



Физически факултет
Специалност: "Компютърно Инженерство"

Курсов Проект

на

Иван Табашки

Факултетен № 6РН0900015

Тема:

**Безжичен Bluetooth Low-Energy
сензор за околната среда**

Проверил: гл. ас. д-р Васил Вачков

<https://github.com/tabashki/PicoSensorApp>

София, май 2024

Съдържание

1	Въведение	3
2	Bluetooth Low Energy	4
2.1	История	4
2.2	Generic Attribute Profile (GATT)	4
2.3	Environmental Sensing Service (ESS)	5
3	Raspberry Pi Pico W	6
3.1	Параметри	6
4	Сензорен модул DHT22	7
4.1	Параметри	7
4.2	Комуникация с модула	7
5	Схема на прототипа	8
6	Функционално тестване	9

1 Въведение

Целта на този курсов проект е да се изработи функционален прототип на безжичен сензор за температура и влажност с управляеми изходни релета, базиран на микроконтролера Raspberry Pi Pico W [20] и цифровия сензор DHT22 [9]. За комуникационен протокол е избран съвременния Bluetooth Low Energy (BLE) стандарт, който се поддържа в днешно време от много мобилни устройства (смартфони, таблети, лаптопи), както и от Infineon CYW43439 [19] безжичният модул на Pi Pico W. Друг плюс е, че за разлика от подобни Wi-Fi базирани устройства, не се налага сложна процедура по автентикация и присъединение към домашна мрежа.

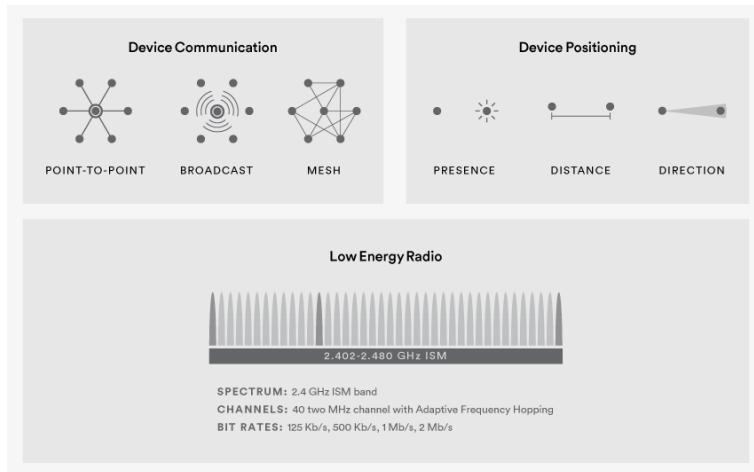
Устройства от подобен вид на този прототип почват да навлизат в нашия бит под формата на smart home системи за измерване и автоматизация. Такива системи обикновено се състоят от широк набор от прости сензорни устройства и дистанционни превключватели, които централно се управляват от компютър или подобно главно устройство. Така може на базата на зададени правила автоматично да се пускат и спират уреди в дома, като лампи, прозорци, печки, климатици и други при промяна в измерванията на сензорите. Примери за това са Apple HomeKit, Google Home и Matter стандартите. [7][6][1]



Фиг. 1: Някои от аспектите на smart home системи [16]

2 Bluetooth Low Energy

Bluetooth Low-Energy (съкратено BLE) е безжичен комуникационен протокол предвиден за комуникация между устройства, или мрежи от устройства разположени във физическа близост. Освен прилики по име и споделен честотен спектър, протокола е коренно различен от класическия Bluetooth стандарт за пренос на звукови и файлови данни. Главната цел на BLE стандарта е да позволи пренос на малки пакети от информация между устройства с изключително ниска консумация на енергия, на разстояния не повече от 100м. Това го прави изключително приложим за мрежи от безжични сензори.[14]



Фиг. 2: Общи предназначения и спецификации на BLE [14]

2.1 История

Стандарта оригинално е разработен от Nokia с кодовото име Blulite, като през Октомври 2006 г. е обявен на пазара под името Wibree. Бил е предназначен за употреба в безжични устройства, където се налага дълготрайна операция на батерия, като часовници, персонални фитнес сензори, медицински сензори, компютърни периферии и други. Важен аспект дори на оригиналния стандарт е да позволи устройства с едни и същи радия и антени като съществуващия Bluetooth стандарт, за да може да оперират симбиозно без сериозно усложнение на мобилните устройства. [18] В последствие Nokia дарява стандарта на Bluetooth SIG, организацията притежаваща Bluetooth стандарта, и през 2009 г. формално е обявен Low Energy под-стандарт във версия 4.0 на Bluetooth Core спецификацията. [12]

2.2 Generic Attribute Profile (GATT)

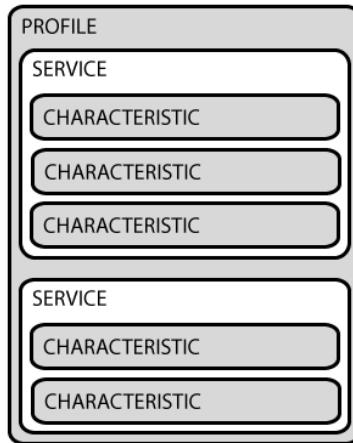
BLE стандарта включва набор от профили, които определят логическата процедурата за пренос на данни между набор от устройства, като най-основния, и най-съществен за този проект, е общия атрибулен профил (GATT). Този профил организира възможностите на едно устройство в йерархия от услуги (Services), които съдържат набор от характеристики (Characteristics), като всички нива на йерархията се идентифицират с уникални 128-битови идентификатори (UUID), като част от тях са дефинирани от стандарта и се предават със съкратен 16-битов запис. [13]

Характеристиките описват широк набор от измерени физични величини или състояния на периферното устройство, като може да се състоят от една или повече скаларни стойности, с точно определен байтов формат. Всички скаларни стойности в GATT, освен при някои

изключения, използват следата формула за интерпретиране на сировата бинарна стойност, като конкретните параметри са описани в характеристиката. [15]

$$R = C * M * 10^d * 2^b,$$

Където R - крайната интерпретирана стойност, C - сировата стойност, M - фиксиран множител в диапазона $[+10; -10]$, d - десетична степен, b - двуична степен.



Фиг. 3: BLE GATT йерархията [?]

Всяка характеристика трябва да има набор от поне 1 от 6 възможни операции, които едно клиентско устройство може да извърши, описано обикновено от спецификацията на услугата или към спецификацията на самата характеристика. Следната таблица изрежда името на операцията по стандарта както и действията, които извършват: [8]

Broadcast	Стойността може да бъде разпространена към всички клиенти
Read	Стойността може да бъде прочетена
Write without response	Стойността може да бъде записана
Write	Стойността може да бъде записана, като после ще се върне отговор към клиента
Reliable write	Стойността може да бъде записана, като първо ще се потвърди записа с клейнта
Notify	Периферията може да прати обявление към клейнта
Indicate	Периферията може да прати обявление към клиента и очаква отговор

2.3 Environmental Sensing Service (ESS)

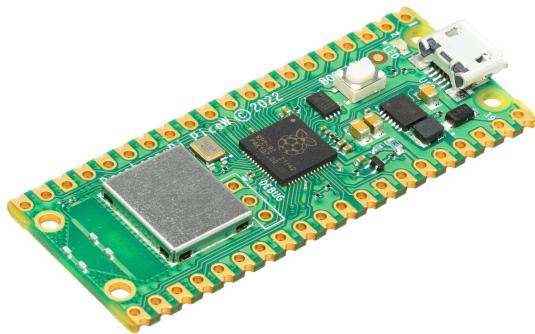
За целите на този проект, ще се наблюда най-вече на услугата за сензорни на околната среда (ESS), която дефинира набор от характеристики за измерване на широк набор от физични параметри на околната среда [13]. Някои примерни характеристики дефинирани са:

- Скорост на вятъра
- Концентрация на въглероден оксид
- Влажност
- Температура

3 Raspberry Pi Pico W

Raspberry Pi Pico е серия от микроконтролерни платформи за прототипни разработки създадени от Raspberry Pi Foundation. За разлика от скъпите и мощните Raspberry Pi едноплаткови компютри, които обикновено изискват инсталрирана Linux операционна система за да функционират, при Pi Pico серията директно се програмира вградения RP2040 микроконтролерен чип. [20] Благодарение на което платформата се поддържа от познатите Arduino и MicroPython средите за програмиране на микроконтролери. [4][5] За целта на този проект ще се използва Raspberry Pi Pico W варианта, който включва вграден Wi-Fi + Bluetooth модул за безжична комуникация.

3.1 Пареметри



Фиг. 4: Външен вид на микроконтролера Raspberry Pi Pico W [10]

Захранване	5V DC вход (през Micro USB), вграден стабилизатор с 3.3V изход
Ядро	2x Arm Cortex-M0
Тактова честота	133 MHz
RAM памет	264 kB SRAM
Програмна памет	2 MB QSPI Flash на платката
Входове/изходи	26 мултифункционални цифрови GPIO, 3 аналогови входа
Периферни контролери	1x USB 1.1, 2x UART, 2x SPI, 2x I ² C, 16x PWM
Безжична комуникация	Infineon CYW43439 модул – поддържа 802.11n Wi-Fi (само на 2.4 GHz) и Bluetooth 5.2

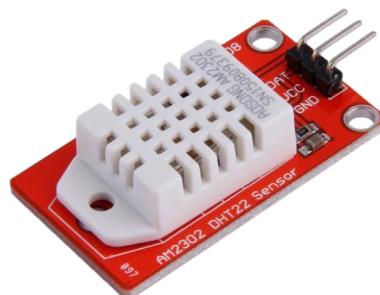
RP2040 чипа е специално разработен от Raspberry Pi Foundation за микроконтролерни приложения, като предоставя висока производителност и интерфейсна гъвкавост на много ниска цена. Чипа може много лесно да се препрограмира през USB без нуждата от специализиран хардуер или софтуер.

4 Сензорен модул DHT22

DHT22 (също и идентифиран като AM2302) е цифров сензорен модул, който измерва температура и относителна влажност на въздуха. Принципна на работа е капацитивен за измерване на влажността и термисторен за температурата, като обработката на аналоговите сигнали се извършват в 8-битов микроконтролер на самия модул. Той е широко разпространен, с добра калибрирана точност и на достъпно ниска цена, което го прави подходящ за този прототипен проект. [9]

4.1 Параметри

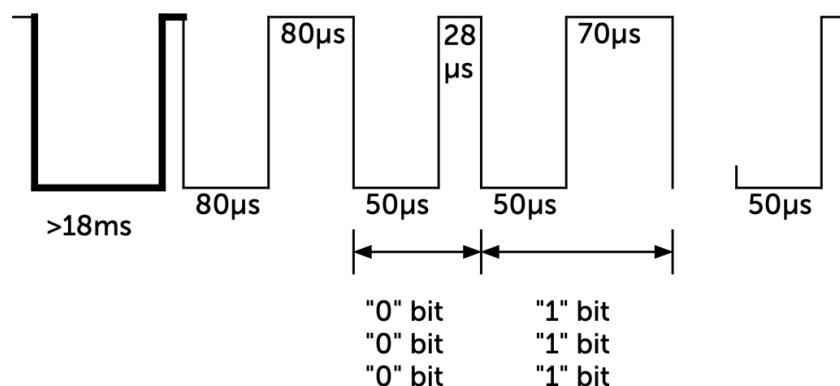
Захранване	3.3 - 6V DC
Температурна точност	-40 \div +80°C $\pm 0.5^\circ\text{C}$
Влажностна точност	0 \div 100% $\pm 2\%$ ($\pm 5\%$ max)
Време за измерване	Средно 2 секунди



Фиг. 5: Цифровия сензор DHT22 [11]

4.2 Комуникация с модула

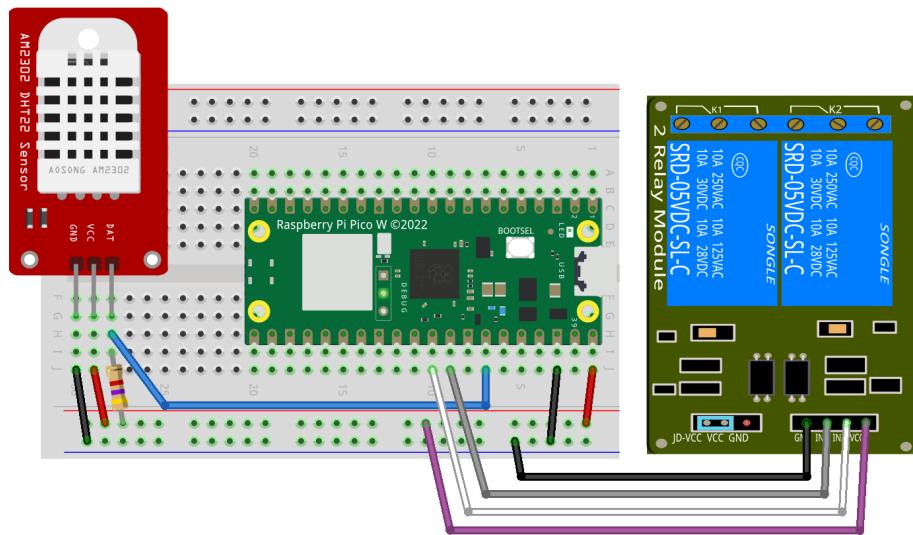
Комуникацията с модула се осъществява с нестандартен вариант на 1-Wire протокола, който е имплементиран в много програмни библиотеки за популярни микроконтролерни платформи, като в случая се използва вградената в micropython. [3] Аналогично като при 1-Wire, налага се да поставим приблизително $5k\Omega$ pull-up резистор на шината за данни, иначе няма да могат крайните устройства да свалят нивото към логическа нула за да комуникират.



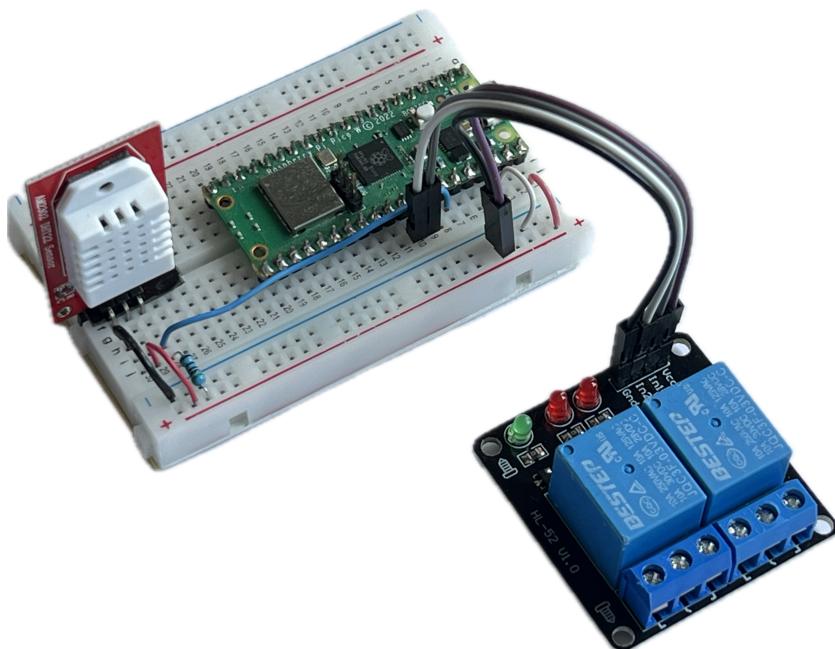
Фиг. 6: Времева диаграма на DHT22 1-Wire [2]

5 Схема на прототипа

За опроводяване на прототипа използваме стандартна прототипна платка тип breadboard, на която можем директно да включим Pi Pico W микроконтролера, както и DHT22 сензора. Тъй като модула с релетата е предоставен на отделна печатна платка с рейка, се налага да използваме жички с двата вида накрайници за да може да го свършем към останалата схема. Освен жиците има поставен $5.1\text{ k}\Omega$ pull-up резистор, на шината за данни към DHT22 сензора за да функционира 1-Wire протокола.



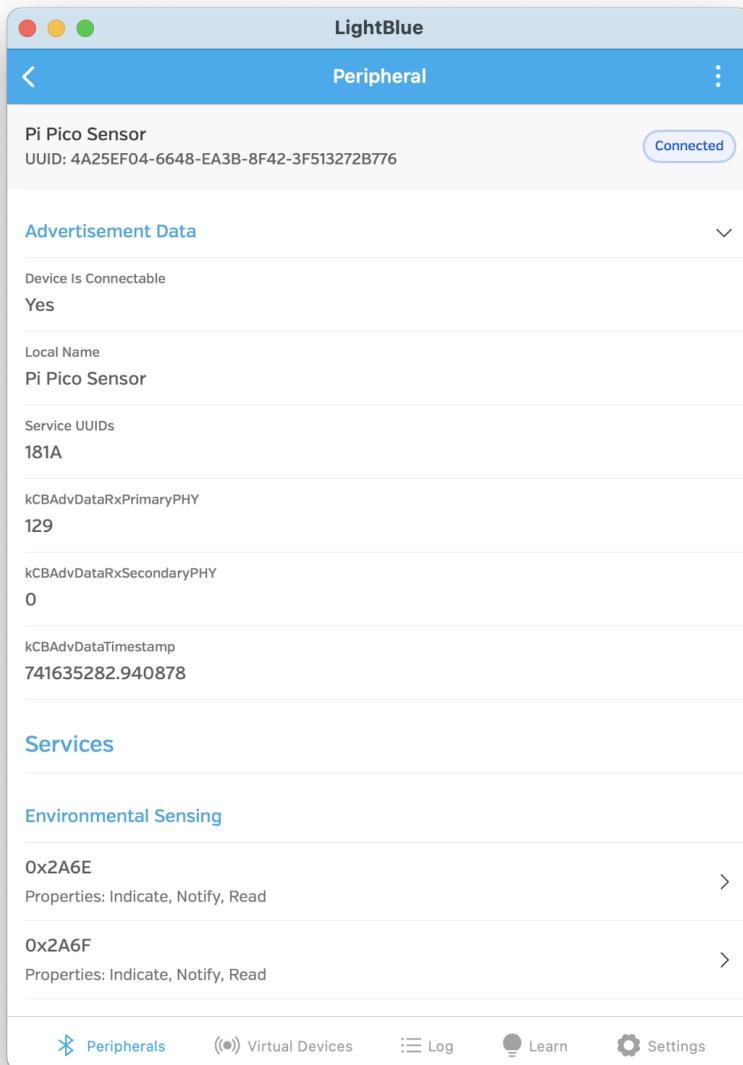
Фиг. 7: Схема на свързване на прототипа



Фиг. 8: Снимка на сглобения прототип

6 Функционално тестване

Благодарение на силната стандартизация в Bluetooth Low Energy протокола, съществува богата екосистема от софтуерни инструменти за тестване и анализиране на BLE устройства. Пример за това е приложението LightBlue [17], което ни позволява да анализираме всички околни устройства с помощта на вградения Bluetooth хардуер в нашето мобилно устройство. По този начин може да се уверим, че правилно нашият прототип рекламира към околните устройства правилните характеристики, както и да прочитаме стойностите им.



Фиг. 9: BLE информация за прототипа в LightBlue

Освен функционалната демонстрацията чрез LightBlue, допълнително към проекта е изработено прототипно мобилно приложение. Целта на което е да предостави по-удобно за един потребител начин за свързване и лесно прочитане на моментното състояние на безжичния сензор.

Библиография

- [1] Connectivity Standards Alliance. The foundation for connected things. 2024.
 - [2] Tom Almy. One wire and the dht11/dht22 sensor. 2021.
 - [3] The MicroPython Documentation. Temperature and humidity. 2024.
 - [4] III Earle F. Philhower. Arduino-pico - documentation. 2022.
 - [5] Raspberry Pi Foundation. Micropython - raspberry pi documentation. 2024.
 - [6] Google. What is google home. 2024.
 - [7] Tom's Guide. Apple homekit: What is it, and how do you use it? 2020.
 - [8] Nick Hunn. *Bluetooth low energy (formerly Wibree)*, page 176–207. The Cambridge Wireless Essentials Series. Cambridge University Press, 2010.
 - [9] Aosong Electronics Co. Ltd. Dht22 (am2302) specifications. 2010.
 - [10] Farnell Ltd. Raspberry-pi raspberry pi pico w. 2024.
 - [11] Future Electronics Egypt Store Page. Precision digital temperature & humidity sensor module (dht22). 2024.
 - [12] Bluetooth SIG. Bluetooth core specification version 4.0. 2010.
 - [13] Bluetooth SIG. Assigned numbers. 2024.
 - [14] Bluetooth SIG. Bluetooth® technology overview. 2024.
 - [15] Bluetooth SIG. Gatt specification supplement. 2024.
 - [16] Techopedia. How to build a smart home: A step-by-step guide 2024. 2023.
 - [17] Punch Through. Lightblue® the go-to ble development tool. 2024.
 - [18] How Stuff Works Website. Is wibree going to rival bluetooth? 2006.
 - [19] Infineon Technologies AG Website. Infineon's airoc™ cyw43439. 2024.
 - [20] Raspberry Pi Foundation Website. Raspberry pi pico and pico w. 2024.
-