

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

DIPLOMSKI PROJEKT

**Integracija razvojnog sustava
ESP32-C3-DevKitM-1 s računalnim
oblakom servisa AWS u IoT
sustavima**

Jelena Gavran

Voditelj: prof. dr. sc. Hrvoje Džapo

Zagreb, siječanj 2024.

SADRŽAJ

Popis slika	ii
Popis isječaka koda	ii
1. Uvod	1
2. Razvojni sustav ESP32-C3-DevKitM-1	2
2.1. Wi-Fi	3
3. Amazon Web Services (AWS)	7
3.1. Usluge AWS-a za Internet stvari	7
3.1.1. IoT 1-Click	7
3.1.2. IoT Analytics	7
3.1.3. IoT Core	7
3.1.4. IoT Device Defender	7
3.1.5. IoT Device Management	7
3.1.6. IoT Events	7
3.1.7. AWS IoT FleetWise	7
3.1.8. IoT Greengrass	7
3.1.9. IoT Roborunner	7
3.1.10. IoT SiteWise	7
3.1.11. IoT TwinkMaker	7
4. Integracija računalnog oblaka i razvojnog sustava	8
4.1. Probno povezivanje korištenjem demo aplikacije AWS Quick Connect	8
5. Zaključak	10
6. Literatura	11

POPIS SLIKA

2.1.	Konfiguracija razvojnog sustava ESP32-C3-DevKitM-1 [4]	2
2.2.	Blok dijagram modula ESP32-C3 [2]	3
2.3.	Wi-Fi RF standardi [3]	5
2.4.	Primjer scenarija Wi-Fi povezivanja u načinu rada stanice [4]	6
2.5.	Primjer scenarija Wi-Fi povezivanja u načinu rada pristupne točke [4]	6
4.1.	Ispis u konzoli pri pokretanju demo aplikacije Quick Connect	8
4.2.	Ispis slanja paketa MQTT protokolom s razvojnog sustava ESP32-C3	9

POPIS ISJEČAKA KODA

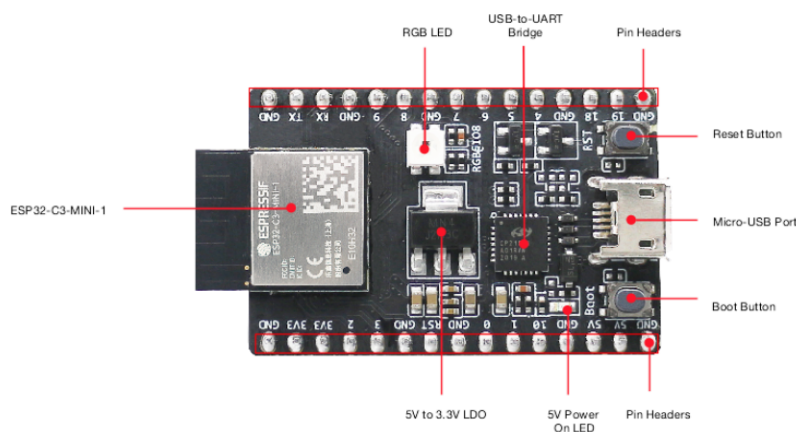
1. Uvod

Uvod mog diplomskog projekta.

2. Razvojni sustav

ESP32-C3-DevKitM-1

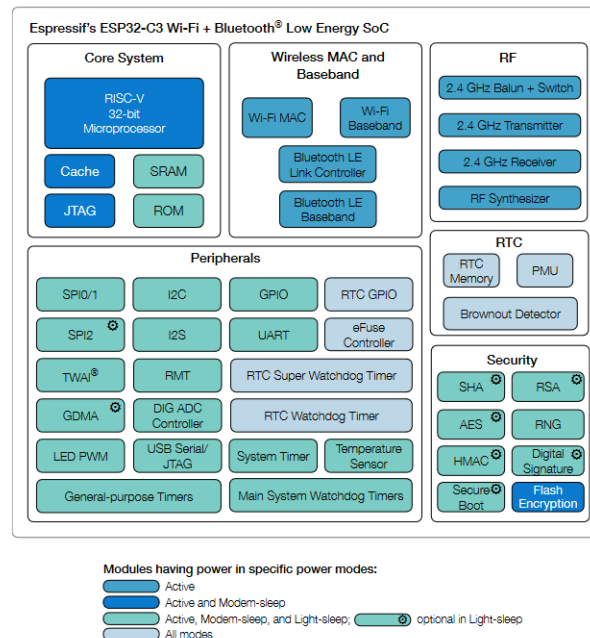
Razvojni sustav temelji se na modulu ESP32-C3-MINI-1. Modul je jedan u nizu ESP32-C3 serije SoC (engl. *System on Chip*) platformi tvrtke *Espressif*, te sadrži jednojezgri 32-bitni procesor s RISC-V arhitekturom koji radi na frekvenciji do 160 MHz. Modul sadrži 400 KB memorije tipa SRAM (engl. *Static random-access memory*), od kojih je 16 KB rezervirano za priručnu memoriju (engl. *cache*), 384 MB memorije tipa ROM (engl. *Read-only memory*) te 4 MB memorije tipa *Flash*. Od periferije sadrži 22 programabilna GPIO pina (engl. *General Purpose Input Output*), te digitalna sučelja SPI, UART, I2C i I2S. Također sadrži upravljače za sučelja USB i JTAG koji se mogu koristiti za efikasnije otklanjanje pogrešaka u kodu (engl. *debugging*). Konfiguracija sustava prikazana je na slici 2.1. [2]



Slika 2.1: Konfiguracija razvojnog sustava ESP32-C3-DevKitM-1 [4]

Budući da modul ima funkciju RF (engl. *radio frequency*) primopredajnika, podržava bežično lokalno umrežavanje odnosno Wi-Fi, koji omogućava propusnost do 20 Mbps protokolom TCP te maksimalnu propusnost od 30 Mbps koristeći protokol UDP. Isto tako, podržava protokol Bluetooth s podrškom za velike udaljenosti.

Modul ESP32-C3-MINI-1 bežični je uređaj niske potrošnje energije (engl. *ultra-low-power*) primarno namijenjen razvoju aplikacija koje koriste Wi-Fi ili *Bluetooth Low Energy* (BLE) protokol. Na slici 2.2 nalazi se blok shema modula sa svim dostupnim značajkama.



Slika 2.2: Blok dijagram modula ESP32-C3 [2]

2.1. Wi-Fi

IEEE 802.11, skupina standarda za bežične lokalne mreže (engl. *WLANs*) [6], nudi nekoliko različitih načina bežične modulacije signala. Pojedini standardi označeni su slovima abecede. Za korisničke mreže postoje dva frekvencijska pojasa: 2,4 GHz i 5 GHz.

Prednosti pojasa od 2,4 GHz su veći doseg, bolje prolaženje kroz fizičke prepreke te bolja podrška jer više bežičnih uređaja koristi pojas od 2,4 GHz nego od 5 GHz. S druge strane, ovaj pojas ima manju propusnost i nudi manje kanala koji se ne preklapaju. Isto tako, može doći do zagušenja mreže jer kućni i Bluetooth uređaji koriste ovaj isti mrežni pojas.

Pojas od 5 GHz nudi brži protok, manje zagušenih kanala te ima više kanala koji se međusobno ne preklapaju. Ipak, ima kraći raspon u usporedbi s mrežama od 2,4 GHz jer teže prolazi kroz prepreke. [5]

U nastavku su opisani ključni standardi Wi-Fi tehnologije [1]:

- 802.11b - najsporiji i najjeftiniji standard, emitira u frekvencijskom pojasu od 2,4 GHz. Može prenijeti do 11 Mbps te koristi komplementarno šifriranje (engl. *complementary code keying* - *CCK*) radi poboljšanja brzine prijenosa.
- 802.11a - transmitira u pojasu od 5 GHz i može prenijeti do 54 Mbps. Koristi ortogonalno frekvencijsko multipleksiranje (engl. *orthogonal frequency-division multiplexing* - *OFDM*), što je efikasnija tehnika u odnosu na CCK koja dijeli radio signal u nekoliko podsignala prije slanja primatelju. Ova metoda značajno umanjuje interferenciju.
- 802.11g - poput standarda 802.11b, koristi frekvencijski pojas od 2,4 GHz. Međutim, može prenijeti do 54 Mbps jer koristi tehniku OFDM.
- 802.11n - kompatibilan je standard sa prethodno opisanim standardima. Nudi znatno poboljšanje u rasponu i brzini u odnosu na svoje prethodnike. Ovaj standard može prenijeti do četiri toka podataka, svaki maksimalno 150 Mbps, no većina usmjerivača (engl. *router*) dopušta dva ili tri toka.
- 802.11ac - radi isključivo u pojasu od 5 GHz, te je kompatibilan s prethodnim standardima. Manje je sklon interferenciji i brži je od prethodnih standarda s maksimalnim prijenosom od 450 Mbps jednim tokom.
- 802.11ax - najnoviji standard koji proširuje nekoliko ključnih mogućnosti svojih prethodnika. Usmjerivači koji podržavaju ovaj standard dopuštaju tok podataka do 9.2 Gbps, što je značajan porast u usporedbi s prethodnicima. Isto tako, moguće je postaviti više antena na jedan usmjerivač, čime je omogućen prihvrat više veza odjednom bez usporavanja i interferencije.

Podsustav modula ESP32-C3 za Wi-Fi u skladu je sa standardom IEEE 802.111 te koristi nelicencirani pojas frekvencija od 2,4 GHz. U tom pojasu podržava propusnost od 20 i 40 MHz. Modul također podržava tehniku raznolikosti antena (engl. *antenna diversity*) za poboljšanje prijema i pouzdanosti signala korištenjem RF komutatora (engl. *switch*). Tim komutatorom upravljaju GPIO priključci i koristi se za odabir najbolje antene u kontekstu pouzdanosti i kvalitete signala. [3]

ESP32-C3 u potpunosti implementira protokol Wi-Fi na temelju standarda 802.11 b/g/n. Podržava osnovni skup (engl. *Basic Service Set* - *BSS*) operacija za značajke pristupne točke (engl. *SoftAP*). Upravljanje napajanjem odvija se automatski s minimalnom intervencijom domaćina kako bi se smanjila aktivnost uređaja.

Tvrtka *Espressif* također nudi biblioteke za povezivanje putem protokola TCP i IP te korištenje Wi-Fi *mesh* tehnologije. Pruža i podršku za protokole TLS 1.0, 1.1 i 1.2. Na slici 2.3 prikazani su Wi-Fi RF standardi koje koristi modul.

Name		Description
Center frequency range of operating channel ¹		2412 ~ 2484 MHz
Wi-Fi wireless standard		IEEE 802.11b/g/n
Data rate	20 MHz	11b: 1, 2, 5.5 and 11 Mbps 11g: 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbps 11n: MCS0-7, 72.2 Mbps (Max)
	40 MHz	11n: MCS0-7, 150 Mbps (Max)
Antenna type		PCB antenna and external antenna connector

Slika 2.3: Wi-Fi RF standardi [3]

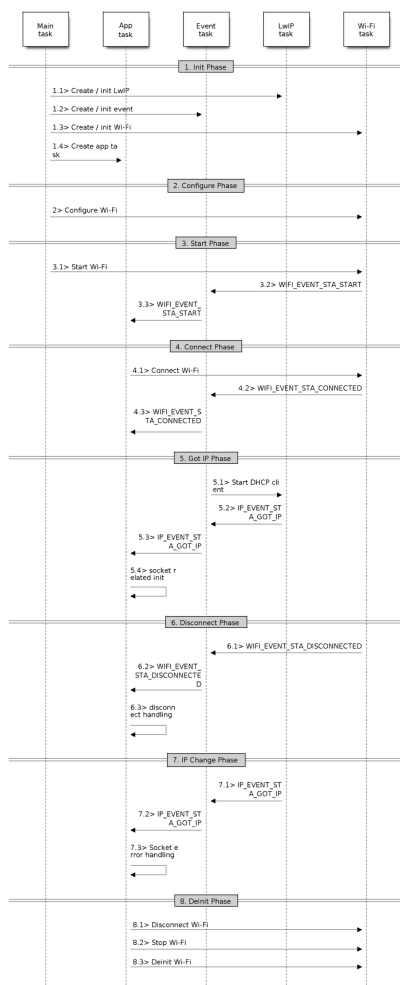
ESP32 nudi nekoliko načina rada pri korištenju Wi-Fi tehnologije [7]:

1. način rada stanice (engl. *station mode*) - ESP32 spaja se na točku pristupa,
2. način rada pristupne točke (engl. *SoftAP mode*) - druge se stanice spajaju na ESP32,
3. miješani - ESP32 radi kao stanica i pristupna točka spojena na drugu pristupnu točku.

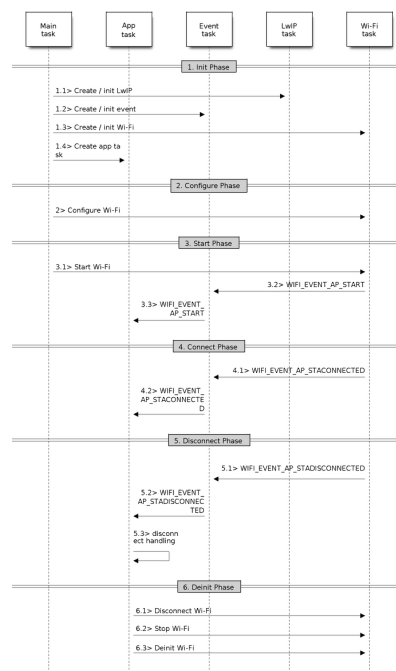
U nastavku su opisani scenariji Wi-Fi povezivanja modula ESP32-C3 u načinu rada stanice i pristupne točke.

Na slici 2.4 prikazan je sekvencijski dijagram zadataka koje ESP32 obavlja u cijelom ciklusu spajanja i komunikacije s pristupnom točkom. Iz slike je vidljivo da se ciklus sastoji od osam faza. Prva faza služi za inicijalizaciju upravljačkih programa i pokretanje zadataka odnosno dretvi koje će obavljati zadatke vezane uz svoju dužnost. Glavni zadatak pokreće četiri različite dretve izvršavanja: aplikacijski zadatak, zadatak za događaje, zadatak za IP protokol, te zadatak za Wi-Fi. U drugoj fazi konfigurira se upravljački program za Wi-Fi. U sljedećoj se fazi pokreće upravljački program, nakon koje slijedi faza pretraživanja mreže i povezivanja na usmjerivač ili pristupnu točku. Nakon inicijalizacije DHCP klijenta, započinje faza dohvata IP adrese. Šesta faza odvija se nakon prekida Wi-Fi veze, čime se također uklanjaju i sve UDP i TCP konekcije. U aplikaciji se može omogućiti radno čekanje na ponovno uspostavljanje veze. Sedma faza pokreće se pri detekciji promjene IP adrese. Posljednja faza služi za programsko odspajanje s mreže i zaustavljanje upravljačkog programa za Wi-Fi.

Slika 2.5 modelira slučaj u kojem ESP32 ima ulogu pristupne točke. Scenarij je vrlo sličan ranije opisanom slijedu događaja, no razlikuje se u dvije faze i događajima koji su pohranjeni u sustavu. Ovaj način rada nema fazu detekcije promjene IP adrese, jer je u ovom načinu ESP32 upravo taj uređaj čija se IP adresa može promijeniti. Isto tako, ne postoji faza dohvata IP adrese.



Slika 2.4: Primjer scenarija Wi-Fi povezivanja u načinu rada stanice [4]



Slika 2.5: Primjer scenarija Wi-Fi povezivanja u načinu rada pristupne točke [4]

U modulu ESP32 stavljen je veliki naglasak na mehanizme uštede energije, što se također preslikava na korištenje Wi-Fi veze. Modul pruža načine uštede energije i pri radu kao stanica i pristupna točka, no neke značajke nisu podržane u pristupnoj točki. Modul pri neaktivnosti može otići u stanje mirovanja (engl. *sleep mode*). Postoje dva načina uštede energije u načinu rada stanice: minimalna i maksimalna ušteda. Pri minimalnoj uštedi stanica se budi iz stanja mirovanja nakon svakog DTIM intervala (engl. *Delivery Traffic Indication Message*). Ovim se načinom ne gube globalno emitirane poruke (engl. *broadcast*) jer se one prenose nakon DTIM intervala. Međutim, ova metoda ne štedi puno energije ako je pristupna točka na koju je spojen modul postavila malen interval. Pri maksimalnoj uštedi moguće je znatno produžiti vrijeme mirovanja u odnosu na DTIM interval, no ovime se riskira gubitak globalno emitiranih poruka.

3. Amazon Web Services (AWS)

Sve o AWS-u.

3.1. Usluge AWS-a za Internet stvari

3.1.1. IoT 1-Click

3.1.2. IoT Analytics

3.1.3. IoT Core

3.1.4. IoT Device Defender

3.1.5. IoT Device Management

3.1.6. IoT Events

3.1.7. AWS IoT FleetWise

3.1.8. IoT Greengrass

3.1.9. IoT Roborunner

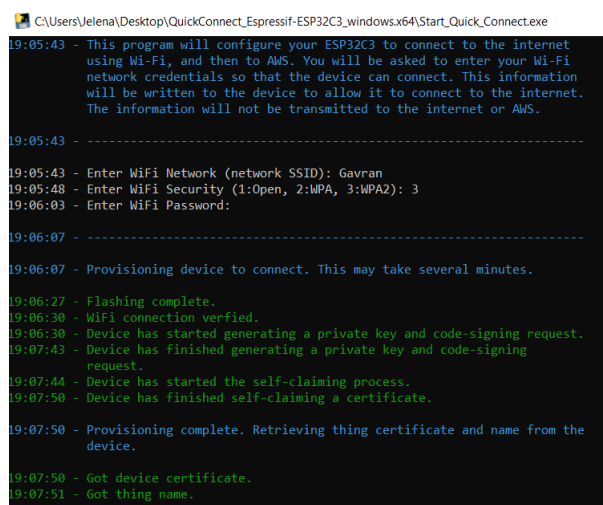
3.1.10. IoT SiteWise

3.1.11. IoT TwinkMaker

4. Integracija računalnog oblaka i razvojnog sustava

Integracija.

4.1. Probno povezivanje korištenjem demo aplikacije AWS Quick Connect



```
C:\Users\Jelena\Desktop\QuickConnect_Esspressif-ESP32C3_windows.x64\Start_Quick_Connect.exe
19:05:43 - This program will configure your ESP32C3 to connect to the internet
         using Wi-Fi, and then to AWS. You will be asked to enter your Wi-Fi
         network credentials so that the device can connect. This information
         will be written to the device to allow it to connect to the internet.
         The information will not be transmitted to the internet or AWS.

19:05:43 - -----
19:05:43 - Enter Wifi Network (network SSID): Gavran
19:05:48 - Enter Wifi Security (1:Open, 2:WPA, 3:WPA2): 3
19:06:03 - Enter Wifi Password:

19:06:07 - -----
19:06:07 - Provisioning device to connect. This may take several minutes.

19:06:27 - Flashing complete.
19:06:30 - Wifi connection verified.
19:06:30 - Device has started generating a private key and code-signing request.
19:07:43 - Device has finished generating a private key and code-signing
         request.
19:07:44 - Device has started the self-claiming process.
19:07:50 - Device has finished self-claiming a certificate.

19:07:50 - Provisioning complete. Retrieving thing certificate and name from the
         device.

19:07:50 - Got device certificate.
19:07:51 - Got thing name.
```

Slika 4.1: Ispis u konzoli pri pokretanju demo aplikacije Quick Connect

```
C:\Users\Jelena\Desktop\QuickConnect_Esspressif-ESP32C3_windows.x64\Start_Quick_Connect.exe
19:11:27 - I (299438) QuickConnectMain: Establishing an MQTT
connection...
19:11:27 - I (299838) QuickConnectMain: MQTT CONNECTED!
19:11:27 - I (299848) QuickConnectNetworking: MQTT publish succeeded.
19:11:27 - Sent: [{"label" : "Temperature","display_type" :
"line_graph","values" : [{"unit" : "Celsius","value" :
35.650600,"label" : ""}]]
19:11:28 - I (300848) QuickConnectNetworking: MQTT publish succeeded.
19:11:28 - Sent: [{"label" : "Temperature","display_type" :
"line_graph","values" : [{"unit" : "Celsius","value" :
36.089199,"label" : ""}]]
19:11:29 - I (301858) QuickConnectNetworking: MQTT publish succeeded.
19:11:29 - Sent: [{"label" : "Temperature","display_type" :
"line_graph","values" : [{"unit" : "Celsius","value" :
37.843601,"label" : ""}]]
19:11:30 - I (302868) QuickConnectNetworking: MQTT publish succeeded.
19:11:30 - Sent: [{"label" : "Temperature","display_type" :
"line_graph","values" : [{"unit" : "Celsius","value" :
35.650600,"label" : ""}]]
```

Slika 4.2: Ispis slanja paketa MQTT protokolom s razvojnog sustava ESP32-C3

5. Zaključak

Zaključak mog projekta.

6. Literatura

- [1] Marshall Brain i Talon Homer. How wifi works. 2021. URL <https://computer.howstuffworks.com/wireless-network.htm>.
- [2] *ESP32-C3 Series Datasheet*. Espressif Systems, 2023. URL https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-c3_datasheet_en.pdf.
- [3] *ESP32-C3-Mini 1 Datasheet*. Espressif Systems, 2023. URL https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-c3-mini-1_datasheet_en.pdf.
- [4] *ESP-IDF Programming Guide*. Espressif Systems, 2023. URL <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/v5.0.2/esp32c3/index.html>.
- [5] Microsoft. Wi-fi problems in your home. URL <https://support.microsoft.com/hr-hr/windows/problemi-s-wi-fijem-i-raspored-va%C5%A1ega-doma-eled42e7-a3c5-d1be-2abb-e8fad00ad32a>.
- [6] *IEEE 802.11 Wireless Local Area Networks*. The Working Group for WLAN Standards, 2023. URL <https://www.ieee802.org/11/>.
- [7] Random Nerd Tutorials. Esp32 useful wi-fi library functions. 2021. URL <https://randomnerdtutorials.com/esp32-useful-wi-fi-functions-arduino/>.

**Integracija razvojnog sustava ESP32-C3-DevKitM-1 s računalnim oblakom
servisa AWS u IoT sustavima**

Sažetak

I found my love in Portofino...

Ključne riječi: ESP32-C3-DevKitM-1, AWS