

УДК: 519.2, 612.087, 621.319.7

Сулавко А.Е, Ковальчук А.С., Семенова З.В., Осипов С.С. (г. Омск)

Идентификация функционального состояния водителей транспортных средств с учетом отклонений наблюдаемой variability сердечного ритма¹

На сегодняшний день при высоком уровне автоматизации процессов управления наблюдается рост ошибок, совершаемых человеком. Проблема «человеческого фактора» особо ярко проявляется в области управления транспортом. По данным Госавтоинспекции МВД в России с января по ноябрь 2016 г. произошло 157108 ДТП, в которых погибло 18490 и ранено 199544 человек, более 80% происшествий этого вида происходит по вине водителей.

Выделяют три ступени контроля или отбора водителей. На первой из них определяются лица, непригодные для вождения транспортных средств. Вторая ступень – предрейсовый контроль. Общую оценку эффективности второй ступени дает статистика: число нетрезвых водителей среди вовлеченных в ДТП составило около 30 % при слабом контроле (сельская местность), 8–10 % при более строгом (областные центры), около 5 % при весьма строгом (Москва). При внезапной проверке группы водителей автобусного предприятия состояние опьянения было обнаружено у 10,8 % из них [1]. Третья ступень – контроль состояния водителя в процессе управления транспортным средством с помощью автоматических средств.

Настоящая работа направлена на разработку метода предрейсового контроля. Предлагается использовать параметры variability сердечного ритма для распознавания опасных для вождения функциональных состояний. Под функциональным состоянием понимается характеристика нейрофизиологических механизмов, обеспечивающих согласованную активность психических, соматических и вегетативных функций в процессе деятельности или поведения человека [2], в совокупности влияющих на его когнитивные способности. В работе [2] выявлена тесная связь между показателями variability сердца, нервной системы и кратковременными изменениями в психической нагрузке, и предложена трехфакторная модель вегетативной регуляции сердечного ритма. На основании данной модели авторы определяют несколько функциональных классов, описывающих основные и промежуточные психофизиологические состояния человека в процессе его жизнедеятельности.

В настоящее время большинство исследователей пользуется стандартами измерений физиологической интерпретации variability сердечного ритма (BCP), предложенными Европейским Обществом Кардиологии и Северо-Американским Электрофизиологическим Обществом. В качестве таких признаков были выбраны:

- показатели мощности спектра кардиоритма в низкочастотном и высокочастотном диапазонах (VLF, LF, HF);

¹ Работа выполнена по заданию и поддержке Министерства образования науки РФ проект № 541 на 2016 год

- полная мощность спектра (TP), мощность спектра кардиоритмы в низкочастотном и высокочастотном диапазонах в процентном отношении к полной мощности (LFo, HFo);
- отношение LF/HF, индекс централизации (IC), «индекс стресса» (ISp);
- средняя частота сердечных сокращений (ChSS);
- среднее значение RR-интервалов (RRsr), среднее квадратическое отклонение RR-интервалов;
- количество пар последовательных интервалов NN, различающихся более чем на 50 миллисекунд (NN50);
- коэффициент вариации (CV), индекс напряжения регуляторных систем (SI), коэффициент автокорреляции RR-интервалов после первого сдвига (C1).

В течение нескольких дней проводился эксперимент по формированию базы указанных признаков с привлечением 60 испытуемых, вводимых поочередно в следующие состояния:

1. Адекватное (или нормальное) состояние, при котором субъект не подвергался каким-либо воздействиям. Эксперимент проводился в начале рабочего дня.
2. Сонное состояние. Для имитации данного состояния участники принимали успокаивающие естественные растительные средства седативного действия, к которым относится пустырник, мята, валериана, и прослушивали успокаивающую музыку.
3. Опьянение. Испытуемый принимал алкоголь, дозировка рассчитывалась по формуле Видмарка. Масса выпитого соответствовала количеству алкоголя в крови, для которого значение концентрации было более 0,5‰. Данный уровень превышает допустимый уровень концентрации алкоголя для водителей транспортных средств в России и приводит к статистически значимым изменениям ВСР.

При распознавании ПФС удобнее использовать стратегию Байеса [3], т.к. при этом не приходится выставлять ряд параметров, характерных для нейросетевого подхода: количество входов нейронов, расстояние Хемминга между генерируемым кодом и верным [4]. Оптимальные значения этих параметров нужно определять отдельно для каждого субъекта, исходя из вычислительного эксперимента, что на практике реализовать проблематично. В режиме верификации водителя эти параметры допустимо задать интегрально для всех пользователей системы, т.к. вероятности ошибок и их разброс для различных субъектов в данном случае значительно ниже, чем в случае распознавания состояний. Интегральные оценки близости предъявляемого на этапе идентификации образца к эталонам ПФС можно получить путем многократного применения правила Байеса [3] за некоторое число шагов, равное количеству признаков. Каждому эталону ПФС субъекта ставится в соответствие своя гипотеза. На каждом шаге по формуле (1) рассчитываются апостериорные вероятности гипотез с учетом значения одного из признаков, при этом за априорную вероятность гипотезы принимается ее апостериорная вероятность, вычисленная на предыдущем шаге. На первом шаге все гипотезы равновероятны $P(H_i|A_0)=n^{-1}$, где n – количество гипотез. На последнем шаге предпочтение отдается гипотезе с максимальной апостериорной вероятностью.

$$P(H_i|A_j) = \frac{P(H_i|A_{j-1})P(A_j|H_i)}{\sum_{i=1}^n P(H_i|A_{j-1})P(A_j|H_i)} \quad (1)$$

где $P(H_i|A_j)$ – апостериорная вероятность i -й гипотезы, вычисляемая на j -м шаге при поступлении j -го признака, $P(A_j|H_i)$ – условная вероятность i -й гипотезы на j -м шаге (равна плотности вероятности признака A_j , полученной из параметров i -ого эталона).

Проведен вычислительный эксперимент, в ходе которого биометрические данные 60 испытуемых, полученные в нормальном (адекватном) состоянии, а также состоянии сна (после употребления снотворного) и легкого алкогольного опьянения (концентрация алкоголя в крови от 0,5‰ до 1‰) подавались на вход методу последовательного применения формулы гипотез Байеса. Имитировался процесс распознавания указанных ПФС субъектов.

Идентификация ПФС осуществлялась отдельно для каждого испытуемого по вектору значений признаков, получаемому из одного образца биометрических данных, под которыми подразумевается 5 минут записи ЭКГ. Для обучения сети использовалось по 21 кадру (вектору значений признаков), по аналогии с требованием стандарта ГОСТ Р 52633.5-2011 по обучению сетей перцептронов [4]. Для каждого испытуемого подсчитывалось количество ошибок. За ошибку принималась ситуация, когда неверная гипотеза имела максимальную апостериорную вероятность на последнем шаге принятия решений стратегии Байеса. Вероятность ошибки для каждого субъекта вычислялась как отношение числа ошибок на последнем шаге стратегии Байеса к общему количеству опытов. Количество ошибок идентификации ПФС в зависимости от используемых признаков для различных субъектов составило от 1,6% до 14,7%.

Для повышения вероятности верного распознавания ПФС планируется комплексировать признаки ВСР с параметрами тепловых изображений лиц.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ротенберг Р.В. Основы надежности системы водителя– автомобиль– дорога–среда. – М.: Машиностроение, 1986. – 216 с.
2. Машин В.А., Машина М.Н. Классификация функциональных состояний и диагностика психоэмоциональной устойчивости на основе факторной структуры показателей вариабельности сердечного ритма. Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова, 2004, Т. 90, № 12, с. 1508-1521.
3. Васильев В.И., Ложников П.С., Сулавко А.Е., Жумажанова С.С. Оценка идентификационных возможностей биометрических признаков от стандартного периферийного оборудования // Вопросы защиты информации / ФГУП «ВИМИ». - Москва: 2016, №1, С. 12-20.
4. Язов Ю.К. и др. Нейросетевая защита персональных биометрических данных. //Ю.К.Язов (редактор и автор), соавторы В.И. Волчихин, А.И. Иванов, В.А. Фунтиков, И.Г. Назаров // М.: Радиотехника, 2012 г. 157 с. ISBN 978-5-88070-044-8.

Статья поступила 03.12.2016, опубликована 17.12.2016
по положительной рецензии д.т.н. Иванова А.И.