

УДК 004.5

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ РАСПОЗНАВАНИЯ СИГНАЛОВ В ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОМ ИНТЕРФЕЙСЕ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СКРЫТОЙ ИНФОРМАЦИИ

В.А. Подольский

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65
E-mail: vladimirsk2007@yandex.ru

Я.А. Туровский

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65
E-mail: yroslav_turovsk@mail.ru

А.В. Алексеев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный университет»
Россия, 394018, Воронеж, Университетская площадь, 1
E-mail: a_v_alekseev@bk.ru

А.И. Михальский

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65
E-mail: ipuran@yandex.ru

Ключевые слова: человеко-машинный интерфейс, машинное обучение, привилегированная информация.

Аннотация: В современном мире все большую важность приобретают системы, обеспечивающие взаимодействие человека и машины – человеко-машинные интерфейсы. Качество работы таких интерфейсов складывается из двух составляющих: качества исполнения аппаратного содержимого и эффективности алгоритмов обработки входящей информации. В данной работе рассматривается возможность разработки алгоритма распознавания сигналов от человека машине, при использовании дополнительной информации, доступной только на этапе обучения.

1. Введение

Широкое внедрение человеко-машинных интерфейсов (ИЧК) выдвигает ряд задач, для решения которых необходимо разрабатывать новые подходы для анализа и интерпретации информации, получаемой от оператора, для генерации команд роботизированному комплексу. Области применения современных ИЧК простираются от медицинских применений для помощи инвалидизированным людям до военных систем, по-

могая оператору выполнять большее число задач с повышенной точностью. Примерами ИЧК, основанными на различных принципах, являются:

- неинвазивный интерфейс «мозг-компьютер»;
- нейромышечный интерфейс;
- окулографический интерфейс.

Различные интерфейсы используют регистрацию различных физических параметров человека-оператора: электроэнцефалограммы, электромиограммы, движения зрачков, и формируют на основании этого управляющие команды и сигналы управления устройством. Различные интерфейсы подвержены действию различных возмущающих сигналов и фактов. Если влияние технических помех возможно уменьшить путем использования различных фильтров и алгоритмов фильтрации, то возмущения, связанные с особенностями оператора и его состояния, требуют применения специальных методов, учитывающих информацию об операторе, доступную только на этапе разработки алгоритма генерации команд, но недоступную при работе оператора.

2. Учет индивидуальной информации в различных ИЧК

Неинвазивный интерфейс «мозг-компьютер», использующий непосредственное преобразование регистрируемых пространственно-временных электрических сигналов мозга в управляющие команды. Применяется при реабилитации инвалидов с моторными нарушениями различной этиологии; при протезировании верхних и нижних конечностей; управления экзоскелетными решениями. Сложность и многозначность регистрируемого сигнала мозговой деятельности ставят задачу разработки алгоритмов классификации сигналов для генерации команд, учитывающих индивидуальные особенности пациентов. К таким особенностям могут относиться, например, психофизические особенности, проявляющиеся на индивидуальных паттернах не только ЭЭГ, но и ЭКГ, которые легче регистрировать. Причем запись сигнала ЭКГ должна использоваться только при разработке алгоритма генерации команд. При использовании устройства запись ЭКГ не требуется.

Нейромышечный интерфейс использует регистрацию сигналов нейромышечной активности мышечных волокон с помощью поверхностно-закрепляемых датчиков. После регистрации и обработки данных, сигнал пропорционального управления передается к исполнительным механизмам посредством проводного или беспроводного каналов связи, в зависимости от мест размещения датчиков. Наличие сопутствующих мешающих движению состояний, таких как преходящий тремор, мышечная ригидность должны учитываться с использованием специальной аппаратуры на этапе разработки алгоритма, учитывая, что при эксплуатации интерфейса такой аппаратуры не будет.

Окулографический интерфейс основан на бесконтактной регистрации движения глаз. Отслеживая движение глаз устройство определяет, на каких объектах сфокусировано внимание пользователя, положение зрачка и, анализируя паттерны этих движений, формирует команды по выполнению необходимых действий при реабилитации моторных и когнитивных нарушений различной этиологии; управлении экзоскелетными решениями; управлении подвижными объектами; обеспечении взаимодействия пользователей с электронными и электронно-механическими устройствами. Специфическими составляющими, вносящими помехи в работу окулографического интерфейса помимо технических причин, являются переключение внимания оператора на посторонние объекты; произвольные движения глаз в силу привычки или психосоматического состояния. Психосоматическое состояние оператора может определяться и учитываться с

помощью соответствующих тестов и приборных наблюдений на этапе построения алгоритма генерации команд. На этапе работы интерфейса эта информация недоступна.

3. Алгоритм учета скрытой информации при генерации команд

Информация, доступная только на этапе разработки алгоритма генерации команд – этапе обучения, является скрытой информацией на этапе работы алгоритма. В англоязычной литературе такая информация называется привилегированной информацией - privileged information [1]. Суть метода состоит в построении линейного правила классификации – оптимальной гиперплоскости, удовлетворяющей двум ограничениям: минимизации числа ошибок на обучающей выборке и минимизации числа ошибок на выборке, состоящей из элементов скрытой информации. Эта задача решается методами выпуклого программирования и, как и в методе SVM, приводит к построению гиперплоскости с направляющим вектором, лежащим в пространстве опорных векторов. Как и в методе SVM часто удобно решать задачу не в исходном пространстве признаков, а в спрямляющем пространстве, заменяя вычисление скалярного произведения вычислением значения ядра – симметричной, неотрицательно определенной функции, заданной в пространстве пар классифицируемых объектов.

Формально задача бинарной классификации с использованием скрытой информации ставится следующим образом. Пусть X и X^* обозначают пространство признаков классифицируемых объектов и пространство признаков скрытой информации. Обучающая выборка состоит из троек вида $(x_1, x_1^*, y_1, \dots, x_l, x_l^*, y_l)$, где $x_i \in X, x_i^* \in X^*$ – классифицируемый объект и его скрытая информация, а $y_i \in \{-1, +1\}$ – метка класса, $i=1, \dots, l$. Необходимо найти векторы w, w^* и два числа b, b^* решая задачу

$$\frac{1}{2}(w, w) + \frac{\gamma}{2}(w^*, w^*) + C \sum_{i=1}^l [(w^*, x_i^*) + b^*] \rightarrow \min$$

при $C > 0, \gamma > 0$ и $2l$ ограничениях

$$y_i [(w, x_i) + b] \geq 1 - (w^*, x_i^*) - b^*$$

$$(w^*, x_i^*) + b^* \geq 0, i = 1, \dots, l.$$

Параметры C и γ определяются либо по дополнительной контрольной выборке, либо методом скользящего контроля.

4. Учет вариабельности сердечного ритма в качестве источника скрытой информации

Качество работы подобных интерфейсов оценивается в виде показателей скорости и точности передачи команд на устройство-эффектор, т.е. устройство, непосредственно выполняющее те или иные действия по команде пользователя. Однако при таком подходе не учитывается важное свойство эргатических систем – особенности адаптации человека в ходе взаимодействия программно-аппаратной части комплекса и оператора [3, 4]. Для оценки вегетативного статуса испытуемых использовался метод анализа вариабельности сердечного ритма (ВСР). ВСР важный показатель психофизического состояния, характеризующий степень способности оператора спокойно производить управление системой. При значениях ВСР характерных для учащенного сердцебиения оператор теряет контроль над системой и может допускать ошибки, вследствие нестабильного психофизического состояния.

Для выявления индивидуальных особенностей реакции ВСП пользователя на управление самоходным шасси был проведен кластерный анализ показателей времени, в течение которого детектировались нестационарные фрагменты сигнала. Данный показатель был выбран в первую очередь как отражающий суммарное время в ходе которого осуществлялось активное изменение регуляторными системами параметров ВСП. Данные были приведены к нулевому среднему и единичной σ , результаты представлены на рис. 3.

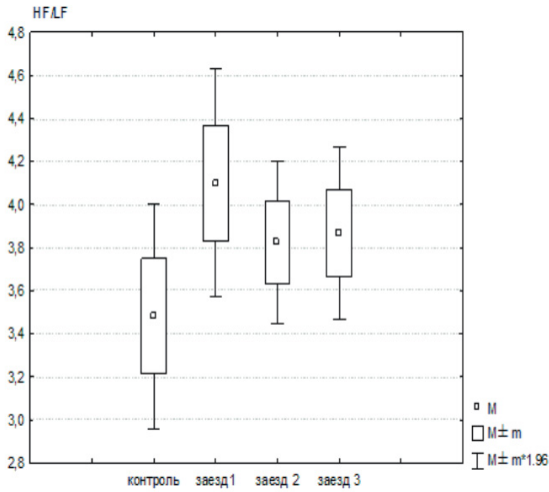


Рис. 1. Динамика отношения СПМ HF/LF в ходе экспериментов.

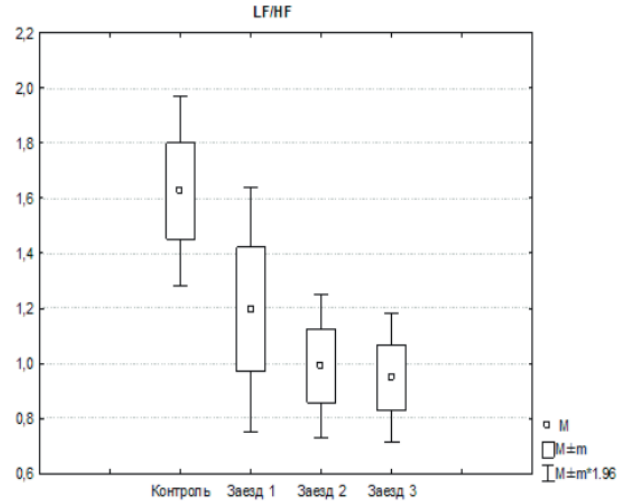


Рис. 2. Отношение времени существования нестационарных фрагментов ВСП в LF и HF диапазонах.

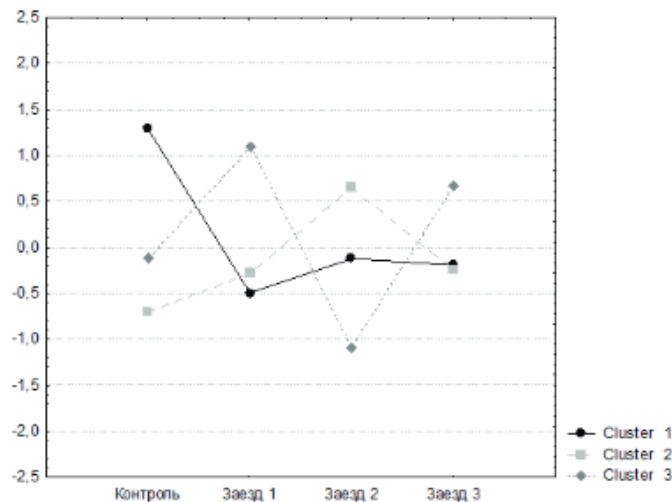


Рис. 3. Результаты кластерного анализа показателя «время нестационарных фрагментов» в контроле и при выполнении заезда самоходного шасси управляемого окулографическим интерфейсом [3].

Отношение LF/HF для времени в течение которого идентифицировались нестационарные фрагменты ВСП для 2-го и 3-го заезда было существенно ниже, чем в контроле, не отличаясь для первого заезда. Иными словами, от заезда к заезду наблюдался рост активности в HF диапазоне по отношению к исходному состоянию.

Динамика отношения суммарной мощности нестационарных фрагментов отражала их снижение их выраженности в LF компонентах в ходе первого заезда. Для после-

дующих заездов отличий выявлено не было, что отражает восстановление баланса HF и LF регуляторных влияний.

Из рис. 3 видно, что разделение на три кластера (15, 8, 9 испытуемых соответственно) продемонстрировало наличие значимо различающихся состояний для контрольной группы ($p < 0.001$), первого и второго заездов ($p < 0.01$) и отсутствие различий в третьем. Для первого кластера характерно снижение в ходе заездов, по сравнению с контролем, времени, в течение которого в картине ВСП присутствовали нестационарные фрагменты, отражающие активные регуляторные влияния.

5. Заключение

В данной работе планируется выявление наиболее ценной привилегированной информации и разработка алгоритма, учитывающего ее при обучении. Под ценной информацией понимаем, ту информацию, которая будет наилучшим образом помогать системе обучаться под управление конкретным пользователем.

Важность данного исследования приведена на примере оценки отличия значений ВСП у операторов технической системы в различных заездах.

По результатам анализа параметров ВСП показано снижение спектральной плотности мощности в HF и LF диапазонах. Отношение LF/HF для времени, в течение которого идентифицировались нестационарные фрагменты ВСП для 2-го и 3-го заезда, было существенно ниже, чем в контроле, не отличаясь для первого заезда.

Кластерный анализ показателей времени, в течение которого детектировались нестационарные фрагменты сигнала, продемонстрировал наличие значимо различающихся состояний для контрольной группы, первого и второго заездов, и отсутствие различий в третьем. Учет различия значений привилегированной информации у операторов позволит системе точнее распознавать сигналы от оператора, учитывая его психофизиологические особенности.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (№19-07-01037).

Список литературы

1. Vapnik V., Vashist A. A new learning paradigm: Learning using privileged information // *Neural Networks*. 2009. Vol. 22. P. 544-557.
2. Туровский Я.А., Кургалин С.Д., Алексеев А.В. Анализ движения глаз человека при управлении автомобилем с использованием системы видеоокулографического интерфейса // *Сенсорные системы*. 2017. Т.31, № 1. С. 51-58.
3. Туровский Я.А., Алексеев А.В. Вариабельность сердечного ритма пользователей видеоокулографическим интерфейсом в процессе обучения управлением автомобилем // *Вестник воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация*. 2017. № 1. С. 118-124
4. Туровский Я.А., Борзунов С.В., Вахтин А.А. Дополнительный канал для оценки эмоциональной динамики человека при работе с нейрокомпьютерным и окулографическим интерфейсами // *Биомедицинская радиоэлектроника*. 2017. № 6. С. 17-26