

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра динамического моделирования и биомедицинской инженерии

**«Прибор для контроля положения тела во сне для
исключения вероятности приступа апноэ»**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 4 курса 4081 группы

направления 12.03.04 «Биотехнические системы и технологии»

профиль подготовки «Методы и устройства обработки биосигналов»

институт физики

Еремин Ярослав Павлович

Научный руководитель:
Зав. кафедрой динамического
моделирования и
биомедицинской инженерии,
д.ф.-м.н., профессор


_____ подпись дата 14.06.2024

А.С. Караваев

Зав. кафедрой динамического
моделирования и
биомедицинской инженерии,
д.ф.-м.н., профессор


_____ подпись дата 14.06.2024

А.С. Караваев

Саратов 2024

Введение. Апноэ – это расстройство сна, характеризующееся временным прекращением дыхания или значительным уменьшением его частоты во время сна. Это состояние может продолжаться от нескольких секунд до нескольких минут и повторяться несколько раз в течение ночи. Апноэ может быть обусловлено различными факторами, такими как обструкция дыхательных путей, неверное функционирование дыхательного центра в мозгу или комбинация этих факторов.

Апноэ считается серьезной проблемой здоровья, так как оно может привести к снижению качества сна и вызвать различные заболевания. Во время приступа, уровень кислорода в крови снижается, что может привести к проблемам с сердцем и легкими, а также повышенному риску развития гипертонии, инсульта и других сердечно-сосудистых заболеваний. Кроме того, заболевание может вызывать сонливость и утомляемость днем, снижение концентрации и памяти, а также повышенную раздражительность и депрессию.

В связи с серьёзностью проблемы апноэ, разработка компактного прибора для его диагностики и коррекции является актуальной задачей. Такой прибор должен иметь ряд требований, чтобы обеспечить эффективную и удобную работу. Цель работы: разработка прибора для контроля положения сна при апноэ, который бы улучшил качество жизни пациентов с этим состоянием и предотвратил возможные осложнения. В рамках данного проекта будет проведён анализ существующих методов диагностики и коррекции апноэ, спроектирован прототип прибора и программное обеспечение.

Данная работа имеет практическую значимость, поскольку её результаты могут быть использованы для разработки новых устройств для лечения заболеваний легочной системы.

Структура выпускной квалификационной работы. Выпускная квалификационная работа состоит из введения, двух глав, заключения и списка использованных источников.

Во введении обосновывается актуальность темы, определяются цель и задачи и требования от разрабатываемого устройства, а также описана практическая значимость результатов.

Первая глава посвящена методам и аналогичны устройствам для лечения апноэ, а также сравнения и подбору гироскопов с необходимыми параметрами.

Вторая глава содержит в себе описание практического процесса разработки устройства, проектирование схемы, настройка процессора, подключение датчиков и питания, настройка алгоритмов работы программы и передачи данных по протоколу UART.

В заключении подведены итоги проделанной работы, а также высказана возможность применения результатов и программного обеспечения в будущих работах.

Список использованных источников включает все источники, использованные при написании работы.

Основное содержание работы. Разработка компактного прибора для диагностики и коррекции апноэ является актуальной задачей. Такой прибор должен быть портативным, надёжным, эффективным, настраиваемым и доступным с точки зрения стоимости. Это позволит более эффективно корректировать проявления болезни, улучшить качество жизни пациентов и предотвратить развитие серьёзных заболеваний, связанных с этим расстройством сна. Для разработки устройства была составлена блок-схема, показывающая основные элементы и их функции.

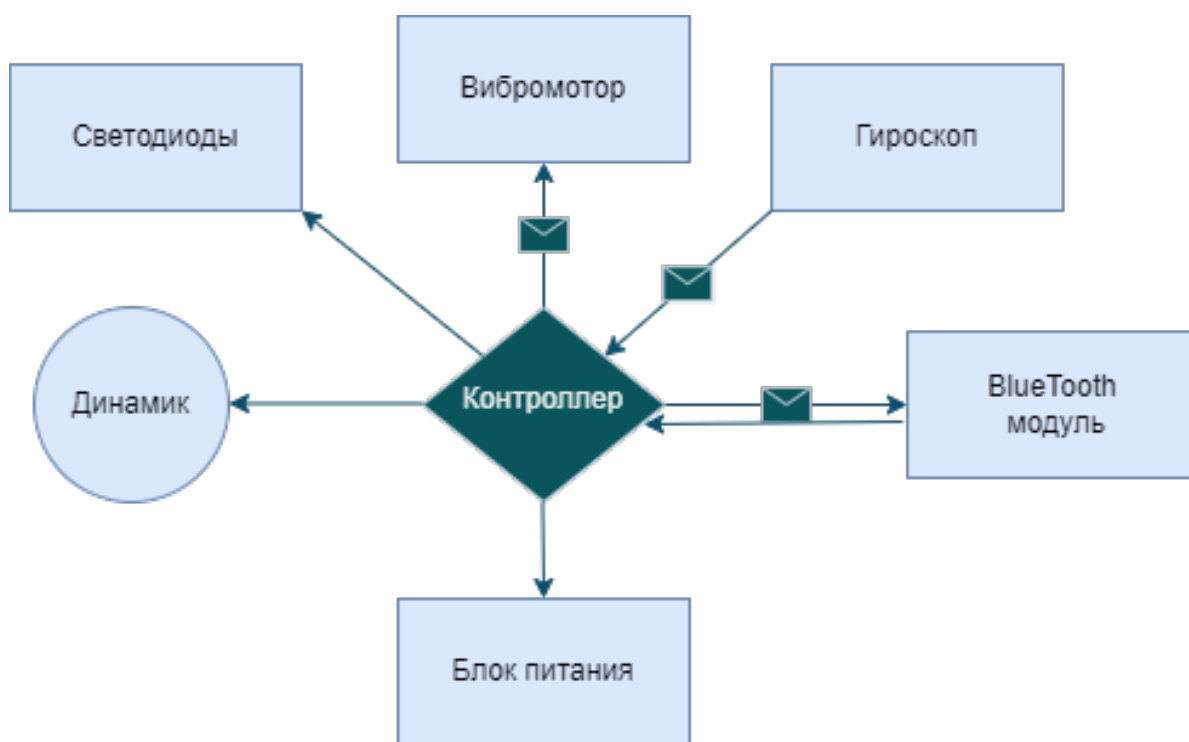


Рисунок 1 – Блок-схема устройства

Система, изображённая на рисунке 1, состоит из: Контроллера STM32, динамика, гироскопа MPU6050, блока питания, блок дистанционной передачи данных Bluetooth, светодиодов необходимых для индикации заряда батареи.

Вибромотор - элемент который преобразует электрическую энергию в механическое движение, вызывая вибрацию или колебания. Bluetooth модуль - это компонент нашего устройства, который обеспечивает беспроводную связь между двумя устройствами. Он использует протокол Bluetooth 2.0 и поддерживает профиль Serial Port Profile (SPP), интерфейс UART, который позволяет передавать данные в формате последовательного порта.

В разработке нашего устройства мы остановились на выборе датчика MPU 6050 так как модуль обладает хорошей точности измерений угловых скоростей и ускорений, высокой динамической стабильности, компактного размера и низкого энергопотребления. Также важным фактором была поддержка коммуникационных протоколов, таких как I2C и SPI, что обеспечивает высокую скорость обмена данных с контроллером.

Однако, принцип работы гироскопа в устройствах для лечения апноэ не ограничивается только определением положения тела. Гироскоп также способен обнаруживать движение головы, что позволяет устройству адаптироваться к изменениям положения пациента во время сна. Это особенно важно, так как пациенты могут не менять положение головы во время сна, и устройство должно быть готово реагировать на эти изменения.

HC-05 - это модуль Bluetooth, который обеспечивает беспроводное соединение между устройствами по стандарту Bluetooth. STM32 - это семейство микроконтроллеров от компании STMicroelectronics. Подключение HC-05 к STM32 позволяет управлять устройством через Bluetooth, передавать и принимать данные, а также создавать беспроводные коммуникации. Подключение и конфигурация вибромотора в устройстве. Вибромоторы – это устройства, способные создавать колебания, которые могут быть использованы для различных целей, включая индикацию в устройствах лечения апноэ. Рассмотрим подключение и применение данного модуля для устройства. Мы обсудим основные шаги по подключению, программированию, управлению режимами и разработке алгоритма индикации для устройства лечения апноэ.

Проектирование электрической принципиальной схемы. Выбор микроконтроллера, является сложной задачей так как необходимо подобрать модель, подходящую по всем параметрам. На данный момент существует большое количество микроконтроллеров с схожим строение. Каждый параметр становится важным, когда дело доходит до выбора микроконтроллера для своих задач, но не менее важный, в случаях разработки бюджетных устройств, фактор - это цена. Микроконтроллеры STM32 изготавливаются по КМОП-технологии, благодаря которой они имеют достаточно высокое быстродействие и низкий ток потребления. Большинство команд микроконтроллера выполняется за один такт. Одним из популярных и бюджетных микроконтроллеров STM32 является STM32f103c6t6. Он имеет достаточно памяти для хранения всех необходимых данных и программного обеспечения, а также обладает достаточными вычислительными возможностями для обработки сигналов и управления

другими компонентами прибора. При проектировании схемы были использованы SMD-резисторы, которые намного меньших размеров по сравнению с проволочными аналогами. Данные резисторы отличаются низкой посадкой на печатную плату, что позволяет их размещать на схеме более компактно. Из-за малых габаритов 7 используются посадочные места резисторов 1206. Блютуз модуль используется для беспроводной связи с другими устройствами, такими как смартфоны или компьютеры. Он позволяет передавать данные о состоянии пациента и настройках прибора, а также получать команды и инструкции для изменения параметров работы прибора. Блютуз модуль обеспечивает удобство использования и позволяет пациенту и врачу легко контролировать и настраивать работу прибора.

Программное обеспечение. Финальным этапом была разработано программное обеспечение, необходимого для функционирования устройства. Для разработки программы был использован язык СИ. Компиляторы СИ для микроконтроллеров предоставляют, по сравнению с ассемблером, гораздо более гибкие возможности, позволяя существенно ускорить создание и отладку многофункциональных программ. Микропрограммный код для микропроцессора был написан на языке СИ в среде разработки STM32CubeIDE

Программа реализует работу алгоритма по обнаружению положения пациента при отдыхе, в котором обостряется затруднённое дыхание. После завершения сна программа отправляет на телефон отчёт о зафиксированных случаях обострения синдрома, с помощью протокола передачи данных Bluetooth v2.0. В устройстве реализован контроль заряда батареи с помощью подключения АЦП, код инициализации расположен на рисунке 2 и 3.

Программа реализует пять режимов оповещения при помощи звуковой индикации динамика и работы вибромоторов:

1) Вибрация при нахождении в дискомфортном положении в течении 10 секунд.

2) Тихая звуковая индикация при дискомфортном расположении в течении 30 секунд.

- 3) Громкое аудио оповещение при постоянном нахождении в затрудняющем дыхание состоянии в периоде 1,5 минуты
- 4) Бесперывная громкая звуковая и вибрационная индикация при нахождении в одном положении в течении 3 минуты.

```
charge = HAL_ADC_GetValue(&hadc1); // Get the battery charge
charge = (charge * 100) / 4095; // Convert to percentage
LED_Update(charge); // Update the LEDs based on the battery charge
HAL_Delay(1000); // Wait for 1 second
//Read accelerometer data
```

Рисунок 2 – Код прошивки с подключением проверки батареи к АЦП

```
void LED_Update(uint32_t charge)
{
    // Turn off all LEDs initially
    HAL_GPIO_WritePin(LED_GREEN_GPIO_Port, LED_GREEN_Pin, GPIO_PIN_RESET);
    HAL_GPIO_WritePin(LED_ORANGE_GPIO_Port, LED_ORANGE_Pin, GPIO_PIN_RESET);
    HAL_GPIO_WritePin(LED_YELLOW_GPIO_Port, LED_YELLOW_Pin, GPIO_PIN_RESET);
    HAL_GPIO_WritePin(LED_RED_GPIO_Port, LED_RED_Pin, GPIO_PIN_RESET);

    // Turn on LEDs based on battery charge
    if (charge >= 20)
    {
        HAL_GPIO_WritePin(LED_RED_GPIO_Port, LED_RED_Pin, GPIO_PIN_SET);
    }
    if (charge >= 40)
    {
        HAL_GPIO_WritePin(LED_YELLOW_GPIO_Port, LED_YELLOW_Pin, GPIO_PIN_SET);
    }
    if (charge >= 60)
    {
        HAL_GPIO_WritePin(LED_ORANGE_GPIO_Port, LED_ORANGE_Pin, GPIO_PIN_SET);
    }
    if (charge >= 100)
    {
        HAL_GPIO_WritePin(LED_GREEN_GPIO_Port, LED_GREEN_Pin, GPIO_PIN_SET);
    }
}
```

Рисунок 3 – Код реализации включения светодиодов состояния батареи

Фильтры Калмана представляют собой дискретные рекурсивные фильтры, которые позволяют использовать математические модели для оценки состояния системы, несмотря на наличие значительной ошибки в измерениях в реальном времени. Используя фильтры Калмана, данные акселерометра, гироскопа и магнитометра с шумом можно объединить для получения точного представления

ориентации и положения, реализация кода для работы фильтра и инициализации режима работы гироскопа в устройстве представлена на рисунке 4 и 5.

```
double Kalman_getAngle(Kalman_t *Kalman, double newAngle, double newRate, double dt)
{
    double rate = newRate - Kalman->bias;
    Kalman->angle += dt * rate;

    Kalman->P[0][0] += dt * (dt * Kalman->P[1][1] - Kalman->P[0][1] - Kalman->P[1][0] + Kalman->Q_angle);
    Kalman->P[0][1] -= dt * Kalman->P[1][1];
    Kalman->P[1][0] -= dt * Kalman->P[1][1];
    Kalman->P[1][1] += Kalman->Q_bias * dt;

    double S = Kalman->P[0][0] + Kalman->R_measure;
    double K[2];
    K[0] = Kalman->P[0][0] / S;
    K[1] = Kalman->P[1][0] / S;

    double y = newAngle - Kalman->angle;
    Kalman->angle += K[0] * y;
    Kalman->bias += K[1] * y;

    double P00_temp = Kalman->P[0][0];
    double P01_temp = Kalman->P[0][1];

    Kalman->P[0][0] -= K[0] * P00_temp;
    Kalman->P[0][1] -= K[0] * P01_temp;
    Kalman->P[1][0] -= K[1] * P00_temp;
    Kalman->P[1][1] -= K[1] * P01_temp;

    return Kalman->angle;
};
```

Рисунок 4 – Код прошивки с реализацией фильтрации данных

```
void init_MPU6050(void) {
    // Initialize MPU6050
    MPU6050_InitStruct.Device_Address = MPU6050_ADDRESS; // I2C address of the MPU6050
    MPU6050_InitStruct.Accel_Full_Scale = MPU6050_ACCEL_FS_2G;
    MPU6050_InitStruct.Gyro_Full_Scale = MPU6050_GYRO_FS_250DPS;
    MPU6050_InitStruct.Clock_Source = MPU6050_CLOCK_PLL_XGYRO; // Use PLL with X gyroscope reference
    MPU6050_InitStruct.Sample_Rate = MPU6050_SAMPLE_RATE_100HZ; // Set the sample rate to 100 Hz
    MPU6050_InitStruct.Low_Pass_Filter_Bandwidth = MPU6050_FILTER_BW_5HZ;
    MPU6050_Init(&hi2c1, &MPU6050_InitStruct); // Initialize the MPU6050

    // Configure filter settings
    MPU6050_FilterStruct.DLPF_Bandwidth = MPU6050_DLPF_BW_5HZ;
    MPU6050_FilterConfig(&hi2c1, &MPU6050_FilterStruct);
}
```

Рисунок 5 – Код инициализации параметров работы гироскопа

Конфигурация, изображённая на рисунке 6 необходима для корректной работы устройства по протоколу I2C, высокой скорости замера изменения данных с осей X, Y, Z.

Разработка алгоритма управления. Для устройства лечения апноэ разработали алгоритм управления, который будет определять моменты, когда необходимо активировать вибромотор и динамик, чтобы пациент принял

положение, в котором стабилизируется дыхание. Этот алгоритм может быть основан на анализе данных сенсора гироскопа.

```
while (1)
{
    //Read accelerometer data
    MPU6050_Read_Accel(Buffer);

    //Check if button pressed
    if (HAL_GPIO_ReadPin(GPIOC, GPIO_PIN_15) == GPIO_PIN_RESET && buttonPressed == 0) {
        buttonPressed = 1;
        previousPosition = position;
        position = (position + 1) % 4;
    } else if (HAL_GPIO_ReadPin(GPIOC, GPIO_PIN_15) == GPIO_PIN_SET) {
        buttonPressed = 0;
    }

    //Activate speaker and vibration motor based on position
    switch (position) {
        case 0:
            //Reset speaker and vibration motor
            HAL_GPIO_WritePin(SPEAKER_PORT, SPEAKER_PIN, GPIO_PIN_RESET);
            HAL_GPIO_WritePin(VIBRATION_MOTOR_PORT, VIBRATION_MOTOR_PIN, GPIO_PIN_RESET);
            break;
        case 1:
            //Check if a specific X value is crossed
            if (Buffer[0] > X_THRESHOLD) {
                //Activate speaker
                HAL_GPIO_WritePin(SPEAKER_PORT, SPEAKER_PIN, GPIO_PIN_SET);
            } else {
                //Deactivate speaker
                HAL_GPIO_WritePin(SPEAKER_PORT, SPEAKER_PIN, GPIO_PIN_RESET);
            }
            break;
        case 2:
            //Check if a specific Y value is crossed
            if (Buffer[1] > Y_THRESHOLD) {
                //Activate speaker
                HAL_GPIO_WritePin(SPEAKER_PORT, SPEAKER_PIN, GPIO_PIN_SET);
            } else {
                //Deactivate speaker
                HAL_GPIO_WritePin(SPEAKER_PORT, SPEAKER_PIN, GPIO_PIN_RESET);
            }
            break;
    }
}
```

Рисунок 6 – Код реализации алгоритма индикации при нахождении в положениях при которых обостряются симптомы заболевания

Заключение. В заключение данной работы на тему можно сделать следующие выводы. Технологии и принципы работы устройств для лечения апноэ с применением модулей гироскопа, динамика и вибромотора представляют собой востребованные разработки, которые могут значительно улучшить жизнь пациентов, страдающих от данного заболевания. Гироскопы используются для определения положения и движения тела пациента, а динамики и вибромоторы создают вибрацию и звуки, которая побуждает пациента принять другое положение во время сна тем самым помогает предотвратить обструкцию дыхания. Перспективы развития устройств для лечения апноэ с использованием

гироскопа и динамика и вибромотора включают улучшение технологий и методов исследования, а также разработку более эффективных и комфортных устройств. Благодаря постоянному развитию научных и технических достижений в области медицины, можно ожидать появления новых инновационных решений для лечения апноэ.

14.06.2024

Евг

Ерешин, А.М.