

# СИСТЕМЫ ИНТЕРФЕЙСОВ ЧЕЛОВЕК-КОМПЬЮТЕР НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СПЕКТРАЛЬНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ БИОМЕДИЦИНСКИХ СИГНАЛОВ И ГИБРИДНОГО ИНТЕЛЛЕКТА

**Я.А. Туровский**

*Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН*

Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65

*Воронежский государственный университет*

Воронеж, 394051, Университетская пл. 1

E-mail: [yaroslav\\_turovsk@mail.ru](mailto:yaroslav_turovsk@mail.ru)

**Ключевые слова:** интерфейс мозг-компьютер, окулографический интерфейс, непроизвольно управляемые интерфейсы, гибридный интеллект.

**Аннотация:** в работе представлены текущие результаты разработки систем интерфейсов человек-компьютер (мозг-компьютер, миографических, окулографических, дыхательных, стресс-зависимых). Продемонстрированы основные подходы, используемые при конструировании данной группы интерфейсов. Оценена эффективность их моделирования, а так же разработанной оригинальной системы цифровой обработки сигналов на основе адаптивного обратного вейвлет-преобразования. Рассмотрены вопросы применения систем непроизвольно-управляемых стресс-зависимых интерфейсов в существующих и перспективных эргатических системах.

## 1. Введение

В разработке и совершенствовании эргатических систем в последние четверть века наметился существенный прогресс, связанный в первую очередь с появлением новых аппаратных решений, позволяющих реализовать ресурсоемкие алгоритмы управления. Как следствие, развитие современных информационных технологий, в сочетании с достижениями медицины и, особенно, физиологии, дало возможность создать большое количество устройств, относящихся к классу интерфейсов человек-компьютер, действующих «в обход» или как альтернатива традиционных каналов коммуникации: клавиатуры, джойстика, мыши и т.д. При этом области применения данных технологий достаточно обширны. Реабилитологические решения направлены на восстановление функционала больных в двух основных направлениях: тренировки самого пациента с совершенствованием оставшегося функционала, тренировки с целью замещения утраченных функций программно-аппаратными решениями. Другим направлением является усовершенствование уже существующих интерфейсов управления, например, компьютером или автомобилем, за счет появления нового функционала в рамках концепции т.н. «дополненного управления», когда новые коммуникационные каналы не подменяют существующие, а дополняют их. Развитием этого подхода являются попытки использования подобных разработок в военной сфере, в первую очередь авиации. Счита-

ется, что, например, интерфейс мозг-компьютер имеет потенциальную скорость передачи команд, значимо превышающую существующие программно-аппаратные решения, в первую очередь за счет исключения из цепочки передачи команд временную задержку, вызванную перемещением «команды» по проводящим путям головного мозга и мышцам [1-3]. Однако, фактические параметры реализации группы т.н. альтернативных (классическим) интерфейсов человек-компьютер существенно уступают как теоретически возможным, так и ожидаемым, если сравнивать прогнозы десяти-пятнадцатилетней давности. Имеющиеся подходы, несмотря на существенный теоретический задел, в целом не решают проблему увеличения скорости управления внешними устройствами и в рамках концепции «дополненного управления». Весьма перспективный задел в области реабилитации пока не позволяет определить, для каких групп пациентов он будет достаточно успешен, в первую очередь потому, что не решена проблема эффективности освоения того или иного типа альтернативных интерфейсов. Несмотря на наличие ряда основополагающих монографий, научным сообществом уделено недостаточно внимания проблеме ограниченности коммуникаций с использованием классических интерфейсов человек-компьютер и человек-компьютер-человек, традиционно использующих либо текстовые сообщения, либо достаточно ограниченный набор звукового и/или визуального ряда. Таким образом, ключевыми проблемами, стоящими на данном этапе развития интерфейсов человек-компьютер являются: увеличение скорости коммуникации, улучшение эргономичности, расширение спектра коммуникационных возможностей. Работа над устранением указанных проблем в направлении совершенствования распознавания паттернов мозговой активности, формирование гибридно-интеллектуальных систем [4, 5], непроизвольно-управляемых интерфейсов позволит, при внедрении, достигнуть значимых результатов в совершенствовании процессов реабилитации; будет способствовать выходу на новый уровень общения «человек-компьютер» и «человек-компьютер-человек» в т.ч. и в задачах маркетинга, генерации мультимедийного контента, появлению новых подходов к исследованию мозга человека и операторской деятельности, что, в совокупности, может стать существенным шагом в создании новых эргатических систем.

## **2. Оформление основного текста**

### **2.1. Общие правила**

В ходе исследования были созданы системы интерфейсов человек-компьютер, методологии, методы, модели, алгоритмы моделирования и разработки интерфейсов человек-компьютер включая нейрокомпьютерные и стресс-зависимые, а так же обработки сигналов, генерируемых нервной системой человека. Разработаны и реализованы оригинальные методы и алгоритмы конструирования эргатических систем (стресс-зависимых и мозг-компьютер), отличающиеся тем, что были реализованы на основе активностной парадигмы и гибридного интеллекта. Продемонстрированы возможные подходы к повышению их эффективности в плане точности и скорости работы. Предложен и реализован метод анализа медико-биологических сигналов, отличающийся тем, что основой подхода является выделение областей сближения локальных экстремумов матрицы вейвлет-преобразования, полученной с сигнала, генерируемого исследуемой системой и позволяющий выявлять новую значимую информацию для экспериментальных (выделение паттернов мозговой активности, вариабельности сердечного ритма), клинических исследований (выделение вызванных потенциалов головного мозга) и создания эргатических систем (стресс-зависимых и мозг-компьютер). Разработана и реализована система интерфейса передачи произвольных, генерируемых человеком команд компьютеру, отличающаяся тем, что интерфейс может быть использован для

изменения параметров функционирования ОС и иных программных продуктов. Продемонстрирована возможность использования данного подхода в формировании эргатической системы в программно-аппаратной части, которой имеются зачатки искусственного эмоционального интеллекта. Предложен и реализован системный подход к анализу медико-биологических сигналов, отличающийся тем, что основой подхода является построение цепочек локальных экстремумов матрицы вейвлет-преобразования, позволяющий выявлять новую значимую информацию для экспериментальных (выделение паттернов мозговой активности, вариабельности сердечного ритма) и клинических исследований (выделение вызванных потенциалов головного мозга), конструирования эргатических систем относительно частотно-временных особенностей исследуемых сигналов (например амплитуд и латентного времени вызванных потенциалов), порождаемых нервной системой. Предложен и реализован метод построения фильтра медико-биологических сигналов для классификации состояния эргатических систем человек-компьютер (стресс-зависимых и мозг-компьютер), отличающийся тем, что реализован на основе структуры цепочек локальных экстремумов матрицы вейвлет-преобразования и генетических алгоритмов, обеспечивающих эргатически-значимую (например, концентрация внимания) интерпретацию полученных результатов.

На данном этапе исследования можно отметить следующие результаты:

- Разработаны и реализованы в виде программно-аппаратного комплекса и апробированы на созданных системах синхронных нейро-компьютерных интерфейсов модели на основе активностной парадигмы. Наибольший прогностический вес имеет коэффициент синергии, который обеспечивает классификацию до 11 % уровня ошибок. При этом граница его значений, по которой осуществлялась классификация достижения или недостижения цели пользователем, проходила в области малых положительных и/или отрицательных значений ( $-0.11$ ,  $0.26$ ; учитываются статистически значимые коэффициенты)
- Разработана модель и программная реализация увеличения скорости работы интерфейса мозг-компьютер на основе гибридного интеллекта. Наиболее значимыми предикторами для оценки скорости работы гибридного НКИ является, в том числе и индекс гибридизации, отражающий долю числа команд, генерируемых человеком, в общем числе команд. Показано, что в пределах рассмотренной структуры НКИ модальный выигрыш по времени работы интерфейса может составить величину  $\approx 50\%$ .
- Разработанные и апробированные модели позволяют, используя эмпирические результаты работы разных типов НКИ, определить потенциальную эффективность дополнительного канала связи компьютер-человек и, следовательно, оценить необходимость и возможность реализации дополнительного канала коммуникации человек-компьютер.
- Разработана и реализована в виде программно-аппаратного комплекса система интерфейса передачи произвольных, генерируемых человеком команд на компьютер для изменения параметров функционирования операционной системы и иных программных продуктов, с латентным временем реакции не более 5-15 секунд в зависимости от параметров вариабельности сердечного ритма пользователя.
- Низколатентные произвольно-управляемые интерфейсы с использованием вариабельности сердечного ритма реализованы на основе либо расчетов СКО (латентность 5-10 кардиоциклов), либо на расчете Фурье-образа НФ-частотного диапазона (латентность до 15 кардиоциклов) существенно превосходят интерфейсы на основе вейвлет-преобразования и преобразования Фурье в НФ и LF диапазонах.
- Используемые НФ-зависимые интерфейсы существенно расширяют возможности эргатических систем в области формирования эмоционального искусственного ин-

теллекта, нейромаркетинга, создания новых игровых приложений, мессенджеров, элементов социальных сетей, формировании искусственного эмоционального интеллекта, включая оценку и коррекцию работы НКИ в условиях выбора из множества алгоритмов обработки ЭЭГ-сигналов.

- Разработан и реализован в виде программного комплекса метод анализа медико-биологических сигналов на основе построения цепочек локальных экстремумов матрицы вейвлет-преобразования, позволяющий выделять до 25 типов феноменов частотно-временных особенностей ЭЭГ-активности.
- Разработан и реализован в виде программного комплекса метод выделения областей сближения локальных экстремумов матрицы вейвлет-преобразования, позволяющий осуществлять восстановление элементов ЭЭГ-сигналов на основе их свойств.
- Разработан и реализован программно аппаратный комплекс распределено-параллельных вычислений на основе разработанных алгоритмов. Комплекс позволяет выполнять обработку данных ЭЭГ, ЭКГ, ВСР и видеопотоков с минимальной временной задержкой, формируя команды управления на самоходное шасси, дрон, миоэлектрический протез, компьютер.
- Разработан и реализован в виде программно-аппаратного комплекса метод построения фильтра медико-биологических сигналов на основе структуры цепочек локальных экстремумов матрицы вейвлет-преобразования и генетических алгоритмов, который позволяет успешно создавать индивидуально адаптированные к конкретным задачам распознавания паттерны сигналов, необходимых для создания эргатических систем, обеспечивая до 100% точность выделения значимого сигнала при наличии физиологически-значимой интерпретации и отношении сигнал/шум как 1 к 100.

## Благодарности

Автор выражает глубокую признательность, за помощь в работе к.х.н., доц. Л.А.Битюцкой; к.ф.-м.н., доц. С.В.Борзунову, к.ф.-м.н., доц. А.В.Вахтину, к.м.н., доц. Е.В.Киселевой, д.ф.-м.н., проф. С.Д.Кургалину, д.м.н., проф. И.И.Логвиновой, д.м.н., проф. А.Ф. Неретиной, д.м.н., проф. Б.Р.Шумиловичу.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (№ 16-29-08342-офи\_м).

## Список литературы

1. Wolpaw J. R. et al. Brain-computer interfaces for communication and control // *Clinical Neurophysiol.* 2002. Vol. 113. P. 767-791.
2. Gao X., Xu D., Cheng M. A BCI-Based Environmental Controller for the Motion- Disabled // *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering.* 2003. Vol. 11, No. 2. P. 137-140.
3. Garcia G. High frequency SSVEPs for BCI applications // *Computer-Human Interaction, April 2008.* Florence, Italy, 2008
4. Венда В.Ф., Венда В.Ю., Пашук Л.А. Инженерная психология в оценке и проектировании информационной техники («юзабилити»): российские приоритеты // *Психологический журнал.* 2013. Т. 34, № 2. С. 129-139.
5. Венда В.Ф. Системы гибридного интеллекта: Эволюция, психология, информатика. М.: Машиностроение, 1990. 448 с.