

SER5

Srednja elektro-računalniška šola Maribor

Mitja Bauman

**Določitev optimalnega
komunikacijskega protokola za
pametni dom**

Raziskovalna naloga

Maribor, Januar 2024

Določitev optimalnega komunikacijskega protokola za pametni dom

Raziskovalna naloga

Dijak: Mitja Bauman
Izobraževalni program: 1. letnik, Tehnik računalništva
Mentor: Gregor Nikolić, mag. inž. el.

ZAHVALA

Primerno je, da se ob zaključku svojega dela zahvalim mentorju Gregorju Nikoliću, da mi je omogočil sodelovati pri raziskovalni nalogi.

Določitev optimalnega komunikacijskega protokola za pametni dom

Ključne besede: Pametni dom, Protokoli za pametni dom

Povzetek

V raziskovalni nalogi smo spoznavali in določali optimalni komunikacijski sistem za pametni dom. Želeli smo primerjati različne protokole od cene do frekvence delovanja in kakšne so njihove prednosti in slabosti.

Determining the optimal communication protocol for the smart home

Keywords: smart home, home automation protocols

Abstract

In this research task we will determine the optimal communication system for smart home, we will achieve our goal by comparing different protocols from price to frequency of operating and what are their advantages and disadvantages.

KAZALO VSEBINE

KAZALO VSEBINE	VI
KAZALO SLIK	VII
UPORABLJENI SIMBOLI IN KRATICE	VII
1 UVOD.....	1
2 TEHNOLOŠKI PREGLED	2
2.1 Specifikacije komunikacijskega protokola: MQTT	2
2.2 Specifikacije komunikacijskega protokola: Z-Wave	3
2.3 Specifikacije komunikacijskega protokola: WI-FI	4
2.4 Specifikacije komunikacijskega protokola: Zigbee	5
2.5 Specifikacije komunikacijskega protokola: Bluetooth.....	6
3 ZASNOVA IN IZVEDBA	7
3.1 Kako deluje MQTT?	7
3.2 Koncept sistema za avtomatizacijo pametnega doma	8
3.3 Izvedba	9
3.3.1 Programiranje mikrokontrolerov (Client).....	9
3.3.2 Programiranje strežnika	11
4 MERITVE IN REZULTATI.....	12
4.1 Primerjava zakasnitev (latency)	12
4.2 Primerjava če je protokol odprtokodni.....	12
4.3 Primerjava frekvence delovanja.....	12
5 ZAKLJUČEK	15
VIRI IN LITERATURA.....	16

KAZALO SLIK

Slika 1 Logotip protokola MQTT	2
Slika 2 Logotip protokola Z-Wave	3
Slika 3 Logotip protokola Wi-Fi.....	4
Slika 4 Logotip protokola Zigbee	5
Slika 5 Logotip protokola Bluetooth.....	6
Slika 6 MQTT komunikacija.....	7
Slika 7 Zasnovan koncept sistema za avtomatizacijo pametnega doma s pomočjo protokolov	8
Slika 8 Programsko okolje Arduino IDE.....	9
Slika 9 Izdelek	10
Slika 10 Vklapljanje luči v Applovi HomeKit aplikaciji	10
Slika 11 Grafana	11
Slika 12 Apple HomeKit aplikacija.....	11

UPORABLJENI SIMBOLI IN KRATICE

MQTT - Message Queuing Telemetry Transport, telemetrični transport s čakanjem na sporočila

OpenSource - programska oprema, katere izvorna koda je prosto dostopna ter se lahko razširja in spreminja.

IoT - izraz IoT ali internet stvari se nanaša na skupno omrežje povezanih naprav in tehnologijo, ki omogoča komunikacijo med napravami in oblakom ter med samimi napravami.

Latency - Latency je čas, ki je potreben za prenos podatkov od ene točke v omrežju do druge.

1 UVOD

V raziskovalni nalogi želimo ugotoviti kateri komunikacijski protokol za pametni dom je najbolj optimalen. Protokole bomo primerjali s vidikov zakasnitev (latency), dostopnosti (če je protokol openSource), ceni in po njegovem letu izdaje.

Primerjali bomo naslednje protokole:

- MQTT
- Z-WAVE
- WI-FI
- ZIGBEE
- BLUETOOTH

2 TEHNOLOŠKI PREGLED

Komunikacijski protokoli za pametni dom so del standardov, ki določajo način komuniciranja med napravami in zagotavljajo kompatibilnost med napravami različnih proizvajalcev. Protokoli tudi pomagajo pri prenosov podatkov za preverjanje pristnosti ter odkrivanju in popravljanju napak.

Najbolj znani komunikacijski protokoli so MQTT, Z-Wave, Zigbee, Wi-Fi in Bluetooth.

2.1 Specifikacije komunikacijskega protokola: MQTT

MQTT je preporsit komunikacijski protokol, ki je bil izdan leta 1999 in deluje z tehnologijo Wi-Fi. Glavna prednost protokola MQTT je majhna količina prenesenih podatkov, kar omogoča hitro prenosovanje podatkov in je optimalno za IoT aplikacije. [1]



Slika 1 | Logotip protokola MQTT

IME PROTOKOLA	MQTT
LETO IZDAJE	1999
FREKVENCA DELOVANJA	2.5GHZ in 5GHZ
ALI JE OPENSOURCE?	DA
PREDNOSTI	
	Nizka cena
	Preporst
	Deluje na napravah z WiFijem
SLABOSTI	
	Brez funkcij za odkrivanje drugih naprave
Latency	povprečno 1700ms pri 1000 napravah in okoli 2500 ms pri 10000 napravah https://docs.iotify.io/iot-testing/iot-performance-testing/mqtt-end-to-end-latency-measurement
Vir testa:	https://docs.iotify.io/iot-testing/iot-performance-testing/mqtt-end-to-end-latency-measurement

2.2 Specifikacije komunikacijskega protokola: Z-Wave

Z-Wave je komunikacijski protokol izdan leta 1999 in je bil namenjen za »low latency« prenos podatkov do hitrosti 10kbit/s.[2]



Slika 2 | Logotip protokola Z-Wave

IME PROTOKOLA	Z-Wave
LETO IZDAJE	1999
FREKVENCA DELOVANJA	800-900 MHZ
ALI JE OPENSOURCE?	NE
PREDNOSTI	
	Velika izbira naprav
	Ne deluje na frekvenci 2.4 GHZ
	Ima funkcijo za odkrivanje drugih naprav
SLABOSTI	
	Visoka cena
Latency	Odvisno od števila naprav in moči procesorja
Vir testa:	https://community.home-assistant.io/t/improve-my-zwave-latency/136648

2.3 Specifikacije komunikacijskega protokola: WI-FI

Wi-Fi je komunikacijski protokol izdan leta 1997[3] in je zaščiten blagovna znamka WI-FI Allienca, ki prepoveduje izraz ""Wi-Fi Certified".[4]



Slika 3 | Logotip protokola Wi-Fi

IME PROTOKOLA	WI-FI
LETO IZDAJE	1997
FREKVENCA DELOVANJA	2.4GHZ in 5GHZ
ALI JE OPENSOURCE?	NE
PREDNOSTI	
	Nizka cena
	Ima veliko izbiro naprav
	Odlično za podatkovne intenzivne naprave
SLABOSTI	
	Večino naprav deluje preko oblaka s pomočjo interneta
Latency	3-4ms v določenih primerih pa > 100ms
Vir testa:	https://itigic.com/high-latency-when-using-the-wifi-network-at-home/

2.4 Specifikacije komunikacijskega protokola: Zigbee

Zigbee je komunikacijski protokol izdan leta 1998. Zigbee je za reševanje edinstvenih potreb nizkocenovnih brezžičnih podatkovnih omrežij IoT z nizko porabo energije. Deluje na razdalji od 10–100 metrov in je znan po tem da je odprtokodni in deluje podobno kot Z-Wave. [5]



Slika 4 | Logotip protokola Zigbee

IME PROTOKOLA	Zigbee
LETO IZDAJE	1998
FREKVENCA DELOVANJA	2.4GHZ
ALI JE OPENSOURCE?	DA
PREDNOSTI	
	Nizka cena
	Ima veliko izbiro naprav
SLABOSTI	
	Omejuje druge naprave na frekvenci 2.4GHZ in 5GHZ
	Občasno nezanesljiv
Latency	~80ms do 130ms
Vir testa:	https://www.silabs.com/wireless/multiprotocol/mesh-performance

2.5 Specifikacije komunikacijskega protokola: Bluetooth

Bluetooth je komunikacijski protokol izdan leta 1998. Bluetooth je bil izumljen za brezžično komunikacijo na kratke razdalje med elektronskimi napravami. [6]

Pogoste je uporabljen pri brezžičnih slušalkah, miškah, mikrofonih zaradi majhne uporabe elektrike.



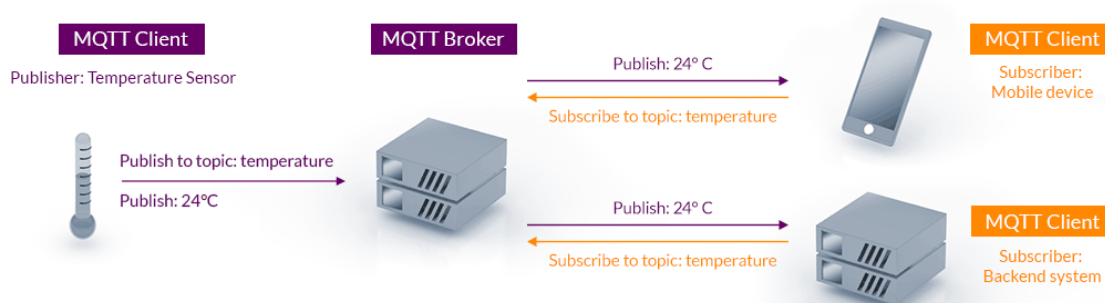
Slika 5 | Logotip protokola Bluetooth

IME PROTOKOLA	Bluetooth
LETO IZDAJE	1998
FREKVENCA DELOVANJA	2.4GHZ
ALI JE OPENSOURCE?	NE
PREDNOSTI	
	Nizka cena
SLABOSTI	
	Majhna razdalja
	Deluje na frekvenci 2.4GHZ
Latency	Največja zakasnitev omrežja Bluetooth je pri 60 ms in se razširi čez 250 ms
Vir testa:	https://www.silabs.com/wireless/multiprotocol/mesh-performance

3 ZASNOVA IN IZVEDBA

3.1 Kako deluje MQTT?

Komunikacijski protokol MQTT deluje s pomočjo izdajateljev in naročnikov (publish/subscribe) ali krajše pub/sub, s protokolom želijo čim bolj izkoristiti pasovno širino (bandwidth), v primeru tradicionalne arhitekture, ki neposredno komunicira s končno točko. Pri MQTT izdajatelj in naročnik (publisher/subscriber) sta ločena in potrebuje server (broker) na med njima, primer takšne komunikacije je predstavljen na sliki 6 [7]

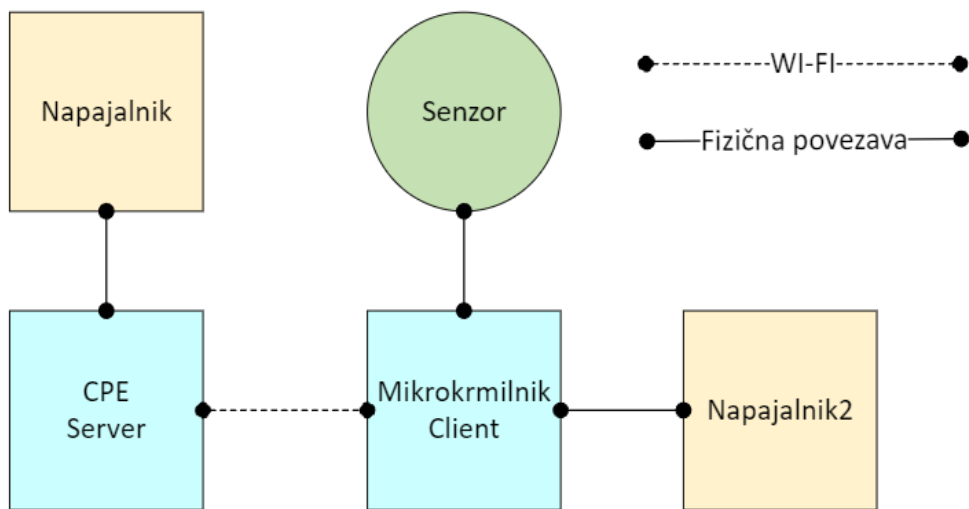


Slika 6 | MQTT komunikacija

Protokol MQTT deluje tako, da se posamezne naprave naročijo na posamezne tako imenovane teme (topic-e) na katere lahko pošiljajo ali pa prejemajo podatke. Lahko le pošiljajo ali le prejemajo ali pa oboje hkrati. V nadaljevanju smo zasnovali osnovni koncept za preizkušanje protokola. Želimo ga preizkusiti in primerjati z vsaj enim izmed spoznanih.

3.2 Koncept sistema za avtomatizacijo pametnega doma

Pri izvedbi uporabljamo Esp32 mikrokrmilnik za izvedbo odjemalca (Client), Raspberry 4 za realizacijo strežnika (Broker). Odjemalec vsebuje tudi senzor vlage in temperature: Asaur am2315. Razvili smo tudi vmesnik s pomočjo Applove Home aplikacije kjer si lahko ogledamo temperaturo in vlago ter stanje naprav. V vmesniku je vključeno tudi stikalo, ki nam omogoča ponovni zagon naprav, vklapljanje/izklapljanje integriranih lučk na mikrokrmilniku ipd. Koncept zasnovanega sistema je predstavljen na sliki 7.



Slika 7 | Zasnovan koncept sistema za avtomatizacijo pametnega doma s pomočjo protokolov

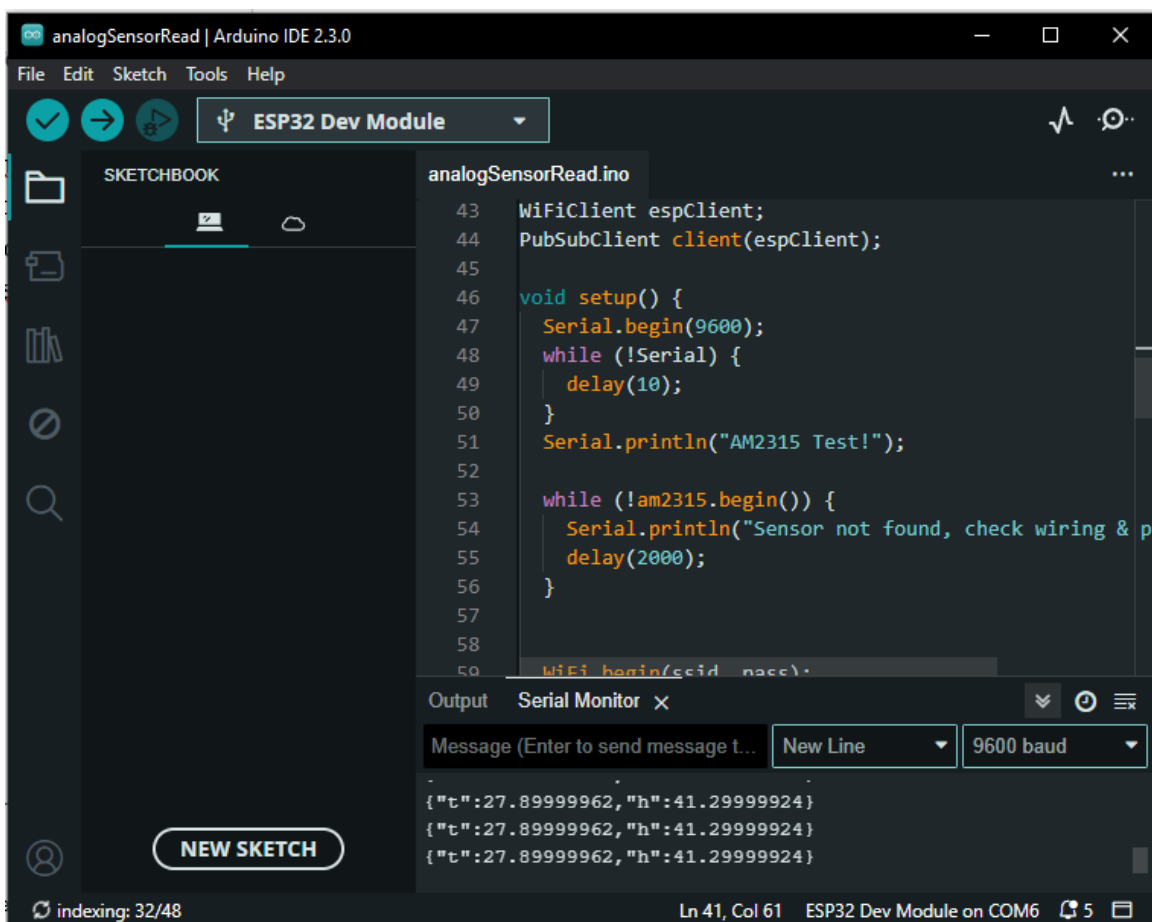
- **CPE / Server;** RaspberryPI 4 – Vsebuje dovolj močan procesor za procesiranje vseh drugih mikrokrmilnikov (clientov/uporabnikov).
- **Mikrokrmilnik;** Esp32 s usb C priključkom – Izbrali smo Esp32, ker je cena nizka, ima dovolj zmogljivi procesor za “cliente”/uporabnike in zaradi usb c priključka kjer lahko uporabljamo napajalnik od telefona .
- **Senzor;** Uporabljali smo **Asair am2315** senzor vlage in temperature izbran je bil zaradi lahke integracije s mikrokrmilnikom.
- **Napajalnik 1/2;** Uporabljali bomo 15W usb c napajalnik.

3.3 Izvedba

Prej zasnovan sistem smo realizirali in pripravili vgrajeno programsko kodo za odjemalca in strežnik. Najprej smo realizirali programsko kodo za odjemalca.

3.3.1 Programiranje mikrokrmilnika (Client)

Priključili smo senzor AM2315 na mikrokrmilnik Esp32 in nato smo z USB C kablom priključili mikrokrmilnik na računalnik. Programirali smo v jeziku, ki je različica C++ in pisali smo v programskem okolju Arduino IDE kjer smo napisali kodo za mikrokrmilnik [9,8]. Programsko okolje je predstavljeno na sliki 8.



Slika 8 | Programsko okolje Arduino IDE

V programski kodi smo zapisali vrednosti za povezovanje na WiFi omrežje, katerega smo realizirali kot lokalno omrežje z lastnim usmerjevalnikom TP Link AX5400 Wi-Fi 6 Router. Nastavili smo temo – delo, ki ga upravlja mikrokrmilnik, naslov in vrata MQTT strežnika (Broker-ja). Primer nastavitve je predstavljen v nadaljevanju.

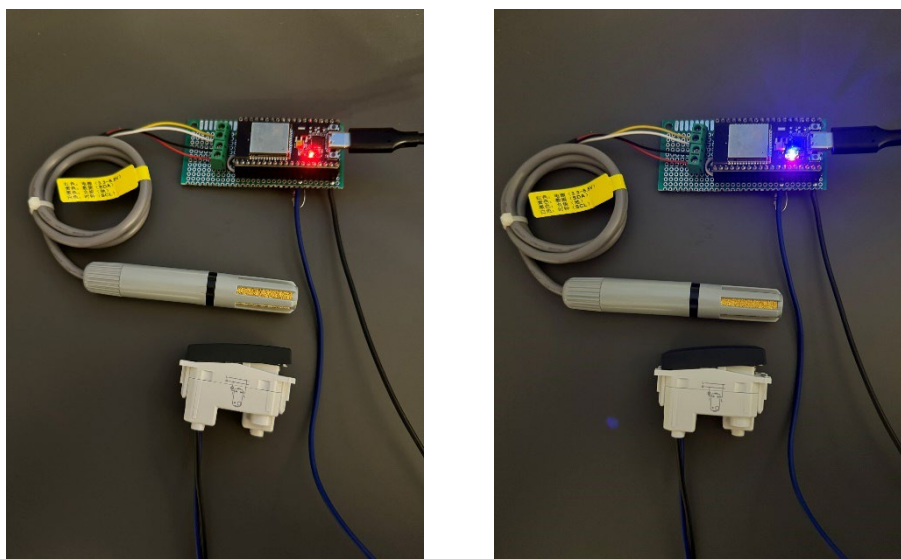

```

const char* ssid = "ime-omrezja";           // Name of the wifi network
const char* pass = "geslo123";            // WiFi password
const char* mqtt_serv = "192.168.181.2";  // IP address of mqtt server
const int mqtt_port = 1883;               // Port of mqtt server

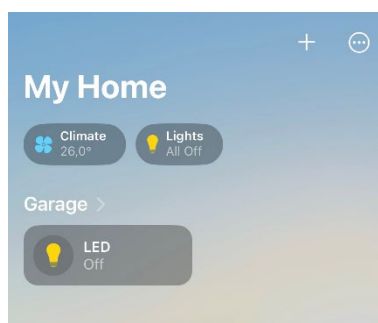
const char* topic = "sensor/temperature&vlage"; // Clients topic

```

Dodali smo tudi preprosto stikalo s katerim lahko vklapljamo ali izklapljamo modro lučko na mikrokontroler, ki predstavlja končnega porabnika katerega lahko upravljamo. Vežava posameznih elementov je prikazana na sliki 9. Imamo pa še opcijo vklapljanja ali izklapljanja lučke v Applovi HomeKit aplikaciji (Glej sliko 10).



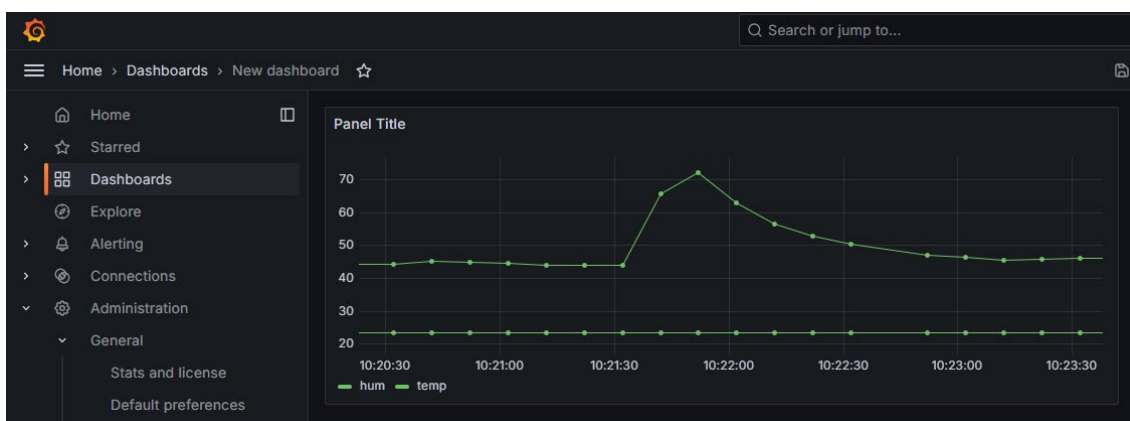
Slika 9 | Izdelek



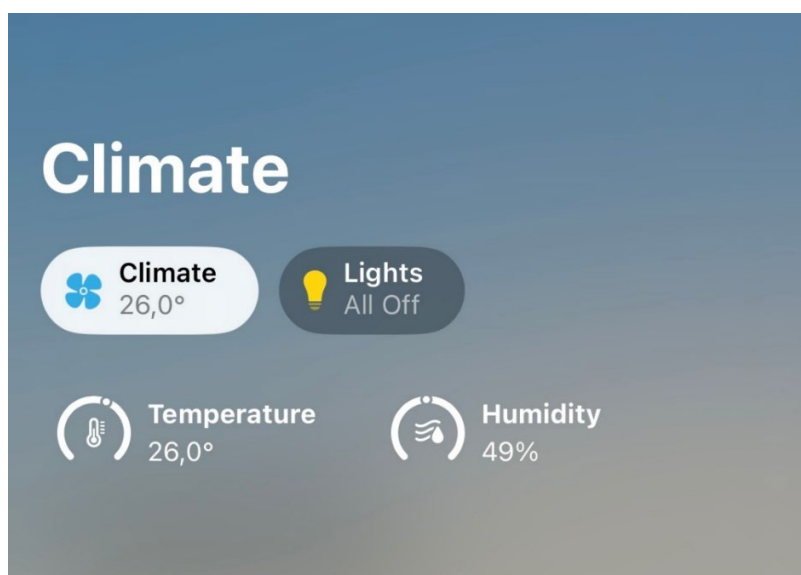
Slika 10 | Vklapljanje luči v Applovi HomeKit aplikaciji

3.3.2 Programiranje strežnika

Strežnik smo programirali v programskem jeziku Java, ki pošilja vse informacije v aplikacijo Apple HomeKit (primer prikazovanja temperature in vlage je predstavljeno na sliki 11) in v podatkovno bazo MYSQL, do katere dostopa spletno mesto Grafana in nato vizualizira podatke v grafih in tabelah, primer prikazovanja temperature in vlage je prikazano na sliki 11, prikaz rezultatov v aplikaciji Apple HomeKit pa je prikazano na sliki 12.



Slika 11 | Grafana



Slika 12 | Apple HomeKit aplikacija

4 MERITVE IN REZULTATI

Pri določanju optimalnega komunikacijskega protokola za pametni dom smo ugotovili, da je MQTT najprimernejši protokol zaradi preprostosti, lahke integracije, nizkega latencya in cene. Naprave, ki uporabljajo MQTT ne potrebujejo kakršne koli certifikacije, ker je MQTT odprtokodni in ker uporablja obstoječe WiFi omrežje. V nadaljevanju predstavljamo zbrane podatke posameznih protokolov.

4.1 Primerjava zakasnitev (latency)

	MQTT	Z-Wave	Zigbee	Wi-Fi	Bluetooth
Latency / zakasnitev	4,7 ms	/	80 ms	3 ms	60 ms

4.2 Primerjava če je protokol odprtokodni

	MQTT	Z-Wave	Zigbee	Wi-Fi	Bluetooth
Ali je odprtokodno?	Da	Ne	Da	Ne	Ne

4.3 Primerjava frekvence delovanja

	MQTT	Z-Wave	Zigbee	Wi-Fi	Bluetooth
Frekvenca delovanja	2,4 GHz in 5 GHz	800-900 MHz	2,4 GHz	2,4 GHz in 5 GHz	2,4 GHz

V prej predstavljenih tabelah, so primerjani različni podatki posameznih protokolov. Iz razpoložljivih podatkov lahko razberemo, da ima najmanjšo zakasnitev protokol MQTT in neposredna uporaba WiFi. Med odprtokodnimi sta zgolj MQTT in Zigbee, pri čemer ima Zigbee precejšnjo zakasnitev. Če ocenjujemo, da je večja frekvenca tudi boljša zmogljivost, potem lahko izpostavimo Z-Wave, ki je najpočasnejši in Zigbee ter Bluetooth, ki imata frekvenco delovanja le 2,4 GHz, medtem ko imajo drugi protokoli tudi frekvenco

5 GHz. Smiselno vsem ugotovitvam, ocenjujemo, da je najbolj optimalen protokol MQTT.

Želeli smo primerjati ne le že zbrane podatke, temveč tudi enega izmed parametrov med najbolj primernima protokoloma za pametni dom; WiFi in MQTT. Pomeni neposredno komunikacijo modulov preko omrežja WiFi, ki ga uporabljajo moduli kitajskega porekla in naš realiziran sistem, ki sicer tudi deluje preko omrežja WiFi in uporablja protokol MQTT.

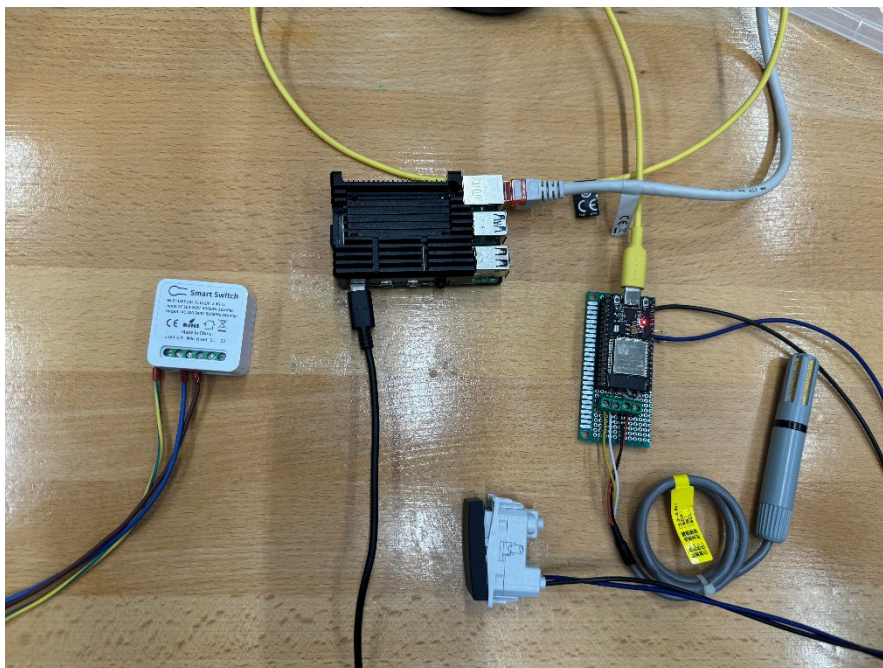
Odzivni čas vklapljanja in izklapljanja modre led luči (ki predstavlja uporabnika) iz aplikacije smo primerjali z Wi-Fi moduli in smo ugotovili, da so Wi-Fi moduli nekoliko hitrejši, zakasnitve smo ocenili zgolj vizualno. Zavedamo se, da je to le ocena in bi za natančno določitev zakasnitve morali opraviti natančnejše meritve. Da pa bi dosegli natančnejšo meritev pa bi uporabili merilno napravo za merjenje zakasnitev, ki bi delovala tako, da bi delektirala začetek in konec določenega procesa in med tem izmerila čas zahteve in odziva. Tako bi natančno izmeril odzivnost posamezne naprave. Koncept merilne sheme je prikazana na sliki 13.



Slika 13 | Zasnovan koncept za merjenje odzivnosti naprav

- **Merilna naprava za merjenje zakasnitev;** Raspberry Pi pico – Cenovno ugodni mikrokrmilnik z veliko zmogljivostjo .
- **Naprava 1;** Wi-Fi modul. (Glej sliko 14)
- **Naprava 2;** ESP32 s MQTT protokolom. (Glej sliko 14)

Zasnovan sistem katerega smo uporabljali za testiranje delovanja protokola MQTT je predstavljen na sliki 14. Na levi strani je predstavljen modul WiFi, ki deluje neposredno preko omrežja WiFi in na desni strani zasnovan sistem, kjer je na sredini strežnik MQTT (Broker), desno od njega pa koncept odjemalca (Client), na katerega je povezan senzor in tipkalo.



Slika 14 | Končni izdelek (desno) in Wi-Fi modul kitajskega porekla (levo)

Nadaljnji razvoj zasnovanega sistema bi bil v smeri priprave merilnega sistema, s katerim bi lahko nato posamezne sisteme testirali v realnem okolju. Zavedamo se namreč, da so tabelirani podatki eno, realno stanje in delovanje v praksi pa druga realnost.

5 ZAKLJUČEK

V raziskovalni nalogi smo ugotovili, da je najoptimalnejši komunikacijski protokol MQTT, ugotovili smo s pomočjo primerjav, ki so bile od cene do frekvence delovanja. Ugotovili smo tudi kako protokol deluje in kako lahko izdelamo naprave za pametni dom, ugotovili smo kako lahko dodamo vmesnik s pomočjo Applevega HomeKit API (Application Programming Interface) protokola. Ugotavljali smo še kako bi lahko nalogo izpopolnili in kaj še bi lahko dodali ter predlagali nadaljnji razvoj.

VIRI IN LITERATURA

Končano kodo/program za Esp32 in RaspberryPi 4, ki komunicirata s pomočjo MQTT lahko najdete na mojem github računu. (<https://github.com/1mitl>)

- [1] 'What is MQTT and How It Works | Random Nerd Tutorials'. Accessed: Feb. 08, 2024. [Online]. Available: <https://randomnerdtutorials.com/what-is-mqtt-and-how-it-works/>
- [2] 'Z-Wave - Wikipedia'. Accessed: Feb. 08, 2024. [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Z-Wave>
- [3] 'Wi-Fi - Wikipedia'. Accessed: Feb. 08, 2024. [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi>
- [4] 'When Is Wi-Fi NOT The Answer? - Zigbee and Z-Wave - YouTube'. Accessed: Feb. 08, 2024. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=p4vZb-prlto>
- [5] 'What is Zigbee? Everything you need to know | Expert Reviews'. Accessed: Feb. 08, 2024. [Online]. Available: <https://www.expertreviews.co.uk/home/1408755/what-is-zigbee>
- [6] 'Bluetooth', *Wikipedia*. Jan. 28, 2024. Accessed: Feb. 08, 2024. [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Bluetooth&oldid=1199915854>
- [7] 'MQTT Explorer | An all-round MQTT client that provides a structured topic overview'. Accessed: Feb. 08, 2024. [Online]. Available: <https://mqtt-explorer.com/>
- [8] 'AM2315.pdf'. Accessed: Feb. 08, 2024. [Online]. Available: <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/AM2315.pdf>
- [9] 'Software'. Accessed: Feb. 08, 2024. [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/software>