

РАЗРАБОТКА АППАРАТНОЙ ЧАСТИ КОМПЛЕКСА «LIMBTRACKER» БЕСПРОВОДНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПК ДЛЯ ЛЮДЕЙ С НАРУШЕНИЕМ ДВИГАТЕЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ

Т.Н. Иванилова, М.А. Днепровская, А.В. Кушнеров, С.А. Чичиков

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева», Красноярск, Россия

Процесс восстановления (реабилитации) после врожденной или приобретенной патологии центральной нервной системы или двигательных функций часто достаточно длителен и сложен. Привлечение к решению проблем медицинской реабилитации современных информационных технологий является эффективным способом, особенно в случае создания комплекса, в котором пациент будет активно вовлечен в процесс реабилитации посредством компьютерных систем.

Целью исследования является разработка программно-аппаратного комплекса, который позволит превратить любой сустав тела в компьютерную мышь, тем самым управлять компьютером и решать задачи реабилитации. Разрабатываемый программно-аппаратный комплекс предназначен для повышения эффективности реабилитации больных неврологического профиля, а также людям с ограниченными возможностями здоровья I и II группы.

В статье представлены результаты этапа реализации аппаратной части комплекса «Limbracker», разрабатываемого на основе идеи профессора, д.м.н. С.В. Прокопенко. На начальном этапе разработки комплекса было сформировано техническое задание. Корпус устройства и внутреннее расположение компонентов было смоделировано в 3D – редакторе. Разрешена проблема оптимального выбора аппаратных и программных средств, обеспечивающих реализацию проекта с минимальными затратами времени и средств. Реализована схема устройства «Limbracker». Реализован финальный прототип устройства.

Образец состоит из пластикового корпуса, микроконтроллера STM32F103, датчика ориентации в пространстве MPU-9250, содержит литий-ионный аккумулятор. Компьютер принимает команды и отслеживает движения по модулю беспроводной связи NRF24L01. Таким образом, разработанная аппаратная часть комплекса позволяет считывать показания с устройства, вычислять ориентацию в пространстве и как итог управлять персональным компьютером без манипулятора мышь, изменять чувствительность датчиков, тем самым корректировать процесс реабилитации пациентов.

При создании комплекса применены современные информационные технологии конструирования и организации данных, которые ранее не использовались для задач медицинской дистанционной реабилитации. Используемая компонентная база устройства и применяемые программные технологии позволяют сформировать значительно более низкую стоимость в сравнении с аналогами, возможность использования в домашних условиях без помощи специалистов.

Ключевые слова: программно-аппаратный комплекс, домашняя реабилитация, нейрореабилитация, STM32, микроконтроллер, проектирование устройства, MPU9250.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время увеличивается число людей, имеющих врожденную или приобретенную патологию центральной нервной системы или двигательных функций (люди с ограниченными возможностями здоровья). Реабилитация после таких болезней, как инсульт, черепно-мозговая травма, болезнь Паркинсона и др. осуществляется с помощью известных клинических методик: трудотерапия, медикаментозное лечение, массажи, лечебная физкультура, но как показывает практика, этих методов реабилитации бывает недостаточно [1]. С активным развитием информационных технологий большое значение приобретает реабилитация посредством вовлечения людей с ограниченными возможностями здоровья и нарушением центральной нервной системы к полноценному использованию компьютера.

Качество медицинской реабилитации во многом определяет качество жизни и место пациента в

социуме. Именно поэтому задача повышения эффективности реабилитации посредством информационно-коммуникационных технологий в сравнении с текущими практиками не теряет актуальности, а наоборот только увеличивается [2].

Полная реабилитация пациентов занимает от двух месяцев до нескольких лет. Причиной долгого восстановления является ограниченное время нахождения пациента в клинике, а также в снижении мотивации пациента за счет однообразия выполняемых им упражнений [3]. Реабилитологи Красноярского края считают, что пациент должен быть вовлечен в процесс реабилитации не только в клинике, но и в своей повседневной жизни в условиях, максимально приближенных к реальному миру.

По данным сайта службы государственной статистики <https://rosstat.gov.ru/> [4] в последние годы становится все больше людей молодого возраста, у которых выявлены нарушения сенсорных и опорно-двигательных функций организма, поэтому

актуальность разработки программно-аппаратного комплекса для реабилитаций значительно повышается. Таким пациентам компьютер особенно необходим в целях реабилитации, ведь пока не заработает мышечный аппарат, они не смогут выполнить и простейших двигательных функций. Предлагаемое решение ускорит процесс и повысит эффективность реабилитации в несколько раз.

Разрабатываемый программно-аппаратный комплекс «LimbTracker» (далее – комплекс) также можно использовать в задачах, связанных с управлением персональным компьютером (ПК) для людей с ограниченными возможностями здоровья.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Первая область назначения комплекса – развить коммуникации у людей с ограниченной возможностью здоровья (двигательных функций) I и II групп, при невозможной реабилитации. Пациенту такое устройство необходимо для выполнения повседневных задач, он сможет общаться, работать, учиться. Даже если у пациента не будет возможности работать верхними или нижними конечностями, то будет возможность это делать через ПК.

Вторая область использования заключается в реабилитации больных неврологического профиля, а именно: для занятий по разработке движений верхних и нижних конечностей, как в клинике, так и в домашних условиях. Благодаря создаваемому программно – аппаратному комплексу пациент может самостоятельно дома интенсивно тренировать сустав и такой метод восстановления после травм или перенесенных заболеваний (например, инсульт) может быть эффективнее примерно в несколько раз, чем выполнения упражнений в клинике. В устройстве «LimbTracker» реализована возможность настраивать чувствительность датчика. На начальных этапах, при ограниченно двигающемся суставе одно небольшое движение приводит к значительному смещению курсора. В дальнейшем пациенту необходимо будет приложить больше усилий, чтобы также переместить курсор для функционального восстановления сустава.

Устройство (аппаратная часть комплекса) может быть закреплено на любой сустав человека, например, как показано на рисунке 1, оно крепится на плечевой сустав, и человек, двигая плечом, перемещает курсор по экрану. Остановка сустава приблизительно на 3-5 секунд равнозначна нажатию основной кнопки мыши («Готово»). С помощью закрепленного устройства на суставе можно: работать на компьютере, писать письма, обучаться.

Перечислим функциональные возможности для реализации в комплексе «Limbtracker»:

– управление курсором мыши персонального компьютера с помощью устройства, закрепленного на суставе человека;

– изменение чувствительности датчиков «Limbtracker» под индивидуальную программу реабилитации человека;

– оценка правильности выполнения реабилитационных упражнений пациентом;

– формирование цифрового следа активности пациента для фиксации хода процесса реабилитации с целью дальнейшего использования и корректировки программы восстановления;

– возможность использования «Limbtracker» без посторонней помощи в домашних условиях.

Эти функции отсутствуют в известных аналогах [5,8,10].



Рис. 1. Пример использования программно-аппаратного комплекса

Создание программно - аппаратного комплекса разделяется на этапы:

1. Разработка технического задания.
2. Разработка функциональной схемы устройства.
3. Разработка печатной платы.
4. Выбор комплектующих компонентов.
5. Разработка микропрограммного обеспечения контроллера STM32.
6. Сборка прототипа устройства.
7. Отладка устройства.
8. Разработка программного обеспечения (ПО) для ПК расширяющее функционал комплекса.
9. Тестовая эксплуатация программно-аппаратного комплекса.
10. Коммерциализация проекта.

АНАЛИЗ АНАЛОГИЧНЫХ РЕШЕНИЙ

В настоящее время на территории Российской Федерации такого программно-аппаратного комплекса не существует. Существующие зарубежные аналоги, например, виртуальной реальности YouGrabber (Швейцария), система Jintronic (Канада), OpenSesame (Израиль), или не выполняют необходимых функций при использовании, или имеют очень высокую стоимость [5, 6].

Людам с ограниченными возможностями здоровья необходима активная работа с современными информационно-коммуникационными технологиями, что даёт возможность получить основное образование, закончить профессиональное обучение, а также трудоустроиться. Без серьезной государственной поддержки обеспечение доступа к информационным ресурсам так и остается нерентабельным. Все отечественные производители, рано или поздно, сталкиваются с проблемой экономической целесообразности производства технических средств для реабилитации пациентов и людям с ОВЗ [7].

Существуют различные методики реабилитации на основе компьютерных игр. Например, с использованием сенсорных перчаток «SensoReHab» [8], которые разработали специалисты г. Красноярск. Комплекс представляет собой набор компьютерных игр, направленных на развитие двигательных функций кисти пациентов после инсульта. Занятия с сенсорной перчаткой осуществлялись следующим образом: пациент надевает на паретичную руку сенсорную перчатку, которая представляет собой набор 5 гибких датчиков сгиба, реагирующих на движения (сгибание и разгибание) пальцев, перчатка соединяется через USB – кабель с персональным компьютером [9]. Метод восстановления функции кисти с использованием сенсорной перчатки у пациентов, показал себя эффективным в нейрореабилитации. Но ряд пациентов, которые были не в состоянии выполнить даже простейшие двигательные требования и теряли интерес к игре.

Другая аналогичная система «Траст М» предназначена для диагностики осанки, объективной оценки эффективности проводимого лечения и для восстановления функции равновесия с помощью метода биологической активной связи [10]. Система близка по внутренним компонентам, габаритам и каналам передачи данных к разрабатываемому комплексу «LimbTracker». Комплекс «Траст М» создан для проведения полного цикла восстановления опорно-двигательных функций человека в клинических условиях под наблюдением специалиста [11]. У комплекса «Траст-М» есть ряд недостатков: невозможность использовать систему для реабилитации в домашних условиях, так как она предназначена для реабилитации в клинике, высокая стоимость оборудования (от 1 000 000 рублей) и обязательная помощь специалиста.

Наше устройство предполагает возможность использования на любом суставе человека, что существенно увеличивает количество пользователей данного устройства. В сравнении с аналогами программно-аппаратный комплекс будет иметь значительно более низкую стоимость, возможность использования вне клиники и без помощи специалистов, как следствие, возможно, применять не

только для реабилитации, но и для людей с инвалидностью в действиях по управлению компьютером.

КОМПОНЕНТНАЯ БАЗА

Прогресс микроэлектронных технологий дал разработчикам современных систем управления большой перечень разнообразных моделей микропроцессоров и микроконтроллеров, которые отличаются производительностью, стоимостью, функциональными возможностями и другими характеристиками. На этой элементной базе многие производители аппаратуры разработали и предлагают пользователям различные варианты конструктивно-законченных управляющих модулей, которые используются для реализации систем различного назначения [12, 13]. Перед разработчиками подобных систем возникает проблема оптимального выбора аппаратных и программных средств, обеспечивающих реализацию проекта с минимальными затратами времени и средств.

Аппаратная часть комплекса состоит из плат, на которых находится микроконтроллер, датчик (3-х осевой акселерометр, 3-х осевой гироскоп и 3-х осевой магнитометр), контроллер беспроводной связи, батарея. Технические параметры устройства находятся внутри пластикового корпуса с прикрепленным к нему эластичным фиксирующим ремешком. Датчик определяет движение конечности в пространстве, и преобразует в данные для управления персональным компьютером. Разработка программного кода для микроконтроллера ведется на высоком языке программирования C. Различные функции C делают язык оптимальным выбором для программирования микроконтроллера [14]. Разрабатываемое программное обеспечение для ПК используется высокоуровневые языки Python и C#.

В качестве программатора-отладчика выбрана среда Keil uVision5. Keil является наиболее универсальной средой разработки для приложений на базе микроконтроллеров ARM. Keil включает в себя все стадии разработки приложения на базе ARM C/C++ компилятор, операционную систему CMSIS-RTOS RTX и среду разработки uVision с отладчиком [15].

uVision простая в использовании интегрированная среда разработки фирмы Keil, она позволяет не посредственно вызывать симулятор или внутрисхемный эмулятор и содержит большой набор инструментальных опций: device Database - интеллектуальная база данных; project Management - управление проектами; source Code Editor - интегрированный редактор; building Projects - автоматическая генерация проекта; integrated Utilities - средства, облегчающие создание проекта [16].

Конфигурация периферии микроконтроллера STM32 задана при помощи STM32 CubeMX и

итоговый проект уже экспортирован в MDK. STM32CubeMX является визуальным графическим редактором для конфигурирования микроконтроллеров семейства STM32, позволяющим генерировать код на основе языка C [17].

В устройстве необходимо реализовать следующие функции:

1. Считывание показаний с датчика устройства.
2. Фильтрация показаний и вычисление ориентации в пространстве.
3. Передача данных посредством беспроводной радиосвязи через bluetooth - universal serial bus (usb) на компьютер.
4. Изменение координат курсора согласно данным об ориентации устройства.
5. Возможность настройки чувствительности датчика.
6. Формирование и отправка отчетов об активности пациента.

Для реализации перечисленных функций выбран микроконтроллер STM32 и MEMS-микросхема MPU-9250.

STM32 - семейство 32-разрядных микроконтроллеров фирмы STMicroelectronics, в основе которых лежат микроконтроллеры на базе ARM процессора, различные модули, периферия и программные решения (IDE) [18].

Перечислим преимущества выбранных решений перед аналогами:

1. Эффективность энергопотребления.
2. Многофункциональная периферия (USB 2.0, DMA, CAN, RTC, UART).
3. Режим реального времени.
4. Возможность максимальной интеграции.
5. Удобный и понятный инструментарий разработки.
6. Большой выбор микроконтроллера STM32.
7. Невысокая стоимость (2-4\$) [19].

Модуль на базе микросхемы MPU-9250 содержит трёхосевой гироскоп, трёхосевой акселерометр и трёхосевой магниторезистивный компас. Эти компоненты позволят определить ориентацию в пространстве [20]. Модуль MPU-9250 подключается к плате STM32 посредством шины I2C, который необходимо обеспечить электропитанием [21]. На рисунке 2 представлена схема компонентов устройства, где DC/CH – источник питания и контроллер заряда батареи; BAT – аккумулятор; IMU – датчик ориентации; CPU – микроконтроллер; RF – модуль радиосвязи; . USB – порт.

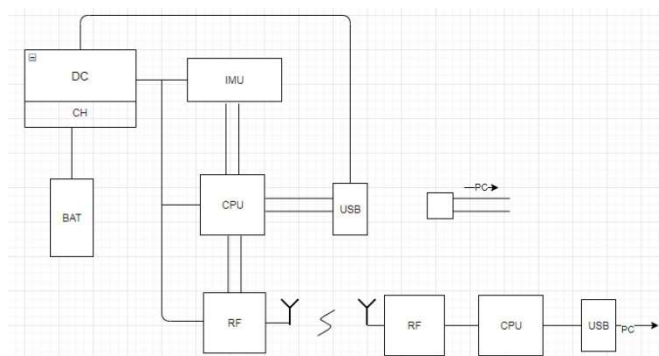


Рис. 2 Схема устройства Limbtracker

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА

Все программно-аппаратные комплексы управления широко используют микропроцессоры и микроконтроллеры. Микроэлектронные компоненты выполняют основные функции по:

- сбору и обработке данных;
- контролю состояния управляемых объектов;
- формированию необходимых управляющих воздействий на устройства [22].

Процесс разработки делится на две части: аппаратная и программная. Разработка аппаратной части состоит из проектирования дизайна прототипа и реализации прошивки микроконтроллера [23].

На этапе создания минимально-жизнеспособного продукта (прототипа устройства) проводится тестирование аппаратного обеспечения, сборка продукта и окончательный выбор комплектующих устройства [24]. В процессе разработки устройства, было спроектировано три прототипа устройства, техническими параметрами и габаритами: два являются промежуточными и созданы с целью изучения и тестирования аппаратных компонентов и программного кода устройства, а третий является максимально близким к готовому продукту.

Корпус устройства и внутреннее расположение компонентов было смоделировано в 3D – редакторе [25]. В результате получено детально проработанное функциональное устройство с эргономичным ремешком крепления.

После тестирования прототипа, были выявлены недостатки, которые устранены в готовом образце устройства. Прототип состоит из пластикового корпуса размером 40x40x15 мм, микроконтроллера STM32F103, датчика ориентации в пространстве MPU-9250 и содержит литий-ионный аккумулятор. Компьютер принимает команды по модулю беспроводной связи NRF24L01. 3D - модель прототипа устройства представлен на рисунке 4.

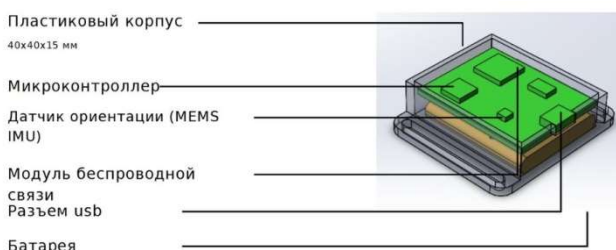


Рис. 4 Рабочий образец устройства

Устройство позволяет управлять курсором с помощью команд, передаваемым по usb-шине. Компьютер определяет устройство в операционной системе, как мышь и не требует установки дополнительных драйверов для управления компьютером. Крепление разрабатывается эргономичным и удобно для самостоятельного использования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Постановка задачи, консультирование, тестирование программно-аппаратного комплекса «LimbTracker» осуществляется группой сотрудников Профессорской клиники КрасГМУ им. профессора В.Ф. Войно-Ясенецкого под руководством д.м.н., профессора С.В. Прокопенко, который занимается нейрореабилитацией, имеет огромный опыт, профессионализм и является консультантом в области использования медицинской техники.

Разрабатываемый программно-аппаратный комплекс позволяет: считывать показания с устройства, вычислять ориентацию в пространстве и управлять персональным компьютером без манипулятора мышь, изменять чувствительность датчиков, тем самым корректировать процесс реабилитации пациентов, отправлять и отслеживать активность пациентов за счет автоматически сформированных отчетов. В будущем за счет ценовой доступности, устройство может быть приобретено пациентом для домашнего использования.

В данный момент времени завершён этап реализации аппаратной части комплекса. Устройство позволит выполнять специальные упражнения в целях реабилитации, активно тренируя восстанавливаемую конечность. А также применять для задач, связанных с работой за компьютером, людям с ограниченными возможностями здоровья при невозможной реабилитации в повседневных задачах. Комплекс «LimbTracker» повысит эффективность и ускорит процесс реабилитации для пациентов с неврологическими и опорно-двигательными патологиями.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Масабаев, Е. С. Применение IT-технологий в реабилитации постинсультных больных [Электронный ресурс] / Е. С. Масабаев,

Ф. Ж. Шокутбаева, А. М. Кабдешев. // Молодой ученый. — 2016. — № 30 (134). — Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/134/37531/>.

2. Романов А.И. Медицинская реабилитация. Нормативно-правовое и организационное обеспечение [Текст] / А.И. Романов. — Москва: Издательский дом «Дело» РАНХиГС, 2016. — 296 с.

3. Fisci M. “Information technology is changing the way society sees health care delivery”, *Int. Med. Informatics*, vol. 66. — №1. — pp. 85-93, 2002.

4. Уровень инвалидизации в России: Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/folder/13964>.

5. Шамаева Ю.В. Современные методы нейрореабилитации в нейрореабилитационной коррекции [Электронный ресурс]. / Ю.В. Шамаева Образовательная социальная сеть. Режим доступа: <https://nsportal.ru/vuz/pedagogicheskie-nauki/library/2019/06/02/sovremennyye-metody-neyroreabilitatsii-v>.

6. Союз реабилитологов России. Материалы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rehabrus.ru/materialyi/>.

7. Сухих В.Г., Чеха В.А. Информационные технологии в реабилитации инвалидов: методическое пособие [Текст] / В.А.Чеха, В.Г. Сухих, М.В.Степанова // Красноярск: КГУ СО «Комплексный центр социального обслуживания населения», 2011 - 150 с.

8. SenoReHab [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://sensorehab.com/ru>.

9. Пат. №2494670 Российская Федерация. Способ коррекции мелкой моторики с использованием сенсорной перчатки [Текст] / С.В. Прокопенко, Е.Ю. Можейко, заявитель и патентообладатель Красноярск. — № 2011150588; опубл. 10.10.2013, Бюл. № 17. — 8 с.

10. Биомеханика «Траст М» [Электронный ресурс] / Neurocor. Режим доступа: <http://www.neurocor.ru/product/biomehanika-trast-m>.

11. Реабилитационные системы. Доступно по адресу: http://reasys.ru/equipment/reabilitaciya/bos_biologicheskaya_obratnaya_svyaz/.

12. Васильев, А.Е. Микроконтроллеры. Разработка встраиваемых приложений [Текст] / А.Е. Васильев. - СПб.: BHV, 2012. - 304 с.

13. Аверченков, О.Е. Схематехника. Аппаратура и программы [Текст] / О.Е. Аверченков. — Москва: ДМК Пресс, 2018. — 590 с.

14. Керниган, Б. Язык программирования С. Второе издание, переработанное и дополненное [Текст] / Б. Керниган, Д. Ритчи. — Москва: Вильямс Издательский дом, 2019. — 288 с.

15. Иванов, В.Б. Программирование микроконтроллеров для начинающих: Визуальное проектирование [Текст] / В.Б. Иванов. - СПб.: Корона-Век, 2010. - 176 с.

16. Васильев, А. С. Основы программирования микроконтроллеров : учебно-методическое пособие [Текст] / А. С. Васильев, О. Ю. Лашманов, А. В. Пантюшин. — Санкт-Петербург : НИУ ИТМО, 2016. — 95 с.

17. Мартин М. Инсайдерское руководство по STM32 [Электронный ресурс] // Веб-узел Разработка программного обеспечения. Режим доступа: <https://istarik.ru/file/STM32.pdf>.

18. ST - life augment [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32-32-bit-arm-cortex-mcus.html>.

19. Электронные компоненты, микроконтроллеры Arduino, сенсоры и радиодетали [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.yourduino.ru/blogs/blog/mpu9250urok>.

20. Алексеев, К.Б. Микроконтроллерное управление электроприводом [Текст] / К.Б. Алексеев, К.А. Палагута - Москва: МГИУ, 2008. - 298 с.

21. Береснев, А.Л. Разработка и макетирование микропроцессорных систем: учебное пособие [Текст] / А.Л. Береснев, М.А. Береснев. Издательство Южного федерального университета, 2016. - 108 с.

22. Вальпа, О. Полезные схемы с применением микроконтроллеров [Текст] / О. Вальпа, Д. Ритчи. — Москва: ДМК Пресс, 2017. — 416 с.

23. Ципес, Г.Л. Менеджмент проектов в практике современной компании [Текст] / Г.Л. Ципес, А.С. Товбс. — Москва : Олимп-Бизнес, 2006. — 304 с.

24. Авдеев, В. Компьютерное моделирование цифровых устройств [Текст] / В. Авдеев. - Москва: ДМК, 2012. - 360 с.

25. Головкин А.А., Компьютерное моделирование и проектирование радиоэлектронных средств. Учебник для ВУЗов [Текст] / А.А. Головкин, И.Ю. Пивоваров, И.Р. Кузнецов - СПб.: Питер. 2015. - 208 с.

Иванилова Татьяна Николаевна – начальник управления информационно-коммуникационных технологий ФГБОУ ВО СибГУ им М.Ф. Решетнева., тел. +7 (391)2227284, e-mail: ivanilova.tn@gmail.com.

Днепрова Мария Александровна – студент кафедры информатики и вычислительной техники СибГУ им М.Ф. Решетнева, тел +7 9535964041 e-mail: maria_dnep@mail.ru..

Кушнеров Алексей Владимирович – программист управления информационно-коммуникационных образовательных технологий СибГУ им М.Ф. Решетнева. тел. +7 (391)2227284 e-mail: russiandrunkycyberbear@gmail.com.

Чичиков Сергей Анатольевич - кандидат технических наук, доцент кафедры информатики и вычислительной техники СибГУ им М.Ф. Решетнева, тел тел. +7 (391)2289444 e-mail: chichikovsa@sibsau.ru.

DEVELOPMENT OF THE HARDWARE PART OF THE LIMBTRACKER COMPLEX FOR WIRELESS PC CONTROL FOR PEOPLE WITH IMPAIRED MOTOR FUNCTIONS

T.N. Ivanilova, M.A. Dneprovskaya, A.V. Kushnerov, S.A. Chichikov

Siberian State University of Science and Technology named after Academician M. F. Reshetnev, Krasnoyarsk, Russia

The process of recovery (rehabilitation) after a congenital or acquired pathology of the central nervous system or motor functions is often quite long and complex. The involvement of modern information technologies in solving the problems of medical rehabilitation is an effective way, especially in the case of creating a complex in which the patient will be actively involved in the rehabilitation process through computer systems.

The aim of the study is to develop a software and hardware complex that will allow you to turn any joint of the body into a computer mouse, thereby controlling the computer and solving rehabilitation problems. The developed software and hardware complex is designed to improve the effectiveness of rehabilitation of patients with neurological profile, as well as people with disabilities of group I and II.

The article presents the results of the implementation stage of the hardware part of the "Limbtracker" complex, developed on the basis of the idea of Professor, Doctor of Medical Sciences S. V. Prokopenko. At the initial stage of the development of the complex, a technical task was formed. The device body and the internal arrangement of the components were modeled in a 3D editor. The problem of optimal choice of hardware and software tools that ensure the implementation of the project with minimal time and money is solved. The "Limbtracker" device scheme is implemented. The final prototype of the device has been implemented.

The sample consists of a plastic case, an STM32F103 microcontroller, an MPU-9250 spatial orientation sensor, and a lithium-ion battery. The computer receives commands and tracks movements via the NRF24L01 wireless communication module. Thus, the developed hardware part of the complex allows you to read readings from the device, calculate the orientation in space and, as a result, control a personal computer without a mouse manipulator, change the sensitivity of sensors, thereby correcting the process of rehabilitation of patients.

When creating the complex, modern information technologies were used to design and organize data that were not previously used for the tasks of medical remote rehabilitation. The used component base of the device and the applied software technologies allow you to create a significantly lower cost in comparison with analogues, the possibility of using it at home without the help of specialists.

Index terms: software and hardware complex, home rehabilitation, neurorehabilitation, STM32, microcontroller, device design, MPU9250.

REFERENCES

1. Musabaev, E. S. Application of IT-technologies in rehabilitation of post-stroke patients [Electronic resource] / E. S. Masabaev, F. Zh. Shokutbaeva, A.M. Kabdeshev. // Young scientist. — 2016. — № 30 (134). - The access mode: <https://moluch.ru/archive/134/37531/>.
2. Romanov A. I. Medical rehabilitation. Normative-legal and organizational support [Text] / A. I. Romanov. - Moscow: Publishing House "Delo" RANEP, 2016. - p. 296.
3. Fischl M. "Information technology is changing the way society sees health care delivery", Int. Med. Informatics, vol. 66. - No. 1. - p. 85-93, 2002.
4. The level of disability in Russia: Federal State Statistics Service [Electronic resource]. - The access mode: <https://rosstat.gov.ru/folder/13964>.
5. Shamaeva Yu. V. Modern methods of neurorehabilitation in neurodefectological correction [Electronic resource]. / Yu. V. Shamaeva Educational social network. - The access mode: <https://nsportal.ru/vuz/pedagogicheskie-nauki/library/2019/06/02/sovremennye-metody-neuroreabilitatsii-v>.
6. The Union of Rehabilitologists of Russia. Materials [Electronic resource]. - The access mode: <https://rehabrus.ru/materialyi/>.
7. Sukhoi V. G., Cheka V. A. Information technologies in the rehabilitation of disabled people: a methodological guide [Text] / V. A. Cheka, V. G. Sukhoi, M. V. Stepanova // Krasnoyarsk: KGBU SB "Integrated Center for Social Services of the population", 2011- p. 150.
8. SenoReHab [Electronic resource]. - The access mode: <https://sensorehab.com/ru>.
9. Pat. no. 2494670 Russian Federation. A method for correcting fine motor skills using a sensory glove [Text] / S. V. Prokopenko, E. Yu. Mozheyko, applicant and patent holder Krasnoyarsk. - No. 2011150588; publ. 10.10.2013, Byul. No. 17- p. 8.
10. Biomechanika "Trust M" [Electronic resource] / Neurocor. - The access mode: <http://www.neurocor.ru/product/biomechanika-trast-m>.
11. Rehabilitation systems. - The access mode: http://reasy.ru/equipment/reabilitaciya/bos_biologicheskaya_obratnaya_svyaz/.
12. Vasiliev, A. E. Microcontrollers. Development of embedded applications [Text] / A. E. Vasiliev. - St. Petersburg: BHV, 2012. - p. 304.
13. Averchenkov, O. E. Circuitry. Hardware and programs [Text] / O. E. Averchenkov. - Moscow: DMK Press, 2018 - p.590.
14. Kernighan, B. The C programming language. Second edition, revised and expanded [Text] / B. Kernighan, D. Ritchie. - Moscow: Williams Publishing House, 2019. - p. 288.
15. Ivanov, V. B. Programming of microcontrollers for beginners: Visual design [Text] / V. B. Ivanov. - St. Petersburg: Korona-Vek, 2010. - p. 176.
16. Vasiliev, A. S. Osnovy programmirovaniya mikrocontrollerov : uchebno-metodicheskoe posobie [Text] / A. S. Vasiliev, O. Yu. Lashmanov, A.V. Pantyushin. - Saint-Petersburg: ITMO National Research University, 2016. - p. 95.

17. Martin M. Insider's guide to STM32 [Electronic resource] // Web-site Software development. - The access mode: <https://istarik.ru/file/STM32.pdf>.

18. ST - life augment [Electronic resource] - The access mode: <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32-32-bit-arm-cortex-mcus.html>.

19. Electronic components, Arduino microcontrollers, sensors and radio components [Electronic resource] - The access mode: <https://www.yourduino.ru/blogs/blog/mpu9250urok>.

20. Alekseev, K. B. Microcontroller control of an electric drive [Text] / K. B. Alekseev, K. A. Palaguta-Moscow: MGIU, 2008. – p. 298.

21. Beresnev, A. L. Development and layout of microprocessor systems: a textbook [Text] / A. L. Beresnev, M. A. Beresnev. Southern Federal University Press, 2016. – p. 108.

22. Valpa, O. Useful schemes with the use of microcontrollers [Text] / O. Valpa, D. Ritchie. - Moscow: DMK Press, 2017 – p. 416.

23. Tsipes, G. L. Project management in the practice of a modern company [Text] / G. L. Tsipes, A. S. Tovbs. - Moscow: Olimp-Business, 2006. – p. 304.

24. Avdeev, V. Computer modeling of digital devices [Text] / V. Avdeev. - Moscow: DMK, 2012. – p. 360.

25. Golovkov A. A., Computer modeling and design of radioelectronic devices. Textbook for universities [Text] / A. A. Golovkov, I. Yu. Pivovarov, I. R., Kuznetsov-St. Petersburg: Peter. 2015. – p. 208.

Tatyana N. Ivanilova - Head of the Department of Information and Communication Technologies, M. F. Reshetnev Siberian State University., tel. +7 (391)2227284, e-mail: ivanilova.tn@gmail.com.

Maria A. Dneprovskaya - Student of the Department of Informatics and Computer Engineering of the Moscow State University named after M. F. Reshetnev, e-mail: marya_dnep@mail.ru.

Alexey V. Kushnerov - Programmer of the Department of Information and Communication Educational Technologies of the M. F. Reshetnev Siberian State University, e-mail: russiandrunkcyberbear@gmail.com.

Sergey A. Chichikov - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Informatics and Computer Engineering of the SIBSU named after M. F. Reshetnev, e-mail: chichikovsa@sibsau.ru.