision Tree, DT), метод опорных векторов (Support Vector Machine, SVM), метод ближайших соседей (k-Nearest Neighbor, kNN), алгоритм усиления классификаторов AdaBoost и искусственную нейронную сеть (Artificial Neural Network (ANN)). Отличительной чертой служит то, что в качестве параметров в данном случае использовались как временные и количественные характеристики клавиатуры (средняя длина пауз между словами, время между нажатиями клавиш, среднее число ошибок, количество нажатий клавиш Backspace, Delete и Caps Lock и т. д.), так и параметры лексических и синтаксических единиц (средняя длина слов, количество существительных и глаголов, лексическое разнообразие (Lexical diversity), частота нажатия стрелок и других клавиш, а также еще более 10 параметров).

На основании проведенного эксперимента был сделан вывод, что умственный стресс лучше

всего определяется методами AdaBoost и искусственной нейронной сетью; физический стресс – AdaBoost, искусственной нейронной сетью и методом опорных векторов.

Другая группа методов направлена на определение эмоций оператора ПК.

В работе [5] предлагается метод оценки уровня стресса на основе нечеткой модели и нечеткой логики для клавиатуры, мыши и сенсорного экрана. В качестве метода машинного обучения был выбран метод опорных векторов. Семь базовых эмоций: радость, ожидание/предвкушение, гнев, отвращение, грусть, удивление, страх и принятие (joy, anticipation, anger, disgust, sadness, surprise, fear, and acceptance), ранжируются по пяти уровням (от 0 до 4), где ноль указывает на полное отсутствие той или иной эмоции, четверка – ее высший уровень.

Работа [6] построена на оценке эмоций уверенности, нерешительности, нервозности, ослабленности, грусти и усталости (confidence, hesitance, nervousness, relaxation, sadness, tired), фиксируемой следующими временными характеристиками клавиатуры: временем между нажатиями первой и второй клавиш диграфа (совокупность двух соседних символов, произносимая как один звук), продолжительностью нажатия первой клавиши диграфа, временем между отпусканием первой клавиши диграфа и нажатием второй, продолжительностью нажатия второй клавиши диграфа, временем между нажатиями первых клавиш двух соседних диграфов, числом событий клавиатуры в одном слове) и аналогичными показателями для триграфа. Классификация состояний осуществлялась с помощью машинного обучения.

В работе [7] с целью повышения точности классификации эмоций удовольствия, страха, гнева, грусти, отвращения, стыда и вины применяется комбинация двух методов: оценка динамики нажатий клавиш и анализ образцов текста. Динамическими параметрами клавиатуры были выбраны скорость печати и ряд показателей, рассчитываемых каждые 5 с: минимальное количество нажатий клавиш, минимальное время между нажатиями клавиш, минимальная длительность зажатия клавиши, мода показателя длительности зажатия клавиш, мода длительности периода между нажатиями двух клавиш. Классификация образцов текста осуществлялась с помощью ме-

тода опорных векторов и векторной модели терминов (алгебраическая модель для представления текстовых документов в виде векторов).

Также при проведении литературного обзора был найден метод классификации эмоций на основании данных о температуре, общей соматической активности, кожно-гальванической реакции и пульсе оператора, полученных с использованием сенсоров на самой мыши [8]. Сенсоры регистрируют психологические признаки, которые

впоследствии соотносятся с определенными эмоциями посредством корреляционной модели (correlation model). Корреляционная модель основана на калибровочном процессе, который связывает эмоциональные признаки с самими эмоциями на основе статистического анализа сигналов эмоций пользователя, измеренных или полученных каким-либо другим путем во время калибровки. Вектор в десяти измерениях служит образцом эмоций пользователя, на который проеци-

Определяемое состояние	Манипулятор	Параметры	Метод классификации	Эксперимент	
				N*	Задание для испытуемых
Психофизиологическое состояние	Клавиатура	Интервалы нажатий на клавиши и время удержания между нажатиями [2]	Искусственная нейронная сеть	–	–
Эмоции страха и радости	Клавиатура и мышь	Клавиатура: время удержания клавиш и время пауз между нажатиями; мышь: скорость движения, ускорение указателя мыши и еще 2 показателя [3]	Непараметрическая статистика	4	Последовательный набор предложенной фразы и ответа на вопросы нажатием мышью
Уровень умственного и физического стресса	Клавиатура	Средняя длина слова, лексическое разнообразие, количество нажатий клавиш Backspace, Delete и еще более 30 параметров [4]	Машинное обучение	24	Набор фиксированного и произвольного текстов длиной ~1200 знаков
Эмоции: радость, ожидание/предвкушение, гнев, отвращение, грусть, удивление, страх и принятие	Клавиатура, мышь, сенсорный экран	–	Нечеткая модель классификации	130	–
Эмоции: уверенность, нерешительность, нервозность, расслабленность, грусть и усталость	Клавиатура	Фиксируется продолжительность: между первым и вторым нажатием клавиши в диграфе, нажатия первой клавиши в диграфе и еще 13 параметров [6]	Машинное обучение	26	Ежедневная работа испытуемых за компьютером
Эмоции: удовольствие, страх, гнев, грусть, отвращение, стыд и вина	Клавиатура	Анализ образцов текста и 6 показателей [7]	Метод опорных векторов и векторная модель терминов	25	Набор фиксированного и свободного текстов
Эмоции (конкретно не указаны)	Сенсоры на поверхности мыши	ЧСС, температура, общесоматической деятельность и кожно-гальваническая реакция (КГР) [8]	Корреляционная модель	–	–

* Число испытуемых в эксперименте.

руются измеряемые показатели в дальнейшем для определения текущего состояния человека.

Данный метод коренным образом отличается от всех вышерассмотренных и представляет интерес как альтернативный подход к оценке состояния оператора ПК.

Точность классификации методов оценки психофизиологического состояния оператора ПК. Среди рассмотренных методов оценки психофизиологического состояния оператора ПК можно выделить несколько методов, показавших сравнительно высокую эффективность классификации.

В методе [4] умственный стресс оценивается методами AdaBoost с точность 61 % и искусственной нейронной сетью с точность 75 %; физический стресс – AdaBoost, искусственной нейронной сетью и методом опорных векторов с точность 63 %. Данный уровень точности является признаком/показателем относительно успешной реализации/успешного применения вышеприведенных методов.

В методе [6] точность классификации выбранных для эксперимента эмоций варьируется от 76.3 до 93.8 %, что позволяет говорить о достаточно высокой эффективности метода в частности и применении машинного обучения в целом.

Высокую оценку можно дать методу [7], где эмоции классифицируются с точность от 77 до 88 %. Здесь применялся метод опорных векторов и векторная модель терминов.

Следует отметить, что для многих методов в литературе отсутствуют экспериментальные данные либо эксперимент проводился на слишком малом числе испытуемых, как, например, в [3], что затрудняет оценку их эффективности.

Краткая характеристика рассмотренных в статье подходов представлена в таблице.

В ходе обзора был рассмотрен широкий спектр методов оценки психофизиологических состояний оператора ПК в российских и зарубежных источниках.

Из результатов обзора выявлено, что вопрос оценки утомляемости оператора рассматривается в литературе крайне редко. Большинство источ-

ников посвящены оценке эмоциональных состояний, что свидетельствует о высокой актуальности данного направления, но также и о недостаточной освещенности вопроса контроля утомляемости человека-оператора.

Также не были обнаружены методы, направленные непосредственно на оценку психофизиологического состояния оператора во время продолжительной работы за ПК, длительность которой превышала бы один час непрерывной работы.

Экспериментальные методики оценки различных методов могут быть классифицированы по следующим критериям:

- продолжительность выполнения задания;
- виды заданий, выполняемых операторами в ходе экспериментов;
- фиксируемые события манипуляторов «клавиатура», «мышь», «сенсорный экран»;
- применяемые методы классификации психофизиологических состояний.

В ходе обзора были выявлены также ряд альтернативных методов оценки состояния человека-оператора на основании данных о температуре, кожно-гальванической реакции, общей соматической активности и пульсе оператора, полученных с использованием сенсоров на поверхности манипулятора «мышь».

Таким образом, проведенный анализ существующих методов контроля психофизиологического состояния человека-оператора послужил импульсом к созданию коллективом авторов собственного оригинального метода оценки утомляемости оператора ПК при работе в течение продолжительного времени (1 ч и более) посредством статистического и корреляционного методов анализа показателей работы с манипуляторами «клавиатура» и «мышь» [9].

В ходе дальнейшей работы по разработке метода оценки утомляемости человека-оператора при работе на ЭВМ был взят курс на разработку методов на основе оценки показателей печати и движения мышью в течение длительных периодов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Диденко С. М. Разработка и исследование компьютерной модели динамики системы «пользователь-мышь»: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Тюмень, 2007. С. 1–18.
2. Абашин В. Г., Суздальцев А. И., Лобанова В. А. Определение психофизиологического состояния оперативного персонала по клавиатурному почерку на нефтеперерабатывающих мини-заводах // Электрон. журн. «Нефтегазовое дело», 2006. URL: http://ogbus.ru/authors/Suzdaltsev/Suzdaltsev_1.pdf.
3. Скринникова А. В. Изменение индивидуальной динамики манипуляций устройствами управления курсором под влиянием эмоций страха и радости // Изв. ЮФУ. Техн. науки. 2013. Вып. 5 (142). С. 246–251.
4. Vizer L. M., Zhou L., Sears A. Automated stress detection using keystroke and linguistic features: An

exploratory study // Int. J. Human-Computer Studies. Oct. 2009. Vol. 67, Iss. 10. P. 870–886.

5. Bakhtiyari K., Husain H. Fuzzy model on human emotions recognition // Recent advances in electrical and computer engineering. 12th WSEAS Intern. conf. on Applications of Computer Engin. (ACE '13), Cambridge, MA, USA, 30 Jan. – 1 Feb. 2013. Cambridge, 2013. P. 77–82.

6. Epp C., Lippold M., Mandryk R. L. Identifying emotional states using key-stroke dynamics // CHI 2011, Vancouver, BC, Canada, May 7–12, 2011. Vancouver, 2011. P. 715–724.

7. Identifying emotion by keystroke dynamics and text pattern analysis / A. F. M. N. H. Nahin, J. M. Alam,

H. Mahmud and K. Hasan // Behav. & Inform. Technol. 2014. Vol. 33, № 9. P. 987–996.

8. Пат. США № US 6,190,314 B1. W. S. Ark, D. C. Dryer. Computer input device with biosensors for sensing user emotions // Appl. № 09/ 116,063. Feb. 20, 2001.

9. Пустозеров Е. А. Разработка метода обработки и анализа результатов эксперимента для выявления устойчивых признаков психофизиологического состояния оператора ПК по параметрам, характеризующим его работу с клавиатурой // Технологии товародческой, таможенной и криминалистической экспертизы: сб. науч. тр. № 5 в 2 ч. СПб.: Изд-во СПбГЭУ. 2014. С. 174–183.

M. B. Leonova, E. A. Pustozarov

Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»

PSYCHOPHYSIOLOGICAL STATE ESTIMATION METHODS BASED ON THE ANALYSIS OF MOUSE AND KEYBOARD PARAMETERS OF HUMAN OPERATOR

Offers an overview on emotions, stress, and fatigability estimation methods based on mouse and keyboard monitoring of human operator. Current studies present a comparative analysis of different approaches and emphasis perspective trends of human operator psychophysiological state analysis.

Human controller, fatigability, stress, keyboarding, monitoring

УДК: 615.47:621.37.39+519.711.3

Э. П. Тихонов

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Концептуальная модель предметной области автоматической фрагментации электрокардиосигналов на базе логической схемы алгоритмов

Разработана и представлена концептуальная модель предметной области синтеза алгоритмов автоматической фрагментации основных электрофизиологических показателей при анализе электрокардиограмм на основе информации, полученной в этой сфере в течение прошлых десятилетий. Разработанный подход ориентирован на повышение эффективности использования накопленного информационного ресурса (знания) в области автоматической диагностики для дальнейшего совершенствования и развития методов и средств автоматизации медицинской диагностики.

Электрокардиосигнал, предметная область, алгоритм, автоматическая фрагментация, логическая схема алгоритмов, оператор

Перманентно совершенствующиеся электронные средства, особенно аналого-цифровые микропроцессорные системы, создают предпосылки для разработки разнообразных методов, порождающих

соответствующие алгоритмы и, соответственно, способы определения (обнаружения, оценки, выделения, измерения) амплитудных и временных параметров фрагментов электрокардиосигналов