



№5-2020

ISSN 1999-9429

# ИЗВЕСТИЯ ЮФУ

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Алгоритмы обработки информации
- Моделирование процессов, устройств и систем
- Информационный анализ

# ИЗВЕСТИЯ ЮФУ. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ IZVESTIYA SFedU. ENGINEERING SCIENCES

Свидетельство о регистрации средства массовой информации

ПИ № ФС77-28889 от 12.07.2007

Научно-технический и прикладной журнал

Издается с 1995 года, до середины 2007 года под названием «Известия ТРТУ»

Подписной индекс 41970

№ 5 (215). 2020 г.

---

Журнал включен в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук».

## **Редакционный совет**

Каляев И.А. (председатель); Курейчик В.В. (зам. председателя); Курейчик В.М. (зам. председателя); Бородинский И.М. (ученый секретарь); Абрамов С.М.; Агеев О.А.; Бабенко Л.К.; Веселов Г.Е.; Гонкальвес Ж.; Колесников А.А.; Коноплев Б.Г.; Левин И.И.; Макаревич О.Б.; Маркович И.И.; Микрин Е.А.; Никитов С.А.; Обуховец В.А.; Осипов Г.С.; Панатов Г.С.; Панич А.Е.; Петров В.В.; Петровский А.Б.; Пшихопов В.Х.; Редько В.Г.; Румянцев К.Е.; Саламах М.; Солдатов А.В.; Стемпковский А.Л.; Сухинов А.И.; Сысоев В.В.; Тарасов С.П.; Фрадков А.Л.; Хашемипур М.; Чаплыгин Ю.А.; Чердниченко Д.И.; Четверушкин Б.Н.; Чичков Б.Н.

**Учредитель** Южный федеральный университет.

**Издатель** Южный федеральный университет.

**Ответственный за выпуск** Самойлов А.Н.

**Технический редактор** Ярошевич Н.В.

**Оригинал-макет выполнен** Ярошевич Н.В.

Подписано к печати . Формат 70×108  $\frac{1}{16}$ . Бумага офсетная.

Офсетная печать. Усл. печ. л. – 16,9. Уч.-изд. л. – 14,5.

Заказ № . Тираж 250 экз.

**Адрес издателя:** 344091, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 200/1. Тел. 8(863)2478051.

**Адрес типографии:** Отпечатано в отделе полиграфической, корпоративной и сувенирной продукции Издательско-полиграфического комплекса КИБИ МЕДИА ЦЕНТРА ЮФУ. 344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 200/1, тел. 8 (863) 247-80-51.

**Адрес редколлегии:** 347922, г. Таганрог, ул. Чехова, 22, ЮФУ, тел. +7 (928) 909-57-82, e-mail: iborodyanskiy@sfedu.ru, <http://izv-tn.tti.sfedu.ru/>.

16+

Цена свободная

ISSN 1999-9429 (Print)

ISSN 2311-3103 (Online)

© Южный федеральный университет, 2020

## СОДЕРЖАНИЕ

### РАЗДЕЛ I. АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

<b>Л.К. Бабенко, А.С. Шумилин, Д.М. Алексеев</b> АЛГОРИТМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ КОНФИДЕНЦИАЛЬНЫХ ДАННЫХ МЕДИЦИНСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ХРАНЕНИЯ И ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБСЛЕДОВАНИЙ .....	6
<b>С.В. Поликарпов, В.А. Прудников, К.Е. Румянцев</b> ВЫЧИСЛИТЕЛЬНО ЭФФЕКТИВНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСРЕДНЁННЫХ ЛИНЕЙНЫХ СВОЙСТВ ПСЕВДО-ДИНАМИЧЕСКИХ ПОДСТАНОВОК .....	16
<b>М. Рагеб Ага</b> ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ БАЗЫ ЗАПИСЕЙ ЭКГ СИГНАЛОВ И ИХ ФРАГМЕНТОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК НОСИМЫХ ЦИФРОВЫХ ON-LINE МОНИТОРОВ.....	31
<b>В.И. Потапов</b> ПРИМЕНЕНИЕ ЗАПРЕЩЕННЫХ ФИГУР В ЗАДАЧЕ РАСКРАСКИ ГРАФА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ .....	40
<b>Ю.А. Брюхомицкий</b> ВЕРИФИКАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ БИОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЛИЧНОСТИ НА ОСНОВЕ ВЕРОЯТНОСТНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ .....	52
<b>В.В. Семенистый, И.Э. Гамоллина</b> ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ОРГАНИЗАЦИИ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ ВНЕШНИХ ЗАДАЧ АЭРОДИНАМИКИ НА ОСНОВЕ СХЕМ РАСЩЕПЛЕНИЯ.....	60

### РАЗДЕЛ II. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ, УСТРОЙСТВ И СИСТЕМ

<b>А.Н. Зиккий, П.Н. Зламан</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВУХ МИКРОПОЛОСКОВЫХ ФИЛЬТРОВ САНТИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА .....	68
<b>Н.С. Кривша, В.В. Кривша, С.А. Бутенков</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ КУБАТУРНЫХ ФОРМУЛ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СТРУКТУР НА ПЛИС.....	75
<b>А.А. Курносов</b> ЭФФЕКТЫ НЕЛИНЕЙНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МОРСКИХ ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ.....	86
<b>Д.М. Елькин, В.В. Вяткин</b> ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ ТРАНСПОРТНЫМИ ПОТОКАМИ НА ОСНОВЕ СТАНДАРТА МЭК 61499 .....	100
<b>П.А. Землянухин, А.В. Кондратьев, С.С. Свидельский</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ФОРМИРОВАТЕЛЯ ШУМОВОГО СИГНАЛА, КАК ИСТОЧНИКА ШУМА В МНОГОКАНАЛЬНОМ ГЕНЕРАТОРЕ ШУМА .....	111
<b>М.Ю. Поленов, А.О. Курмалеев</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНЖИНИРИНГА ЗНАНИЙ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ТРАНСЛЯЦИИ МОДЕЛЕЙ.....	123
<b>С.С. Свидельский, В.С. Литвинова, Г.В. Куповых, А.Г. Клово</b> ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ АТМОСФЕРНОГО ЭЛЕКТРОДНОГО СЛОЯ.....	130
<b>Hussein Ahmed Mahmood, К.Е. Румянцев, Al-Karawi Hussein Shookor</b> ЭВОЛЮЦИЯ РАДИОСВЯЗИ ПО ОПТИЧЕСКОМУ КАНАЛУ СВЯЗИ В СВОБОДНОМ ПРОСТРАНСТВЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЯ ПОДНЕСУЩИХ С АМПЛИТУДНОЙ МАНИПУЛЯЦИЕЙ .....	141

### РАЗДЕЛ III. ИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ

<b>В.В. Лапшичёв, О.Б. Макаревич</b> НАБОР ПРИЗНАКОВ УСТАНОВЛЕНИЯ HTTPS-СОЕДИНЕНИЯ TLS V1.3 ПРОГРАММНЫМ КОМПЛЕКСОМ «ТОР» .....	150
<b>С.Л. Беляков, М.Л. Белякова, С.А. Зубков, Н.А. Голова, К.С. Яворчук</b> ТРАНСФОРМИРОВАНИЕ ОПЫТА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СИТУАЦИЯХ .....	159
<b>А.Н. Каркищенко, В.Б. Мнухин</b> О ВЛИЯНИИ ЗАШУМЛЕНИЯ НА РАСПОЗНАВАНИЕ СИММЕТРИИ 3-ГО ПОРЯДКА В ГЕКСАГОНАЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ.....	171
<b>Н.Е. Сергеев, А.В. Скринникова</b> ФОРМАЛИЗАЦИЯ НАБОРА ИНФОРМАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ ДИНАМИКИ МАНИПУЛЯЦИЙ УСТРОЙСТВАМИ УПРАВЛЕНИЯ КУРСОРОМ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ДИАГНОСТИКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАТОРОВ БТС .....	185

## CONTENT

### SECTION I. INFORMATION PROCESSING ALGORITHMS

<b>L.K. Babenko, A.S. Shumilin, D.M. Alekseev</b> ALGORITHM OF ENSURING THE SECURITY OF CONFIDENTIAL DATA OF THE MEDICAL INFORMATION SYSTEM FOR STORAGE AND PROCESSING OF EXAMINATION RESULTS .....	6
<b>S.V. Polikarpov, V.A. Prudnikov, K.E. Rumyantsev</b> COMPUTATIONALLY EFFICIENT METHOD FOR DETERMINING THE AVERAGE LINEAR PROPERTIES OF PSEUDO-DYNAMIC SUBSTITUTIONS.....	17
<b>M. Ragheb Agha</b> PRINCIPLES OF FORMING A DATABASE OF ECG SIGNALS AND THEIR FRAGMENTS FOR EVALUATING THE CHARACTERISTICS OF WEARABLE DIGITAL ON-LINE MONITORS .....	31
<b>V.I. Potapov</b> APPLICATION OF FORBIDDEN SHAPES IN THE GRAPH COLORING PROBLEM WHEN DESIGNING PRINTED CIRCUIT BOARDS .....	41
<b>Yu.A. Bryuhomitsky</b> VERIFICATION OF DYNAMIC BIOMETRIC PARAMETERS OF A PERSONALITY BASED ON A PROBABLE NEURAL NETWORK.....	52
<b>V.V. Semenisty, I.E. Gamolina</b> STUDY OF PARALLEL SOLUTION ORGANIZATION FOR EXTERNAL AERODYNAMICS PROBLEMS BASED ON SPLITTING SCHEMES .....	61

### SECTION II. PROCESS MODELING, DEVICES AND SYSTEMS

<b>A.N. Zikiy, P.N. Zlaman</b> MODELING OF TWO MICROSTRIP FILTERS OF THE CENTIMETER RANGE....	68
<b>N.S. Krivsha, V.V. Krivsha, S.A. Butenkov</b> THE STRUCTURE OF CUBATURE FORMULAS MODELLING FOR THE EFFICIENT FPGA IMPLEMENTATION .....	75
<b>A.A. Kurnosov</b> EFFECTS OF NONLINEAR INFORMATION INTERACTION OF MARINE TECHNOGENIC OBJECTS.....	86
<b>D.M. Elkin, V.V. Vyatkin</b> APPROACH TO TRAFFIC MANAGEMENT BASED ON THE IEC 61499 STANDARD .....	101
<b>P.A. Zemlyanukhin, A.V. Kondratiev, C.C. Svidelskiy</b> RESEARCH OF THE CHARACTERISTICS OF THE NOISE SIGNAL CONDITIONER AS A NOISE SOURCE IN MULTI-CHANNEL NOISE GENERATORS .....	111
<b>M.Yu. Polenov, A.O. Kurmaleev</b> KNOWLEDGE ENGINEERING USE FOR THE INTELLECTUAL SUPPORT OF MODELS' TRANSLATION.....	124
<b>S.S. Svidelskiy, V.S. Litvinova, G.V. Kupovykh, A.G. Klovo</b> FORMATION OF THE ATMOSPHERIC ELECTRODE LAYER STRUCTURE .....	131
<b>Hussein Ahmed Mahmood, K.Y. Rumyantsev, Al-Karawi Hussein Shookor</b> EVOLUTION OF RADIO OVER FREE SPACE OPTICAL COMMUNICATION UTILIZING SUBCARRIER MULTIPLEXING / AMPLITUDE SHIFT KEYING .....	142

### SECTION III. INFORMATION ANALYSIS

<b>V.V. Lapshichyov, O.B. Makarevich</b> SET OF DISTINCTIVE FEATURES OF TLS V1.3 HTTPS-CONNECTION ESTABLISHING BY TOR SOFTWARE COMPLEX.....	150
<b>S.L. Belyakov, M.L. Belyakova, S.A. Zubkov, N.A. Golova, K.S. Yavorchuk</b> TRANSFORMING THE DECISION-MAKING EXPERIENCE .....	159

<b>A.N. Karkishchenko, V.B. Mnukhin</b>	
ON THE INFLUENCE OF NOISE ON THE RECOGNITION OF THREEFOLD ROTATIONAL SYMMETRY IN HEXAGONAL IMAGES .....	172
<b>N.E. Sergeev, A.V. Skrinnikova</b>	
FORMALIZATION OF A SET OF INFORMATIVE SIGNS THE DYNAMICS OF MANIPULATION BY CONTROL DEVICES TO SOLVING THE PROBLEM OF DIAGNOSING THE PRODUCTIVITY OF BTS OPERATORS .....	185

Н.Е. Сергеев, А.В. Скринникова

**ФОРМАЛИЗАЦИЯ НАБОРА ИНФОРМАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ  
ДИНАМИКИ МАНИПУЛЯЦИЙ УСТРОЙСТВАМИ УПРАВЛЕНИЯ  
КУРСОРОМ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ДИАГНОСТИКИ  
ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАТОРОВ БТС**

*Информативные признаки динамики манипуляций устройствами управления типа стилус, палец, специальная ручка, мышь, трекбол, трекпоинт, сенсорная панель, ручка управления типа джойстик, игровой пульт, клавиатура, систем типа Microsoft Kinect, Leap Motion и т.п. играют важную роль при разработке программных комплексов идентификации операторов биотехнических систем по их индивидуальной динамике, при решении задач диагностики различных психоэмоциональных состояний и эффективности деятельности операторов в сферах технической и правоохранительной безопасности, медицинской и энергетической сферах, образовании и др. Система таких признаков однозначно не определена специалистами, поэтому решение этой задачи является актуальным. Цель работы – формализовать набор информативных признаков динамики манипуляции устройствами управления курсором при решении задачи диагностики эффективности деятельности операторов биотехнических систем. Поскольку вся сложность управления подобными устройствами переместилась с исполнительной части двигательных актов на центральные механизмы их регуляции в качестве конкретного примера, не нарушая общности, рассматриваются данные, полученные при манипуляциях с клавиатурой и мышью. Для достижения поставленной цели разработана схема взаимодействия оператора (биологического звена) с техническим звеном биотехнических систем, представлен краткий обзор наиболее часто используемых признаков динамики манипуляций устройствами управления, рассмотрен байесовский подход при статистической постановке задачи распознавания, на основе анализа ряда работ и собственных исследований произведена формализация набора информативных признаков динамики клавиатурного почерка и динамики манипуляций мышью. Также для диагностики эффективности деятельности операторов построены нечеткие правила на основе этого набора информативных признаков. Прогноз эффективности деятельности операторов, построенный на нечетких правилах по отобранным признакам, дал точность более 90 %. Для получения таких результатов был разработан программный комплекс. Преимуществом использования динамики манипуляций устройствами управления курсором операторов биотехнических систем при решении задачи диагностики эффективности деятельности операторов является отсутствие специального оборудования, требующего дополнительных затрат.*

*Устройства управления; задача распознавания; индивидуальная динамика.*

N.E. Sergeev, A.V. Skrinnikova

**FORMALIZATION OF A SET OF INFORMATIVE SIGNS THE DYNAMICS  
OF MANIPULATION BY CONTROL DEVICES TO SOLVING THE PROBLEM  
OF DIAGNOSING THE PRODUCTIVITY OF BTS OPERATORS**

*Informative signs of the dynamics of manipulation by control devices such as a mouse and keyboard play an important role in the development of software complexes for the identification of biotechnical systems (BTS) operators by their individual dynamics, in solving problems of diagnostics of various psycho emotional states and operator productivity. It finds application in the spheres of technical and law enforcement security, medical and energy spheres, etc. The purpose of this work is to formalize a set of informative signs of the dynamics of manipulation by control devices to solving the problem of diagnosing the productivity of BTS operators. To achieve this goal, an overview of the most frequently used features is presented, the Bayesian approach is considered in the statistical formulation of the recognition problem, a set of informative signs of the dynamics of keyboard handwriting and the dynamics of mouse manipulations is formalized based*

on the results of a number of works. Operator productivity forecast based on fuzzy rules based on selected criteria gave an accuracy of more than 90%. The advantage of using the dynamics of manipulation of the control devices of the BTS operators is the absence of special equipment that requires additional costs.

*Control devices; recognition task; individual dynamics.*

**Введение.** Управление сложными техническими системами: энергоблоками, бортовыми системами корабля, беспилотными летающими аппаратами, рентгенографическими аппаратами и др. либо их разработка осуществляется человеком при помощи различных устройств управления: мышь, стилус, палец, специальная ручка, ручка управления типа джойстик, клавиатура, системы типа Microsoft Kinect, Leap 3D, ZeroN [1–4] и т.п. Современные БТС создают дружественными к человеку, однако, в них либо не предусматривается реагирование на существенные изменения состояний операторов и на их индивидуальные особенности либо реализации подобных решений дорого стоят. Существуют исследования [3, 5, 6], указывающие на то, что при помощи различных управляющих устройств, можно отследить, в частности, психоэмоциональные состояния (ПЭС), производительность оператора. Корректируя, в случае необходимости, например, состояния сниженного внимания, можно добиться повышения эффективности деятельности операторов БТС и, как следствие, повышения эффективности функционирования всей БТС.

На рис. 1 представлена схема взаимодействия оператора с техническим звеном БТС. Оператор в большинстве случаев работает либо с устройством типа мышь (выбирает указателем мыши цели) либо с устройством типа клавиатура (работа с текстом). Каждое устройство дает определенный набор информативных признаков динамики при манипуляции ним. Например, признаками клавиатурного почерка [3, 5, 11, 19, 20] служат длительность между удержанием соседних клавиш  $x_0$ , длительность удержания клавиши  $x_1$ , длительность между отжатием одной и нажатием следующей клавиши  $x_2$  и т.п. Признаков динамики управления мышью гораздо больше (67 признаков обнаружено в работе [5]), например:  $x_3$  – поправка на расстояние при достижении указателем мыши цели,  $x_4$  – скорость движения,  $x_5$  – ускорение указателя мыши,  $x_6$  – кривизна кривой, которую описывает указатель при перемещении мыши,  $x_7$  – общее время манипуляций мышью,  $x_8$  – угловая скорость мыши,  $x_9$  – длина кривой, которую описывает указатель при перемещении мыши [12–16]. Выбор информативных признаков является важнейшим этапом построения решающего правила, по которому будет надежно отличима, например, низкая эффективность деятельности оператора от высокой. Система таких признаков однозначно не определена специалистами, поэтому решение этой задачи является актуальным.



Рис. 1. Схема БТС «оператор-техническая система»

**Изложение основного материала.** Известно, что эффективность деятельности оператора зависит от его ПЭС и психомоторики [17, 18]. Разработаны методы и системы диагностики различных состояний операторов, использующие специальное оборудование. Например, изобретение [7] описывает систему контроля эмоционального состояния пользователя в процессе потребления мультимедийного содержания, в которой физиологические реакции: сердцебиение, давление, температуру, экспрессию лица, голос, жесты, – измеряют биосенсорами, инфракрасными камерами, микрофонами. Карточки учета рабочего времени, динамические и статические методы биометрии контролируют опоздания, нецелевое время, но не анализируют эффективность деятельности операторов. Применяют также и методы, не требующие дополнительных затрат: диагностика эффективности деятельности оператора на основе динамики манипуляций устройствами управления (ДМУУК). В работе [4] подобный метод отличается наименьшей средней квадратичной ошибкой по точности диагностики эффективности деятельности оператора среди аналогов [6, 8], фиксацией событий управляющих устройств и учетом пауз при манипуляциях ними, расчетом по фиксированным событиям признаков ДМУУК их числовых характеристик для дальнейшей диагностики путем сравнения текущей динамики с полученным заранее в нейтральном состоянии «эталонным» образцом динамики.

Произведем отбор информативных признаков ДМУУК при решении задачи диагностики эффективности деятельности операторов БТС.

Пусть эффективность деятельности оператора принадлежит одному из  $M$  возможных классов  $E_1, \dots, E_M$  множества  $E = \{E_1, \dots, E_M\}$ . Есть совокупность признаков ДМУУК  $X^{(N)} = (x_1, \dots, x_N)$ , которые могут быть использованы как признаки для диагностики одной из множества эмоций пользователя. Необходимо построить решающее правило  $D(X^{(N)})$ :  $X^{(N)} \rightarrow M$ , которое отобразит множество  $X^{(N)} = \{X^{(N)}\}$  возможных значений признаков  $x_1, \dots, x_N$  на множество  $M = \{1, \dots, M\}$  номеров состояний  $E_1, \dots, E_M$ , т.е., построить алгоритм определения значений индикаторной переменной  $s = D(X^{(N)})$  в виде

$$s = \begin{cases} 1, & \text{если } X^{(N)} \in \Omega_1 \\ \dots & \\ M, & \text{если } X^{(N)} \in \Omega_M \end{cases},$$

где  $\Omega_m$ ,  $m = 1, \dots, M$  – непересекающиеся области пространства  $X^{(N)}$ , в которых принимаются решения в пользу класса  $E_m$ .

Здесь возникает статистическая постановка задачи распознавания [9], поскольку при различных уровнях эффективности деятельности  $E_i \neq E_j$  могут совпадать значения каждого из имеющихся признаков  $X_n$  ( $1 < n < N$ ). То есть допускается, что множества значений каждого признака, соответствующие различным классам, пересекаются.

При статистической постановке задачи распознавания часто используют байесовский подход, согласно которому классы эффективности деятельности  $E_1, \dots, E_M$  рассматриваются как случайные события с априорными вероятностями  $P(E_m)$ ,  $\sum_{m=1}^M P(E_m) = 1$ , признаки – как случайные величины, для которых объективно существуют условные распределения  $p_i(X^{(N)} | E_m)$ , а множества  $X_m^{(N)} = \{X^{(N)}: p(x^{(N)} | E_m) \neq 0\}$ ,  $X_1^{(N)} \cup \dots \cup X_M^{(N)} = X^{(N)}$  – собственные области классов в пространстве признаков.

Байесовский метод построения решающего правила  $s = D(X^{(N)})$  состоит в следующем. Пусть известны априорная вероятность  $P(E_m)$  и условные распределения  $p(X^{(N)} | E_m)$ , определены значения признаков  $X_1 = \hat{X}_1, \dots, X_N = \hat{X}_N$ . Необходимо определить текущее состояние объекта  $E_m \in E$ . По формуле Байеса находим апостериорные вероятности:

$$X_m^{(N)} = \{X^{(N)}: p(x^{(N)} | E_m) \neq 0\}, X_1^{(N)} \cup \dots \cup X_M^{(N)} = X^{(N)}.$$

Соответствующее правило максимума апостериорной вероятности трех информативных признаков эквивалентно правилу вида

$$s = \begin{cases} 1, & \text{если } \lambda_{12} > \lambda_{012}, \lambda_{13} > \lambda_{013} \\ 2, & \text{если } \lambda_{12} < \lambda_{012}, \lambda_{23} > \lambda_{023} \\ 3, & \text{если } \lambda_{13} < \lambda_{013}, \lambda_{23} < \lambda_{023}, \end{cases}$$

где

$$\lambda_{12} = \frac{P(\hat{X}^{(N)} | E_1)}{P(\hat{X}^{(N)} | E_2)}, \quad \lambda_{13} = \frac{P(\hat{X}^{(N)} | E_1)}{P(\hat{X}^{(N)} | E_3)}, \quad \lambda_{23} = \frac{P(\hat{X}^{(N)} | E_2)}{P(\hat{X}^{(N)} | E_3)}, \quad \lambda_{012} = \frac{P(E_1)}{P(E_2)},$$

$$\lambda_{013} = \frac{P(E_1)}{P(E_3)}, \quad \lambda_{023} = \frac{P(E_2)}{P(E_3)}.$$

Для оценки эффективности признаков при статистической постановке задачи распознавания используют информационный подход, согласно которому полезность признака связывают с уменьшением неопределенности (шенноновской энтропии) [10]. При этом следует различать информативность отдельного признака и информативность признака в совокупности с другими.

С точки зрения достоверности результатов диагностики эффективности деятельности более удачной оценкой полезности признака могут служить не изменение средней условной энтропии  $H(E | X^{(N)})$ , а изменение средней вероятности ошибки  $P(e)$  или, в общем случае, среднего риска.

Очевидно, при числе классов  $M$  для любого фиксированного  $X^{(M)} = \hat{X}^{(M)}$  условная вероятность ошибочных решений  $P(e | \hat{X}^{(N)}) = 1 - \max\{P(E_1 | \hat{X}^{(N)}), P(E_2 | \hat{X}^{(N)})\}$  однозначно определяет и частную условную энтропию

$$H(E | \hat{X}^{(N)}) = -P(e | \hat{X}^{(N)}) \log_2 P(e | \hat{X}^{(N)}) - [1 - P(e | \hat{X}^{(N)})] \log_2 [1 - P(e | \hat{X}^{(N)})].$$

Однако признаков ДМУУК достаточно много и трудоемко рассчитать энтропии для всех возможных их сочетаний. Поэтому поступим иначе.

**Отбор информативных признаков динамики манипуляций устройствами управления.** Рассмотрим ДМУУК клавиатурного почерка по фиксированной фразе с учетом возможных перекрытий между клавишами. Составим массив межклавишных взаимодействий  $T$  из событий нажатия и отжатия и времени нажатия/отжатия клавиш. Пример данных представлен в табл. 1. Напротив каждой из набранных букв фразы «My dog is very big.» указан элемент массива

$$T = \begin{pmatrix} T_{11} & T_{12} & \dots & T_{1n} \\ T_{21} & T_{22} & \dots & T_{2n} \end{pmatrix},$$

где  $n$  – количество нажатий клавиш при наборе фиксированной фразы,  $T_{ji}$  – признак удержания/отжатия  $i$ -й клавиши ( $j=1$  – клавиша нажата,  $j=2$  – клавиша отжата),  $T_{1i}$  – длительность удержания ( $T_{2i}$  – отжатия)  $i$ -й клавиши,  $i=1,2,\dots,n$ . Знаками  $\uparrow$  и  $\downarrow$  условно обозначены отжатия и нажатия клавиш соответственно. Фраза набрана без ошибок с одним двойным перекрытием между буквами «е» и «г».

Таблица 1

Пример данных, извлеченных из клавиатурного почерка

Клавиша	Время в мс, прошедшее с момента запуска Windows		$x_1$	$x_0$	$x_2$
m	↓10322218	↑10322312	94	125	31
y	↓10322343	↑10322437	94	157	63
...	...	...	...	...	...
v	e↓10325609	r↓10325734	156	110	-46
e	e↑10326390	r↑10326500	125	234	109
r	↓10326734	↑10326812	78	312	234
y	↓10327046	↑10327109	63	1047	984
-	↓10328093	↑10328156	63	328	265
...	...	...	...	...	...

Анализ наиболее часто используемых признаков  $x_0$ ,  $x_1$  и  $x_2$  показал, что  $x_0[i] = x_1[i] + x_2[i]$ . То есть, если у оператора под влиянием каких-то факторов увеличатся  $x_1$  и уменьшатся  $x_2$  или наоборот, то вероятность ошибочных решений будет выше при учете трех признаков  $x_0$ ,  $x_1$ ,  $x_2$ , чем при учете только  $x_1$  и  $x_2$ . Поэтому целесообразно использовать только  $x_1$  и  $x_2$  без  $x_0$ . Хотя в процессе исследований по идентификации пользователей по клавиатурному почерку иногда используют триграммы и даже слова [11].

Данные динамики манипуляций мышью получают путем сбора событий мыши (будь то перемещение, перетаскивание или нажатия кнопки) и длительности этих событий  $t$  в миллисекундах,  $XX$  и  $YY$  координат курсора на экране монитора.

В табл. 2 дан анализ некоторых работ по точности диагностики эмоций при использовании различных признаков ДМУУК. Как видно признак  $x_7$  дает хорошие результаты при распознавании. В работе [3] высокие результаты дал признак  $x_6$ . Поэтому имеем  $X = (x_1, x_2, x_6, x_7)$  – совокупность информативных признаков ДМУУК.

Таблица 2

Сравнительный анализ зависимости между точностью диагностики эмоций и использованными признаками ДМУУК [11 - 14, 1]

Признак	Исследователи	Точность
$x_3, x_8$	S. Singh, Dr. K.V. Arya	Ошибки I, II рода до 6%
$x_4, x_5, x_7$ , дрожание руки	Kaklauskas A., Zavadskas E.K., Seniut M.[at al]	Не указано
$x_3, x_4, x_5$	Maehr W.	Достоверности гипотез об однородности дисперсий до 45%, 100%
$x_7, x_9$	Weiss A., Ramapanicker A., Shah P. [at al]	Точность распознавания до 80-92%
$x_3, x_4, x_5, x_6, x_7$	Скринникова А.В.	Точность распознавания до 90/90/90/95/99%

**Построение нечетких правил на основе набора информативных признаков для диагностики эффективности деятельности операторов.** Поскольку, сильное возбуждение: аффект, психоз и т.п. – вносят существенный разлад в деятельность человека; возбуждение: кураж, интенсивные эмоции – восторг, гнев,

ужас и т.д. – могут принести пользу в деятельности; депрессивное состояние может повлечь состояния сильно сниженной реакции («сон»), сниженной реакции, активности сознания, внимания («транс»), то поставим описанные ПЭС в соответствие одному из пяти классов производительности операторов  $P$  [в долях ед.]:  $p_5$  – производительность в норме;  $p_4$  – кураж,  $p_3$  – транс,  $p_2$  – аффект,  $p_1$  – сон.

В случае диагностики эффективности деятельности по динамике манипуляций мышкой входные параметры  $X(x_6, x_7)$ . Входные лингвистические переменные  $x_6$  и  $x_7$  описываются терм-множествами  $x_{61}$  – «минимальная кривизна кривой, которую описывает указатель при перемещении мыши»,  $x_{62}$  – «средняя кривизна кривой»,  $x_{63}$  – «максимальная кривизна кривой» и  $x_{71}$  – «минимальное время манипуляций мышью»,  $x_{72}$  – «среднее время»,  $x_{73}$  – «максимальное время» соответственно:

$$x_7 = \mu(x_{71})/x_{71} + \mu(x_{72})/x_{72} + \mu(x_{73})/x_{73}$$

и

$$x_6 = \mu(x_{61})/x_{61} + \mu(x_{62})/x_{62} + \mu(x_{63})/x_{63}.$$

Функции принадлежности получены при экспериментальном исследовании [4] в виде треугольных функций.

Выходная лингвистическая переменная  $P$  («эффективность деятельности оператора БТС») задана на терм-множествах  $p_5$  – «эффективность деятельности в норме»;  $p_4$  – «кураж»,  $p_3$  – «транс (снижена)»;  $p_2$  – «аффект»,  $p_1$  – «сон (эффективность деятельности крайне низкая)»:

$$P = \mu(p_1)/p_1 + \mu(p_2)/p_2 + \mu(p_3)/p_3 + \mu(p_4)/p_4 + \mu(p_5)/p_5.$$

Представим базу нечетких правил вида «Если ... То»:

ЕСЛИ  $\mu(x_{61})/x_{61}$  И  $\mu(x_{71})/x_{71}$ , ТО  $\mu(p_5)/p_5$ .

ЕСЛИ  $\mu(x_{61})/x_{61}$  И  $\mu(x_{72})/x_{72}$  ИЛИ ЕСЛИ  $\mu(x_{62})/x_{62}$  И  $\mu(x_{71})/x_{71}$ , ТО  $\mu(p_4)/p_4$ ,

ЕСЛИ  $\mu(x_{61})/x_{61}$  И  $\mu(x_{73})/x_{73}$  ИЛИ ЕСЛИ  $\mu(x_{62})/x_{62}$  И  $\mu(x_{72})/x_{72}$  ИЛИ ЕСЛИ  $\mu(x_{63})/x_{63}$  И  $\mu(x_{71})/x_{71}$ , ТО  $\mu(p_3)/p_3$ ,

ЕСЛИ  $\mu(x_{63})/x_{63}$  И  $\mu(x_{72})/x_{72}$  ИЛИ ЕСЛИ  $\mu(x_{62})/x_{62}$  И  $\mu(x_{73})/x_{73}$ , ТО  $\mu(p_2)/p_2$ ,

ЕСЛИ  $\mu(x_{63})/x_{63}$  И  $\mu(x_{73})/x_{73}$ , ТО  $\mu(p_1)/p_1$ .

В результате применения информативных признаков  $x_6$  и  $x_7$  и указанных нечетких правил при мониторинге ДМУУК в работе [4] получена точность прогноза эффективности деятельности операторов методом, основанным на нечеткой логике и мягких арифметических операциях, 90,14 %. Прогнозные значения сравнивались с данными, полученными из протоколов работы операторов по итогам отправки электронных писем участникам конференции результатов рецензирования присланных статей.

**Заключение.** В работе представлена формализация набора информативных признаков динамики манипуляций устройствами управления курсором. Разработанный программный комплекс, учитывающий описанный набор информативных признаков динамики манипуляций устройствами управления курсором, дал точность прогноза эффективности деятельности операторов более 90 %. Преимуществом предложенного комплекса является отсутствие специального оборудования, требующего дополнительных затрат.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Lee J., Post R., Ishii H.* ZeroN: Mid-Air Tangible Interaction Enabled by Computer Controlled Magnetic Levitation // UIST'11, Santa Barbara, CA, USA, October 16–19, 2011. – P. 10.
2. *Сатыбалдина Д.Ж., Калымова К.А.* Разработка приложения, управляемого жестами, с использованием Microsoft Kinect Sensor // Сб .тр. 21-й междунар. конф. «Цифровая обработка сигналов и её применение» – DSPA-2019, Москва, 27-29 марта 2019 г. – С. 525-529.
3. *Скринникова А.В.* Изменение индивидуальной динамики манипуляций устройствами управления курсором под влиянием эмоций страха и радости // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 5 (142). – С. 246-251.
4. *Бобырь М.В., Скринникова А.В., Милостная Н.А., Серегин С.П.* Нечеткая биотехническая система управления производительностью человека-оператора // Медицинская техника. – 2017. – № 4 (304). – С. 46-50.
5. *Zimmermann P.G.* Beyond Usability – Measuring Aspects of User Experience: dis. dr. sciences. Swiss federal institute of technology. – Zurich, 2008. – 112 p.
6. *Сержантова М.В., Ушаков А.В.* Конечные цепи Маркова в модельном представлении деятельности человека-оператора в квазистатической функциональной среде // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2016. – Т. 16, № 3. – С. 524-532.
7. Пат. 7698238 US, МПК G06F 17/00. Emotional controlled system for processing multimedia data / A. Barletta(DE), B. Moser(DE), M. Mayer(DE); assignee Sony Duetschland GmbH, Cologne (DE) – 13.04.2010. – 10 p.
8. *Евдокименков В.Н., Ким Р.В., Красильщиков М.Н., Себряков Г.Г.* Системы управления движущимися объектами // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2015. – № 4. – С. 111-123.
9. *Шлезингер М.И., Главач В.* Десять лекций по статистическому и структурному распознаванию. – К : Наукова Думка, 2004. – 546 с.
10. *Файнзильберг Л.С.* Математические методы оценки полезности диагностических признаков: монография. – К.: Освита Украины, 2010. – 152 с.
11. *Dowland P., Furnell S.* A long-term trial of keystroke profiling using digraph, trigraph, and keyword latencies // Proc. of IFIP/SEC – 19th International Conf. on Information Security, Toulouse, France, 2004. – P. 275-289.
12. *Weiss A., Ramapanicker A., Shah P. [at al].* Mouse Movements Biometric Identification: A Feasibility Study // Proc. of CSIS, Pace Univ., May 2007. – P. 21-28.
13. *Singh S., Dr. K.V. Arya.* Mouse interaction based authentication system by classifying the distance travelled by the mouse // International Journal of Computer Applications. Vol. 17, No. 1, March 2011. – URL: <http://www.ijcaon-line.org/volume17/number1/pxc3872752.pdf> (дата обращения: 29.11.2011).
14. *Kaklauskas A., Zavadskas E.K., Seniut M.[at al].* Web-based biometric mouse decision support system for user's emotional and labour productivity analysis // The 25<sup>th</sup> Int. Symp. Automation and Robotics in Construction, 2008. – P. 69-75.
15. *Maehr W.* Estimation of the user's emotional state by mouse motions: diploma thesis for Fachhochschule Vorarlberg ; iTec – Information and Communication Engineering. – Dornbirn, Austria, August 2005. – P. 145.
16. *Nazar A., Traore I., Ahmed A.A.E.* Inverse biometrics for mouse dynamics // Int. Journ. of Pattern Recognition and Artificial Intelligence. – 2008. – Vol. 22, No. 3. – P. 461-495.
17. *Ахремчик О.Л., Базулев И.И.* Программный комплекс для измерения времени аудиомоторных реакций операторов систем управления химико-технологическими процессами // Программные продукты и системы. – 2017. – No. 2 (30). – С. 328-332.
18. *Цагарелли Ю.А. Труды Е.П. Ильина как энциклопедия современной психологии // Психология человека в образовании.* – 2019. – Т. 1, № 4. – С. 330-340. – DOI: 10.33910/2686-9527-2019-1-4-330-340.
19. *Hughes M., Aulck L., Johnson P.W.* Are there differences in typing performance and typing forces between short and long travel keyboards // Reviews of Human Factors and Ergonomics. – Sep. 2011. – Vol. 55. – P. 954-957.
20. *Giot R., El-Abed M., Rosenberger Ch.* Keystroke dynamics authentication // Biometrics. Pub: InTech, 2011. – P. 157-182.

## REFERENCES

1. Lee J., Post R., Ishii H. ZeroN: Mid-Air Tangible Interaction Enabled by Computer Controlled Magnetic Levitation, *UIST'11, Santa Barbara, CA, USA, October 16–19, 2011*, pp. 10.
2. Satybaldina D.Zh., Kalymova K.A. Razrabotka prilozheniya, upravlyаемого zhestami, s icpol'zovaniem Microsoft Kinect Sensor [The development of an application controlled by gestures using a Microsoft Kinect Sensor], *Sb .tr. 21-y mezhdunar. konf. «TSifrovaya obrabotka signalov i ee primeneniye» – DSPA-2019, Moskva, 27-29 marta 2019 g.* [Collection of truls of the 21st International Conference "Digital signal processing and its application" – DSPA-2019, Moscow, March 27-29, 2019], pp. 525-529.
3. Skrinnikova A.V. Izmeneniye individual'noy dinamiki manipulyatsiy ustroystvami upravleniya kursorom pod vliyaniem emotsiy strakha i radosti [Changing the individual dynamics of manipulations of cursor control devices under the influence of emotions of fear and joy], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2013, No. 5 (142), pp. 246-251.
4. Bobyr' M.V., Skrinnikova A.V., Milostnaya N.A., Seregin S.P. Nechetkaya biotekhnicheskaya sistema upravleniya proizvoditel'nost'yu cheloveka-operatora [Bioengineering fuzzy control system performance of the human operator], *Meditsinskaya tekhnika* [Medical equipment], 2017, No. 4 (304), pp. 46-50.
5. Zimmermann P.G. Beyond Usability – Measuring Aspects of User Experience: dis. dr. sciences. Swiss federal institute of technology. Zurich, 2008, 112 p.
6. Serzhantova M.V., Ushakov A.V. Konechnye tsepi Markova v model'nom predstavlenii deyatel'nosti cheloveka-operatora v kvazistaticheskoy funktsional'noy srede [Finite Markov chains in the model representation of human operator activity in a quasi-static functional environment], *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik informatsionnykh tekhnologiy, mekhaniki i optiki* [Scientific and Technical Bulletin of Information Technologies, Mechanics and Optics], 2016, Vol. 16, No. 3, pp. 524-532.
7. Partent 7698238 US, МПК G06F 17/00. Emotional controlled system for processing multimedia data, A. Barletta(DE), B. Moser(DE), M. Mayer(DE); assignee Sony Duetschland GmbH, Cologne (DE), 13.04.2010, 10 p.
8. Evdokimenkov V.N., Kim R.V., Krasil'shchikov M.N., Sebryakov G.G. Sistemy upravleniya dvizhushchimisya ob"ektami [Control systems for moving objects], *Izvestiya RAN. Teoriya i sistemy upravleniya* [Izvestiya RAS. Theory and control systems], 2015, No. 4, pp. 111-123.
9. Shlezinger M.I., Glavach V. Desyat' lektsiy po statisticheskomu i strukturnomu raspoznavaniyu [Ten lectures on statistical and structural recognition]. Kiev: Naukova Dumka, 2004, 546 p.
10. Faynzil'berg L.S. Matematicheskie metody otsenki poleznosti diagnosticheskikh priznakov: monografiya [Mathematical methods for evaluating the usefulness of diagnostic signs: monograph]. Kiev: Osvita Ukrainy, 2010, 152 p.
11. Dowland P., Furnell S. A long-term trial of keystroke profiling using digraph, trigraph, and keyword latencies, *Proc. of IFIP/SEC – 19th International Conf. on Information Security, Toulouse, France, 2004*, pp. 275-289.
12. Weiss A., Ramapanicker A., Shah P. [at al]. Mouse Movements Biometric Identification: A Feasibility Study, *Proc. of CSIS, Pace Univ., May 2007*, pp. 21-28.
13. Singh S., Dr. K.V. Arya. Mouse interaction based authentication system by classifying the distance travelled by the mouse, *International Journal of Computer Applications*, March 2011, Vol. 17, No. 1. Available at: <http://www.ijcaon-line.org/volume17/number1/pxc3872752.pdf> (accessed 29 November 2011).
14. Kaklauskas A., Zavadskas E.K., Seniut M.[at al]. Web-based biometric mouse decision support system for user's emotional and labour productivity analysis, *The 25<sup>th</sup> Int. Symp. Automation and Robotics in Construction, 2008*, pp. 69-75.
15. Maehr W. Estimation of the user's emotional state by mouse motions: diploma thesis for Fachhochschule Vorarlberg ; iTec – Information and Communication Engineering. Dornbirn, Austria, August 2005, pp. 145.
16. Nazar A., Traore I., Ahmed A.A.E. Inverse biometrics for mouse dynamics, *Int. Journ. of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 2008, Vol. 22, No. 3, pp. 461-495.

## ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ РУКОПИСЕЙ

1. Объем статьи должен быть не менее 12 и не более 18 страниц. Формат (А 4). Редактор **Word 7 for Windows**, шрифт Times New Roman, размер 14, интервал 1,5. Авторы представляют в редакцию 1 экз. статьи и идентичный электронный вариант.

2. Названию статьи предшествует индекс УДК, соответствующий заявленной теме.

3. Текст статьи начинается с названия статьи (на русском и английском языках), фамилии, имени и отчества автора (полностью) и снабжается аннотацией на русском и английском языках объемом **не менее 250-300 слов**. В тексте аннотации указывается цель, задачи исследования и краткие выводы. В аннотации **не следует** давать ссылку на номер публикации в списке литературы к статье. После аннотаций приводятся ключевые слова (словосочетания), несущие в тексте основную смысловую нагрузку (на русском и английском языках).

4. В тексте статьи следует использовать минимальное количество таблиц и иллюстраций. Рисунок должен иметь объяснения значений всех компонентов, порядковый номер, название, расположенное под рисунком. В тексте на рисунок дается ссылка. Таблица должна иметь порядковый номер, заголовок, расположенный над ней. Данные таблиц и рисунков не должны дублировать текст. Формулы должны быть набраны **в редакторе формул Word 7 for Windows**.

5. Цитаты тщательно сверяются с первоисточником и визируются автором на обратной стороне последней страницы: "Цитаты и фактический материал сверены". Подпись, дата.

6. Наличие пристатейного библиографического списка на русском и английском языках обязательно. **Ссылок должно быть не менее 20-ти**, из них на зарубежные источники – не менее 35 %. В тексте ссылки должны быть в квадратных скобках.

Примеры оформления литературы: а) для книг: фамилия, инициалы автора(ов), полное название книги, место, год издания, страницы; б) для статей: фамилия и инициалы автора(ов), полное название сборника, книги, газеты, журнала, где опубликована статья, место и год издания (сборника, книги), номер (для журнала), год и дата (для газеты), выпуск, часть (для сборника), страницы, на которых опубликована статья. Иностранная литература оформляется по тем же правилам.

Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

7. Рукопись должна быть тщательно вычитана. Редакционная коллегия оставляет за собой право при необходимости сокращать статьи, редактировать и отсылать авторам на доработку.

8. Статьи сопровождаются сведениями об авторе(ах) (фамилия, имя, отчество, ученое звание, должность, место работы, адрес, электронный адрес и номер телефона) на русском и английском языках.

9. Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

Адрес журнала в Интернете: <http://izv-tn.tti.sfedu.ru/>.