

ПРОГРАММНО-АППАРАТНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ИНВАЛИДНЫМ КРЕСЛОМ

Н.А. Аскерова

nargizaskerova2013@yandex.ru

А.А. Морозова

morozovaanastasiaa2001@gmail.com

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Описан процесс разработки программно-аппаратной системы управления инвалидным креслом посредством наклона головы, реализуемой с помощью акселерометра. Показаны функциональные схемы модулей управления инвалидным креслом, выполнен подбор элементной базы и рассчитана потребляемая мощность модулей и изделия. Представлена технология тестирования системы, изготовлен макетный образец и выполнено его тестирование, которое подтвердило правильность работы разработанной системы. Актуальность разработанной системы обусловлена остротой проблемы помощи людям с ограниченными физическими возможностями, а также отсутствием аналогов, позволяющих управлять инвалидным креслом без помощи рук, посредством наклона головы.

Ключевые слова

Инвалидное кресло, Arduino, ATmega328, гироскоп, микроконтроллер, тестирование, элементная база, радиопередатчик

Поступила в редакцию 15.04.2023

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2023

Введение. В современном обществе есть особая категория людей, для которых каждый шаг является своего рода настоящим испытанием сил по причине определенных заболеваний ног, нарушений в работе опорно-двигательного аппарата, позвоночника и спинного мозга. Инсульты и инфаркты, травмы различной степени тяжести, патологии костно-мышечной системы, тяжелые последствия инфекционных заболеваний могут надолго или навсегда усадить человека в инвалидное кресло. Целями реабилитации инвалидов являются не только лечение и улучшение состояние здоровья, но и процесс достижения человеком максимальной самостоятельности в обществе. К сожалению, в некоторых случаях медицина бывает бессильна. Поэтому необходимо обеспечить таким особенным людям полноценную жизнь, а главное — возможность самостоятельно передвигаться.

Среди изделий, предназначенных для людей с ограниченными физическими возможностями, в особый класс выделяют кресла-коляски с электроприводом, компенсирующие нарушения опорно-двигательной системы человека. Они управляются с помощью джойстика. Однако подобные кресла не решают проблему передвижения для людей с нарушениями функционирования верхних

конечностей. Разработанная система позволяет управлять инвалидным креслом посредством наклона головы, давая возможность людям, парализованным ниже шеи, самостоятельно передвигаться. Система управления интерпретирует положение головы человека и исходя из этого задает скорость и направление движения инвалидной коляски.

Синтез функциональной схемы передающего модуля. Электрическая функциональная схема устройства приведена на рис. 1. Описание основных функциональных компонентов и связей между ними представлено ниже [1].

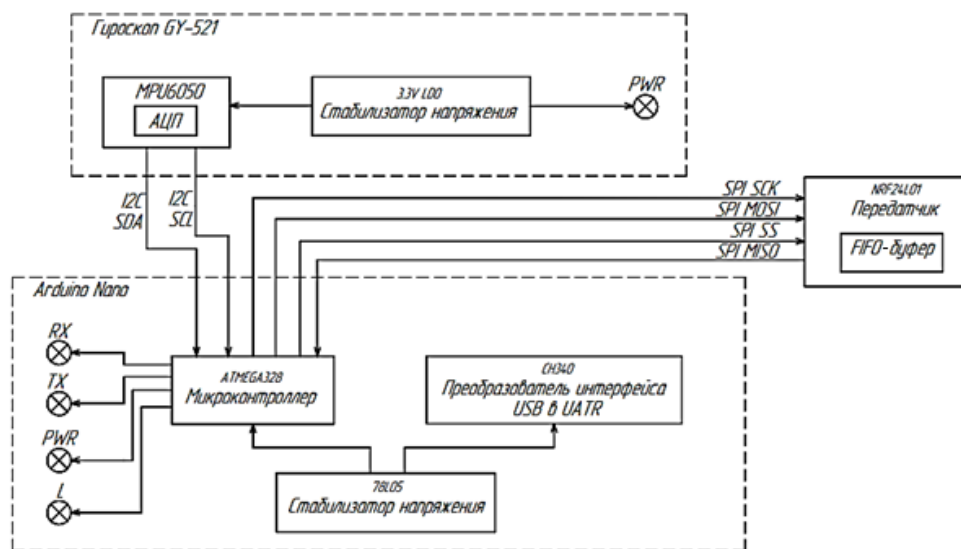


Рис. 1. Функциональная схема модуля

Отладочная плата. В качестве отладочной платы Arduino решено было использовать плату Arduino Nano. Такой выбор обусловлен тем, что эта плата построена на микроконтроллере Atmega328, в который входят все необходимые согласно техническому заданию модули. Также плата имеет маленькие размеры и небольшую массу, что сделает модуль управления универсальным [2].

Гироскоп. Для определения ориентации тела в пространстве и измерения углов наклона был использован гироскоп. Передача данных между ним и микроконтроллером ATmega328 происходит по интерфейсу I2C или, как его еще называют, TWI. Данные передаются по двум проводам — провод данных и провод тактов. Есть ведущий (master) и ведомый (slave), ведущий провод генерирует такты, ведомый лишь принимает байты. Передача и прием данных осуществляются переключением линии SDA в ноль, которое определяется как условие для начала передачи или приема. В единицу линия переключается самостоятельно с помощью подтягивающих резисторов.

Гироскопом для данной системы послужил модуль GY-521. Такой выбор обусловлен популярностью данного элемента и низкой стоимостью.

Модуль GY-521 содержит к себе как акселерометр, так и гироскоп, а помимо этого еще и температурный сенсор. Микросхема MPU6050 служит главным элементом модуля GY-531. Помимо нее на плате модуля расположена необходимая обвязка MPU6050, в том числе «подтягивающие» резисторы интерфейса I2C, а также стабилизатор напряжения на 3,3 В с малым падением напряжения (при питании 3,3 В на выходе стабилизатора будет напряжение 3 В) с фильтрующими конденсаторами. Также на плате есть SMD-светодиод с ограничивающим резистором, служащий индикатором питающего напряжения. Размер платы модуля GY-521 10×20 мм [3].

Передачик. Для обмена данными между модулем управления и подвижным устройством решено использовать радиопередатчик и приемник. Такой тип взаимодействия открывает множество возможностей, таких как удаленный мониторинг, сбор данных с датчиков, управление роботами и т. п.

Передача данных между радиомодулем и микроконтроллером осуществляется по последовательному синхронному интерфейсу SPI. Обмен данными происходит в режиме полного дуплекса (устройства на шине могут одновременно передавать и принимать данные). В интерфейсе используются следующие сигналы:

- MISO (master in slave out) — вход ведущего, выход ведомого;
- MOSI (master out slave in) — выход ведущего, вход ведомого;
- SCK (serial clock) — сигнал тактирования;
- SS (slave select) — сигнал выбора ведомого [4].

Для организации передачи данных между модулем управления и подвижным устройством были использованы радиомодули NRF24L01. Выбор обусловлен низкой стоимостью, относительно небольшим энергопотреблением, простотой работы с ними и высокой гибкостью при построении сетей различных топологий и сложности.

Синтез функциональной схемы принимающего модуля. Функциональная схема принимающей части представлена на рис. 2. Основные ее компоненты рассмотрены далее.

В качестве отладочной платы Arduino для модуля приема была использована плата Arduino Pro Mini [5].

Приемник. Поскольку в передающей части решено использовать радиопередатчик, то и в принимающей части будет использован радиоприемник.

Передача данных между приемником радиосвязи и отладочной платой также осуществляется по последовательному синхронному интерфейсу SPI. Для организации передачи данных решено было использовать радиомодуль NRF24L01, поэтому для приема был использован он же.

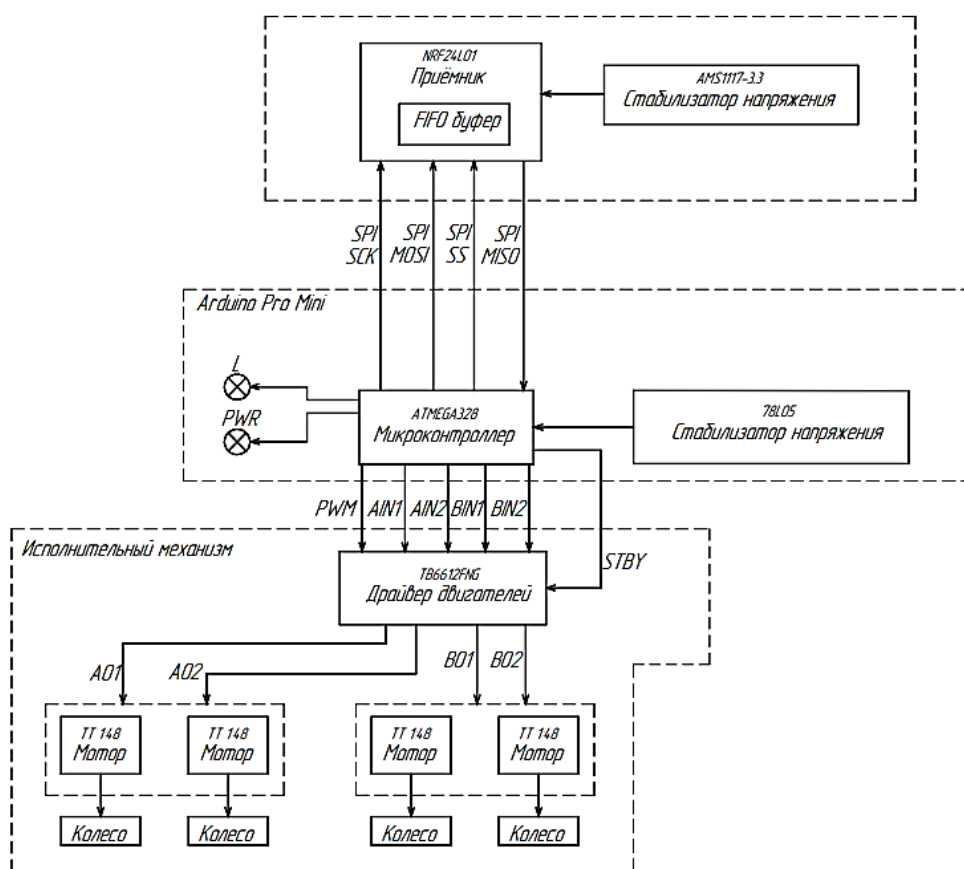


Рис. 2. Схема модуля приема

Входное напряжение NRF24L01 составляет 1,9...3,6 В, однако плата Arduino Pro Mini не имеет выхода с таким номиналом напряжения. Чтобы получить напряжение 3,3 В, применяли Adapter NRF24L01, в состав которого входит линейный регулятор с малым падением напряжения AMS1117-3,3.

Исполнительный механизм. Исполнительный механизм предназначен для приведения инвалидной коляски в движение. В его состав входят драйвер двигателей, моторы и колеса.

Для управления скоростью и направлением вращения двигателей используется так называемый драйвер двигателей, содержащий H-мост. В качестве драйвера двигателей решено использовать модуль TB6612FNG. Данный драйвер может управлять сразу двумя коллекторными двигателями постоянного тока, что необходимо в рамках этой разработки. Также он имеет защиту по температуре, перенапряжению и короткому замыканию [6], что дает ему преимущества перед аналогами.

Для обеспечения возможности поворачивать направо и налево решено использовать два мотора, каждый из которых будет приводить в движение по два колеса. Для создания макетного образца выбраны моторы, схожие по принципу работы с теми, которые используются в инвалидных креслах, но меньшего размера.

Расчет потребляемой мощности. Мощность, потребляемая устройством, складывается из мощностей, потребляемых всеми устройствами, входящими в его состав. Из спецификаций используемых устройств можно получить информацию, приведенную в табл. 1 и 2 [7]. Рассчитаем максимальную мощность, потребляемую устройством:

$$P = \sum_{i=1}^k U_{i\max} I_{i\max} n_i,$$

где $U_{i\max}$ — напряжение, прилагаемое к устройству (максимальное); $I_{i\max}$ — ток потребления (максимальный); n_i — число компонентов.

Таблица 1

Характеристики модуля передачи

Наименование компонента	Ток потребления $I_{i\max}$, мА	Напряжение $U_{i\max}$, В	Число элементов n_i	Потребляемая мощность P_i , мВт
Arduino Nano	20	20,0	1	400,00
Gy-521	4	3,46	1	13,84
NRF24L01	13,5	3,6	1	48,60
<i>Итого</i>				462,44

Таблица 2

Характеристики модуля приема

Наименование компонента	Ток потребления $I_{i\max}$, мА	Напряжение $U_{i\max}$, В	Число элементов n_i	Потребляемая мощность P_i , мВт
Arduino Pro Mini	24	12	1	400
Adapter NRF24L01	5	15	1	75
NRF24L01	13,5	3,6	1	48,6
TB6612FNG	2,2	15	1	33
ТТ 1:48	70	12	4	3360
<i>Итого</i>				3916,6

Преобразование входных данных с гироскопа. Датчик MPU6050 позволяет настраивать точность измерений. Можно выбрать один из четырех классов точности: $\pm 2G$, $4G$, $8G$ и $16G$, где $1G = 9,8 \text{ м/с}^2$ — это единица земной гравитации (ускорение свободного падения на планете Земля). По умолчанию датчик настроен на диапазон $\pm 8G$. Датчик MPU6050 имеет 16-разрядный АЦП. Число 2 в степени 16 дает число 65 536. Поскольку датчик может измерять и отрицательное, и положительное ускорение, он будет выдавать числа в диапазоне ± 32768 . Соответственно, если корпус датчика MPU6050 наклонен так, что сила гравитации действует вдоль выбранной для измерений оси, то он выдаст число 4096, что будет эквивалентно $1G$ — единице земной гравитации [8]. Таким образом, для датчика MPU6050 настройке от $-8G$ до $8G$ соответствует так называемая чувствительность 4096 LSB/G . Чувствительность датчика ускорения определяется как выходной сигнал, соответствующий ускорению $1G$.

Таким образом, чтобы перевести «сырые» данные акселерометра в единицы гравитации, необходимо разделить данные с датчика на 4096 LSB/G (см. листинг 1).

Листинг 1. Преобразование данных в единицы гравитации

```
accx = ax/4096.0;
accy = ay/4096.0;
```

Поскольку на акселерометр могут действовать посторонние силы, которые способны придать ему ускорение свыше $1G$, были установлены границы измерений $\pm 1G$ (см. листинг 2).

Листинг 2. Установка границ данных

```
accx = constrain(accx, -1.0, 1.0);
accy = constrain(accy, -1.0, 1.0);
```

Далее гравитационные единицы необходимо перевести в градусы. Для этого использована функция `acos`, которая возвращает значение угла в радианах, которые затем переводят в градусы с помощью коэффициента `TO_DEG` (см. листинг 3).

Листинг 3. Получение углов в градусах

```
if(accy >= 0){
    angley = 90 - TO_DEG*acos(accy);
} else {
    angley = TO_DEG*acos(-accy) - 90;
}
if(accx >= 0){
    anglex = 90 - TO_DEG*acos(accx);
```

```

} else {
  anglеx = TO_DEG*acos(-accx) - 90;
}
    
```

За меру точности было взято значение accuracy, равное 30°. В процессе практического тестирования модуля такая точность оказалась наиболее комфортной. При желании увеличить либо уменьшить чувствительность модуля управления номинал этой величины можно изменить.

Положения акселерометра по осям X и Y и установленные в соответствии с этим направления движения управляемого устройства представлены в табл. 3.

Таблица 3

Преобразование данных по осям X и Y в направления движения

Режим	Углы по осям X и Y	Направление движения
0	(x < accuracy) И (x > -accuracy) (y < accuracy) И (y > -accuracy)	Стоп
1	(x < accuracy) И (x > -accuracy) y < -accuracy	Вправо
2	(x < accuracy) И (x > -accuracy) y > accuracy	Влево
3	x > accuracy (y < accuracy) И (y > -accuracy)	Вперед
4	x > accuracy y < -accuracy	Вперед и вправо
5	x > accuracy y > accuracy	Вперед и влево
6	x < -accuracy (y < accuracy) И (y > -accuracy)	Назад
7	x < -accuracy y < -accuracy	Назад и вправо
8	x < -accuracy y > accuracy	Назад и влево

Преобразование полученных данных в данные для моторов. Модуль приема получает по радиоканалу режим движения (число от 0 до 8) и скорость движения. Чтобы управлять моторами, эти данные нужно преобразовать. Функция motor1 соответствует двум параллельно соединенным моторам на правой оси, а motor2 — на левой оси.

Режимы движения инвалидного кресла и соответствующие им параметры функции motor.drive() представлены в табл. 4.

Режимы движения и соответствующие им параметры функции `motor.drive()`

Режим	Функция <code>motor.drive()</code>	Направление движения
0	<code>motor1.drive(speedd);</code> <code>motor2.drive(speedd);</code>	СТОП
1	<code>motor1.drive(-speedd);</code> <code>motor2.drive(speedd);</code>	Вправо
2	<code>motor1.drive(speedd);</code> <code>motor2.drive(-speedd);</code>	Влево
3	<code>motor1.drive(speedd);</code> <code>motor2.drive(speedd)</code>	Вперед
4	<code>motor1.drive(speedd * 0.5);</code> <code>motor2.drive(speedd);</code>	Вперед и вправо
5	<code>motor1.drive(speedd);</code> <code>motor2.drive(speedd * 0.5);</code>	Вперед и влево
6	<code>motor1.drive(-speedd);</code> <code>motor2.drive(-speedd);</code>	Назад
7	<code>motor1.drive(-speedd * 0.5);</code> <code>motor2.drive(-speedd);</code>	Назад и вправо
8	<code>motor1.drive(-speedd);</code> <code>motor2.drive(-speedd * 0.5);</code>	Назад и влево

Технология тестирования и отладки программных модулей проекта. Программный продукт разрабатывали постепенно, с каждым разом наращивая его функционал. На каждом этапе программный продукт тестировали и в случае обнаружения ошибок подвергали незамедлительной отладке. Такая технология тестирования называется сквозным структурным контролем.

Отладка происходила в среде Arduino IDE. В ходе нескольких отладочных сессий программы модулей приема и передачи были полностью отлажены. Также как средство отладки была использована встроенная консоль — монитор порта. Встроенный в Arduino Nano загрузчик и программатор HW-409 для Arduino Pro Mini позволяют микроконтроллеру в текстовом режиме консоли общаться с компьютером по последовательному интерфейсу Serial. На компьютере создается виртуальный СОМ-порт, к которому можно подключиться с помощью программ-терминалов порта, и принимать-отправлять текстовые данные [9].

Сообщения на мониторе порта модуля передачи (рис. 3) содержат углы по осям X и Y и соответствующий им номер направления движения инвалидного кресла.


```
COM7
Type:1 X:-29 Y:-90
Type:1 X:-22 Y:-60
Type:1 X:-9 Y:-32
Type:6 X:-40 Y:13
Type:2 X:7 Y:35
Type:2 X:-27 Y:45
Type:6 X:-40 Y:12
Type:2 X:-25 Y:50
Type:1 X:23 Y:-59
Type:1 X:28 Y:-52
Type:1 X:14 Y:-34
Type:2 X:-4 Y:45
Type:5 X:34 Y:53
Type:3 X:31 Y:4
Type:3 X:35 Y:1
Type:1 X:27 Y:-35
```

Рис. 3. Сообщения на мониторе порта модуля передачи

Сообщения на мониторе порта модуля приема (рис. 4) содержат номер направления движения инвалидного кресла и скорость его движения.

```
COM9
Type:3 Speed:100
Type:3 Speed:100
Type:3 Speed:100
Type:3 Speed:100
Type:3 Speed:100
Type:3 Speed:69
Type:3 Speed:37
Type:5 Speed:46
Type:5 Speed:39
Type:2 Speed:42
Type:2 Speed:32
Type:2 Speed:39
Type:2 Speed:33
Type:2 Speed:44
```

Рис. 4. Сообщения на мониторе порта модуля приема

В ходе тестирования выявлено, что данные, отправленные через радиопередатчик, соответствуют принятым на радиоприемнике. Поскольку среда не поддерживает работу счетчика времени исполнения программы, оценку временных параметров не проводили.

При проектировании, реализации и тестировании компонентов системы был применен нисходящий подход, в соответствии с которым проектирование ведется сверху вниз, т. е. от общего к частному.

Макетирование. Полученный макет представлен на рис. 5 и 6.



Рис. 5. Макет модуля передачи

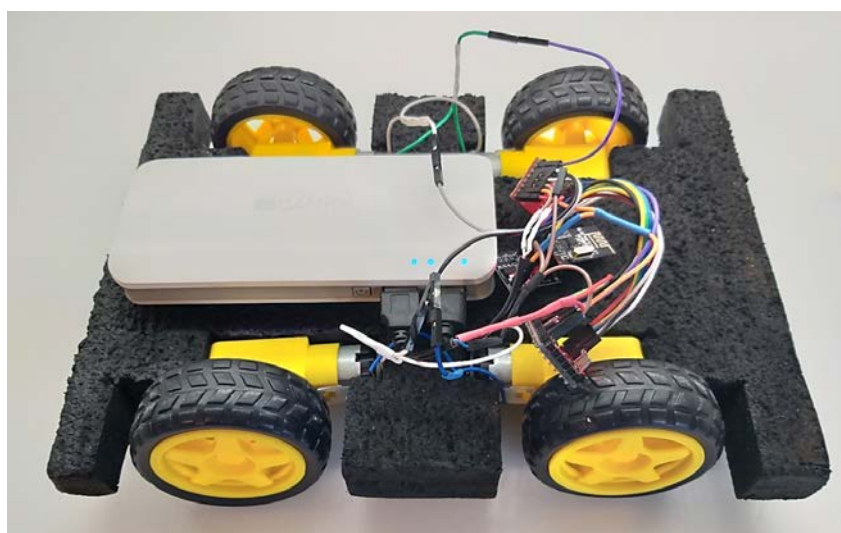


Рис. 6. Макет модуля приема

В состав макета модуля передачи вошли плата Arduino Nano, батарейка на 9 В, аналоговый датчик, гироскоп GY-521 и радиопередатчик NRF24L01. Все эти элементы соединены с помощью проводов.

В состав макета модуля приема вошли плата Arduino Pro Mini, аккумулятор на 10В, радиоприемник NRF24L01 и адаптер для него Adapter NRF24L01, драйвер двигателей TB6612FNG и 4 мотора ТТ 1:48. Все эти элементы соединены с помощью проводов.

Результаты работы. Была разработана и спроектирована система управления инвалидным креслом посредством наклона головы. В ходе ее выполнения была синтезирована структурно-функциональная схема системы в качестве первого шага процесса разработки. Эта схема позволила выявить необходимые для работы устройства и определить требования к ним и к интерфейсам взаимодействия между устройствами.

Анализ архитектуры и технических характеристик микроконтроллера позволил определить основные алгоритмические методы решения поставленных задач. Все эти данные в совокупности дали возможность перейти к синтезу и расчету принципиальной электрической схемы устройства, разработке алгоритмов его работы и расчету потребляемой мощности, которая в режиме максимальной нагрузки для модуля передачи составляет 462,44 мВт, а для модуля приема — 3916,6 мВт.

Литература

- [1] Хартов В.Я. *Микропроцессорные системы*. Москва, Академия, 2014, 368 с.
- [2] *Документация на Arduino Nano*. URL: http://arduino-kid.ru/arduino_nano_datasheet (дата обращения 20.02.2023).
- [3] *Документация на акселерометр*. URL: <https://cxem.net/mc/mc324.php> (дата обращения 20.02.2023).
- [4] *Product specification. Single chip 2.4 GHz Transceiver*. URL: <https://static.chipdip.ru/lib/106/DOC001106332.pdf> (дата обращения 21.02.2023).
- [5] *Документация на Arduino Pro Mini*. URL: https://www.delta-n.ru/Info/Arduino_Pro_Mini.pdf (дата обращения 20.02.2023).
- [6] *TB6612FNG. 2008-05-091. Toshiba Bi-CD Integrated Circuit Silicon Monolithic*. URL: <https://static.chipdip.ru/lib/996/DOC002996470.pdf> (дата обращения 21.02.2023).
- [7] Хартов В.Я. *Микроконтроллеры AVR. Практикум для начинающих*. Москва, МГТУ им. Баумана, 2012, 281 с.
- [8] *MPU-6000 and MPU-6050. Register Map and Descriptions. Revision 4.0*. URL: <https://static.chipdip.ru/lib/553/DOC012553736.pdf> (дата обращения 21.02.2023).
- [9] Панков Д.А. *Способы и алгоритмы тестирования программно-аппаратных комплексов на основе имитации неисправностей*. Дис. ... канд. техн. наук. Омск, ОмГТУ, 2021, 153 с.

Аскерова Наргиз Агасафовна — студентка магистратуры кафедры «Компьютерные системы и сети», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Морозова Анастасия Алексеевна — студентка магистратуры кафедры «Компьютерные системы и сети», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Аскерова Н.А., Морозова А.А. Программно-аппаратная система управления инвалидным креслом. *Политехнический молодежный журнал*, 2023, № 05 (82).

<http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2023-5-900>

WHEELCHAIR CONTROL SOFTWARE AND HARDWARE SYSTEM

N.A. Askerova

nargizaskerova2013@yandex.ru

A.A. Morozova

morozovaanastasiaa2001@gmail.com

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The paper describes the process of design and development of a software and hardware system to control a wheelchair by head tilting; the system could be implemented using an accelerometer. Functional diagrams of the wheelchair control modules are shown, element base was selected, and power consumption of the modules and of the product was calculated. Technology for testing the system is presented, the mock-up model was made and tested, which confirmed correct operation of the developed system. Relevance of the developed system is determined by severity of the problem to assist people with disabilities, as well as by the lack of analogues making it possible to control a wheelchair without using the hands and by tilting the head.

Keywords

Wheelchair, Arduino, ATmega328, gyroscope, microcontroller, testing, element base, radio transmitter

Received 15.04.2023

© Bauman Moscow State Technical University, 2023

References

- [1] Khartov V.Ya. *Mikroprotsessornye sistemy* [Microprocessor systems]. Moscow, Akademiya Publ., 2014, 368 p. (In Russ.).
- [2] *Dokumentatsiya na Arduino Nano* [Arduino Nano datasheet]. URL: http://arduino-kid.ru/arduino_nano_datasheet (accessed February 20, 2023).
- [3] *Dokumentatsiya na akselerometr* [Arduino Nano documentation]. URL: <https://cxem.net/mc/mc324.php> (accessed February 20, 2023).
- [4] *Product specification. Single chip 2.4 GHz Transceiver*. URL: <https://static.chipdip.ru/lib/106/DOC001106332.pdf> (accessed February 21, 2023).
- [5] *Dokumentatsiya na Arduino Pro Mini* [Arduino Pro Mini]. URL: https://www.delta-n.ru/Info/Arduino_Pro_Mini.pdf (accessed February 20, 2023).
- [6] *TB6612FNG. 2008-05-091. Toshiba Bi-CD Integrated Circuit Silicon Monolithic*. URL: <https://static.chipdip.ru/lib/996/DOC002996470.pdf> (accessed February 21, 2023).
- [7] Khartov V.Ya. *Mikrokontrollery AVR. Praktikum dlya nachinayushchikh* [AVR microcontrollers. Practicum for beginners]. Moscow, BMSTU Press, 2012, 281 p. (In Russ.).
- [8] *MPU-6000 and MPU-6050. Register Map and Descriptions. Revision 4.0*. URL: <https://static.chipdip.ru/lib/553/DOC012553736.pdf> (accessed February 21, 2023).
- [9] Pankov D.A. *Sposoby i algoritmy testirovaniya programmno-apparatnykh kompleksov na osnove imitatsii neispravnostey* [Methods and algorithms for testing software and hardware systems based on fault simulation]. Cand. Diss. Omsk, OmSTU, 2021, 153 p. (In Russ.).

Askerova N.A. — Master's Program Student, Department of Computer Systems and Networks, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Morozova A.A. — Master's Program Student, Department of Computer Systems and Networks, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Please cite this article in English as:

Askerova N.A., Morozova A.A. Wheelchair control software and hardware system. *Politekhnichestkiy molodezhnyy zhurnal*, 2023, no. 05 (82). (In Russ.).
<http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2023-5-900>