

Мониторинг биофизического состояния лиц с инвалидностью в процессе передвижения на управляемых взглядом колясках

Аннотация

Рассмотрены проблемы, возникающие при создании управляемых взглядом роботизированных средств передвижения. Предложен подход к созданию роботизированных инвалидных колясок, включающий в себя учет погрешностей айтрекинга, выбор нейросетевой модели и мониторинг критических состояний лиц с инвалидностью. Произведен обоснованный выбор эффективной системы контролируемых психофизиологических параметров и современного оборудования для оснащения управляемой взглядом роботизированной коляски с использованием современных мобильных средств для мониторинга критических состояний. Рассмотрены способы контроля параметров состояния обследуемого, влияющих на процесс управления коляской, с целью предотвращения возникновения опасных и аварийных ситуаций.

Введение

Актуальность проведения теоретических исследований и внедрения практических разработок в направлении совершенствования технических средств повышения мобильности и улучшения качества жизни лиц с ограниченными возможностями здоровья (ОВД), в том числе в направлении улучшения медицинского контроля психофизиологических параметров их биофизического состояния, в настоящее время ни у кого не вызывает сомнений. Особенно это важно для лиц с нарушениями функций опорно-двигательного аппарата (НОДА) [1] с целью повышения безопасности их передвижения на роботизированных колясках с современными средствами управления.

В Московском государственном гуманитарно-экономическом университете в настоящее время более 50 % обучающихся составляют лица с ОВД, структура основных и сопутствующих заболеваний представлена на *рис. 1а и б* [2].

При этом почти 70 % всех обучающихся составляют студенты с ДЦП, а у лиц с НОДА часто встречаются сопутствующие нарушения моторики рук. Поэтому на базе МГГЭУ создана и успешно функционирует современная научно-исследовательская лаборатория функциональной диагностики [3], коллектив которой, в содружестве с НИИ им. Курчатова, решает актуальную проблему совершенствования управляемых взглядом роботизированных средств передвижения лиц с ОВД и создания методов и средств мониторинга возникновения критических состояний.

Создание управляемых взглядом роботизированных мобильных систем с отслеживанием опасных и критических состояний, основанных на применении искусственного интеллекта, – современное и эффективное направление в социализации и реабилитации людей с инвалидностью и ОВЗ. При этом применение именно метода глазоуправления роботизированной коляской, или айтрекинга, имеет целый ряд преимуществ перед другими методами, в частности, когда речевое управление невозможно или если у человека отсутствуют необходимые

двигательные функции. В настоящее время активно ведутся разработки интерфейса мозг-компьютер, но пока они слишком сложны технически, дороги и далеки от массовой реализации. Распознавание глазных жестов наиболее эффективно при разработке роботизированной инвалидной коляски, так как позволяет реализовать интерфейс без монитора, использование которого дает меньший угол обзора и менее удобное управление.

Недостаток же применения методов обнаружения результатов айтрекинга заключается в том, что передаваемые управляющим механизмам параметры необходимо постоянно корректировать на основе оценки точности передаваемых данных о движении глаз конкретного испытуемого. Оценка точности измерения координат положений взгляда айтрекером в режиме онлайн является сложной задачей, поскольку его данные зачастую получают в условиях, характеризующихся различными видами помех и случайных событий.

Методы и модели

Решение данной проблемы возможно с использованием методов машинного обучения для классификации данных в условиях ограничения массивов данных значений определенных параметров.

Рассмотрим обобщенный алгоритм мониторинга критических состояний в процессе проведения айтрекинга. Перед началом исследования производится калибровка айтрекера стандартными аппаратно-программными средствами. Затем на зрачок испытуемого поступает свет ближнего инфракрасного излучения, который улавливается видеокамерой считывания отраженного сигнала айтрекера. По результатам программно-алгоритмической фильтрации и коррекции отклонений определяются координаты текущего положения взгляда, с учетом которых производится управление роботизированной коляской, в процессе которого постоянно отслеживаются и анализируются биофизические параметры: при обнаружении фактов критических состояний активизируется механизм тор-

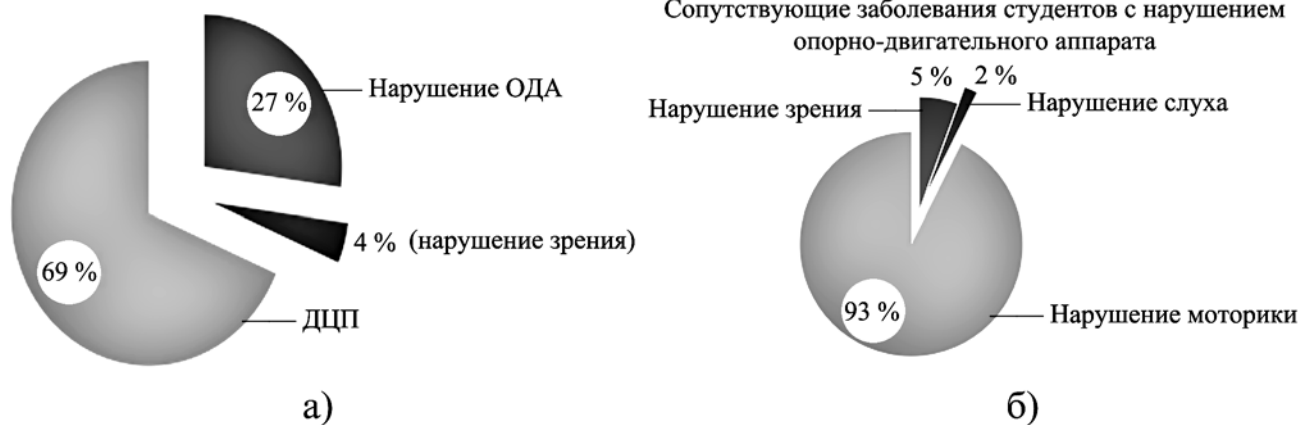


Рис. 1. Структура заболеваний студентов: а) основных; б) сопутствующих

можения. Данные о положении взгляда, полученные при помощи айтрекеров, работающих на различных платформах, часто бывают зашумлены множеством факторов, вызванных нестабильностью положения головы, расстояния до пользователя, изменениями освещения, свойствами дисплея и окклюзией, которые являются источниками последующих ошибок управления. Влияние этих недостаточно изученных факторов на данные айтрекинга приводит к ошибкам оценки положения взгляда, снижающим точность глазууправления.

Процесс реализации предлагаемого подхода включает в себя следующие этапы:

- 1) создание программы сбора данных айтрекинга с учетом списка распознаваемых жестов и погрешностей различного вида;
- 2) обеспечение графического вывода собранных результатов айтрекинга;
- 3) создание базы данных айтрекинга, выбор и обучение модели взглядоуправления на основе применения глубинных ИНС;
- 4) выбор параметров и системы критериев критических состояний;
- 5) создание базы данных психофизиологических параметров, выбор и обучение модели определения критических состояний на основе применения нечеткой логики;
- 6) проверка работы реализованной модели на реальном образце роботизированной инвалидной коляски в различных условиях ее эксплуатации;
- 7) расширение списка распознаваемых жестов и коррекция алгоритмов взглядоуправления и анализа критических состояний.

Рассмотрим подробнее этапы обработки данных айтрекинга, которые обобщенно представлены на рис. 2.

С целью подготовки данных к задачам обучения ИНС координаты положения взгляда (значения X и Y в пикселях) необходимо преобразовать во фронтальные углы взгляда и углы сдвига и тангажа взгляда. Необработанные координаты взглядов левого и правого глаз ($X_{лев}$, $Y_{лев}$ и $X_{прав}$, $Y_{прав}$), полученные от айтрекера, используются для оценки угла взгляда и углов сдвига взгляда [4]:

$$GazeX = \text{mean} \left(\frac{X_{лев} + X_{прав}}{2} \right);$$

$$GazeY = \text{mean} \left(\frac{Y_{лев} + Y_{прав}}{2} \right).$$

Расстояние дисплея (RD) – это расстояние на экране между началом координат и определенной точкой взгляда с координатами (G_x , G_y). Например, если трекер прикреплен непосредственно под экраном, а источником координат является центр экрана, получаем выражение

$$RD = p \sqrt{(G_x)^2 + (G_y)^2},$$

где p – шаг пикселя дисплея, мм/пиксель.

Важной проблемой при реализации концепции роботизированных средств передвижения, управляемых взглядом, является выбор наиболее эффективной структуры ИНС и опти-

мизация алгоритма ее обучения. Для экспериментального обеспечения данного исследования в МГГЭУ создана уникальная база данных и результатов распознавания зрительных жестов.

В ходе предобработки данные приводятся к нормализованному виду, упорядочиваются, проводится проверка на ошибки записи и хранения. При выборе ИНС анализируются четыре подхода, которые можно использовать совместно в виде суперпозиции, аддикции или мультипликации для повышения качества выходных предсказаний. Предложено использовать методы:

- 1) KNN, K Nearest Neighbor – метод k -ближайших соседей;
- 2) SVM, Support Vector Machine – метод опорных векторов;
- 3) CNN, Convolution Neural Network – сверточная нейронная сеть (СНС);
- 4) RNN, Recurrent Neural Network – рекуррентная нейронная сеть.

Так как обработка данных происходит в потоковом режиме, предсказания нейросети (распознанные управляющие команды) накапливаются некоторое время, после чего принимаются решения о действиях, нужных пользователю.

Анализ современных достижений в области ИИ показал, что наилучшие результаты в области распознавания движений глаз показала СНС, применение которой обеспечивает возможность учета двумерной топологии изображения.

Глубинные нейронные сети, в том числе и сверточные, обеспечивают частичную устойчивость к изменениям масштаба, смещениям, поворотам, смене ракурса и другим пространственным искажениям за счет объединения современных архитектурных решений. В настоящее время СНС считаются лучшими по точности и скорости алгоритмами нахождения объектов на плоскости, что целесообразно использовать, например, при определении позиций зрачка глаза. В среднем точность распознавания таких сетей превосходит обычные ИНС на 10...15%. Именно поэтому авторами применена СНС с обучением по алгоритму обратного распространения ошибки.

Результаты

База данных отслеживания взгляда формировалась в ходе экспериментов в разных условиях эксплуатации с использованием web-платформ, настольного компьютера и планшета. Собранные данные обрабатывались с использованием статистических методов, затем поступали в модели машинного обучения. Изображение сигнала айтрекера представлено на рис. 3а.

Разработано программное обеспечение на языке python3, которое интегрирует и сохраняет с расширением .csv данные, такие как: «свайп» (сдвиг), перемещение с левой части экрана в правую и «gandom teleport» (случайный шум). Графический вывод собранных данных в динамическом режиме показывает расположение исполняемой точки и положения глаз (рис. 3б).

В дальнейшем полученные экспериментальные данные загружались в СНС для ее обучения. Проверку работы модели ИНС на реальном образце роботизированной коляски необходимо провести на большом количестве лиц с НОДА. В перспективе планируется расширить список распознаваемых жестов: например, отслеживать круговое движение глаз, обратный свайп и т. п.



Рис. 2. Основные этапы обработки результатов айтрекинга

С целью выбора наиболее эффективных и практически реализуемых способов определения критических состояний в процессе передвижения на роботизированной коляске был проведен анализ современных технических средств мониторинга состояния операторов с инвалидностью.

Диагностика состояния обследуемого, проводимая при его передвижении на инвалидной коляске, существенно отличается от таковой в других ситуациях. Главной характеристикой критического состояния при управлении коляской является жесткое ограничение по времени, так как помимо индивидуальных физиологических нарушений резко повышается вероятность возникновения аварийных ситуаций, которые могут навредить окружающим. Обычные темпы диагностики при этом неприменимы, требуется использование специальных ускоренных алгоритмов обнаружения критических состояний и интенсивных методик их устранения [5]. В этих условиях алгоритм принятия решений должен базироваться на объективных критериях анализа состояния человека [6].

На основе проведенного аналитического обзора сделан обоснованный выбор системы параметров мониторинга, характеризующих психофизиологическое состояние оператора-колясочника с инвалидностью, а также определены возможности их комплексной визуализации [7] в реальном масштабе времени для беспроводной передачи на центральный пульт оператора.

На следующем этапе проанализированы передовые технические решения и выбрано серийно выпускаемое оборудование, удобное для длительного применения и наиболее полно отражающее основные параметры жизнедеятельности, которые позволяют обнаруживать возникновение критических со-

стояний лиц с ОВЗ в процессе управления ими инвалидной коляской, а именно:

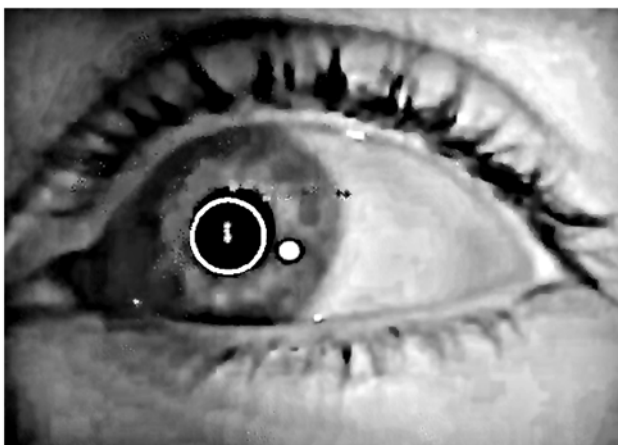
- смарт-часы «Mason A4100» [8], обеспечивающие мониторинг артериального давления, измерение и контроль пульса, слежение за функцией дыхания, контроль стресса, оценку плетизмограммы и анализ ЭКГ;
- 8-канальная гарнитура «Нейроплей-8S» [9] с удобной схемой отведения с сухих электродов для передачи ЭЭГ по каналу Bluetooth (рис. 4а).

Смарт-часы «Mason A4100» разработаны как устройство, использующее аппаратное обеспечение в качестве строительных блоков, что обеспечивает гибкость в создании и настройке прибора в соответствии с требуемыми исследовательскими задачами (рис. 4б).

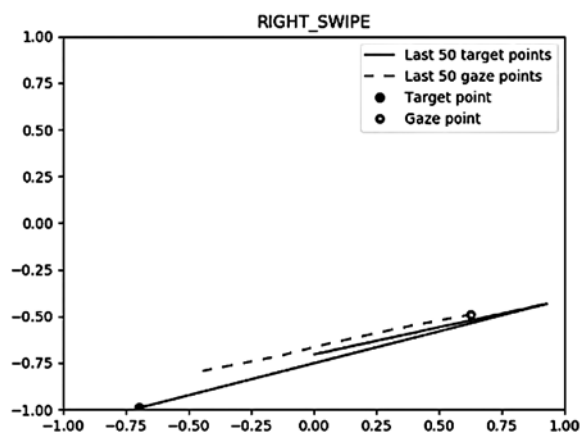
Заключение

Гарнитуру «Нейроплей-8S» можно использовать для биоуправления в режиме «интерфейс мозг-компьютер» [10], нейрорепилотирования и мониторинга внимания, например при обучении айтрекингу, а также для тренировки поддержания активного состояния у людей с высоким уровнем стресса и нарушениями внимания. К преимуществам выбранного оборудования для мониторинга относятся доступная цена и беспроводная передача данных.

В дальнейших исследованиях необходимо применять различные стратегии искусственного интеллекта в сочетании с современным оборудованием слежения за состоянием жизненно важных функций лиц с ОВЗ, передвигающихся на роботизированных колясках, что поможет существенно изменить качество жизни людей с инвалидизацией. Особенно важным яв-



а)



б)

Рис. 3. Результаты: а) сигнал айтрекинга; б) траектория движения взгляда



а)



б)

Рис. 4. Средства мониторинга: а) «Нейроплей-8S»; б) «Mason A4100»



ляется практическое применение предлагаемого подхода для приложений, которые используют алгоритмы классификации движения глаз для управления движущимся объектом, а именно роботизированной инвалидной коляской.

Список литературы:

1. Петрунина Е.В., Истомина Т.В., Копылова Е.В. и др. Исследовательская кибер-биофизическая система для когнитивной адаптации лиц с ОВЗ // Математические методы в технологиях и технике. 2021. № 7. С. 68.
2. Nikolsky A.E., Petrunina E.V., Istomina T.V. Modern methods and means of rehabilitation and social adaptation (Physical and rehabilitation medicine). – LAMBERT Academic Publishing, 2019.
3. Istomina T.V., Petrunina E.V. et al. A system of the processing, monitoring of results and biofeedback training // Information Technology in Medical Diagnostics III Metrological Aspects of Biomedical Research. – London, UK: Taylor & Francis Group, 2021.
4. Kar A. MLGaze: Machine Learning-Based Analysis of Gaze Error Patterns in Consumer Eye Tracking Systems // Vision. 2020. № 4 (2). P. 25.
5. Domik G.O. The role of visualization in understanding data / Lecture notes on computer science «New trends and result in computer». – Springer Verlag, 1993.
6. Зильбер А.П. Медицина критических состояний: общие проблемы. – Петрозаводск: Изд-во ПГУ, 1995. 360 с.
7. Kaufman A.E., Nielson G.M., Rosenblum L.J. The visualization revolution // IEEE Comp. Graph. & Appl. 1993. Vol. 13. № 4. PP. 16-17.
8. Официальный сайт «Wearable Technologies» / <https://www.wearable-technologies.com/2021/10/mason-unveils-the-first-ever-customizable-smartwatch-for-patient-monitoring-hospitality-or-safety/> (дата обращения: 25.04.2022 г.).

9. Официальный сайт «Нейроботикс» / <https://neuroassist.tech/nejgorlej-8s/> (дата обращения: 22.04.2022 г.).

10. Модель нейрогартитуры. Официальный сайт «Нейроботикс» / <https://neuroassist.tech/neuroplay-8c-pro/> (дата обращения: 22.04.2022 г.).

Татьяна Викторовна Истомина,
д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник,
центр сопровождения научных исследований,
ФГБОУ ВО «Пензенский государственный
технологический университет»,
г. Пенза,
профессор,
кафедра основ радиотехники,
НИУ «Московский энергетический институт»,
Елена Валерьевна Петрунина,
канд. техн. наук, доцент,
кафедра «Информатика
и информационные технологии»,
ФГАОУ ВО «Московский политехнический
университет»,
Елена Владимировна Копылова,
канд. техн. наук, доцент,
кафедра основ радиотехники,
НИУ «Московский энергетический институт»,
Эльмин Вагифович Байрамов,
канд. педагог. наук, доцент,
кафедра «Информатика
и информационные технологии»,
ФГАОУ ВО «Московский политехнический
университет»,
г. Москва,
e-mail: istom@mail.ru

С.М. Яцун, А.С. Яцун, А.Н. Рукавицын

Разработка подходов к созданию медицинского мехатронного подъемника для перемещения маломобильных пациентов

Аннотация

Описаны подходы к разработке вспомогательного медицинского устройства для подъема и перемещения пациентов с ограниченными физическими возможностями. Описана методика расчета мехатронного привода медицинского подъемника, приведены результаты численного моделирования динамического поведения исполнительного органа разрабатываемого устройства.

Введение

В современных условиях эффективность процесса реабилитации и качественного ухода за маломобильными пациентами требует не только наличия соответствующих средств, например медицинских экзоскелетов, но и применения вспомогательных технических устройств, облегчающих работу медицинских работников. Уход за маломобильными пациентами сопровождается чрезмерной физической нагрузкой для обслуживающего персонала, поскольку во время работы приходится поднимать, перемещать пациента, находиться в вынужденной позе в течение длительного времени и, как следствие, подвергать большим нагрузкам опорно-двигательный аппарат (ОДА) и особенно позвоночник [1]-[3]. Боли в спине, которые ощущают медицинские сотрудники, выполняющие работы по перемещению не способных к самостоятельному передвижению пациентов, становятся «эпидемией здравоохранения». Такие нагрузки влекут за собой рост заболеваемости ОДА у сотрудников, а травматизм в медицине становится выше, чем в остальных отраслях труда [4].

До последнего времени физическим нагрузкам, которые испытывают медицинские сестры лечебно-профилактических учреждений, не придавалось должного значения. Особенно велики нагрузки у персонала, работающего с пациентами, лишенными возможности передвигаться самостоятельно. Для минимизации риска нанесения ущерба своему здоровью в процессе реализации трудовой деятельности сотрудники должны использовать специальные вспомогательные средства для перемещения пациентов.

Материалы и методы

Под перемещением пациента следует понимать комплекс мероприятий по безопасной как для пациента, так и для медперсонала перемещению первого в пространстве. Основными причинами возникновения болей в позвоночнике у медперсонала при выполнении данных операций являются подъем неадекватно тяжелого груза и нарушение эргономики перемещения пациента. Транспортировка и уход за лицами с ограниченными физическими возможностями всегда сопряжены с определенными рисками и возлагают на медицинский