

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

SEMINAR

**Povezivanje razvojnog sustava
ESP32-C3-DevKitM-1 s bazom
podataka Firebase putem Wi-Fi
veze**

Jelena Gavran

Voditelj: prof. dr. sc. Hrvoje Džapo

Zagreb, svibanj 2023.

SADRŽAJ

Popis slika	iii
1. Uvod	1
2. Razvojni sustav ESP32-C3-DevKitM-1	3
2.1. Wi-Fi	4
2.2. Aplikacijska programska sučelja	8
2.3. Sigurnost	10
3. Baza podataka Firebase	12
4. Povezivanje razvojnog sustava s bazom podataka	17
4.1. Modeliranje stvarnog IoT sustava	17
5. Zaključak	18
6. Literatura	19

POPIS SLIKA

2.1.	Konfiguracija razvojnog sustava ESP32-C3-DevKitM-1 [5]	3
2.2.	Blok dijagram modula ESP32-C3 [4]	4
2.3.	Wi-Fi RF standardi [2]	6
2.4.	Primjer scenarija Wi-Fi povezivanja u načinu rada stanice [5]	7
2.5.	Primjer scenarija Wi-Fi povezivanja u načinu rada pristupne točke [5]	7
2.6.	Primjer QR koda koji generira ESP32 koristeći <i>Easy Connect</i>	9
2.7.	Usporedba modela OSI i ESP-NOW [3]	9
2.8.	Tradicionalna mrežna arhitektura [5]	10
2.9.	Mrežna arhitektura s <i>mesh</i> topologijom [5]	10
3.1.	Mogućnosti integracije baze podataka Firebase s drugim proizvodima [8]	14
4.1.	Blok shema demo sustava	17

1. Uvod

Internet stvari (engl. *Internet of things* - *IoT*) nova je paradigma koja je tradicionalni način života promijenila u stil života visoke tehnologije. U sklopu IoT pokreta razvio se koncept sveprisutnog računarstva koji označava kompletnu prostornu i vremensku prisutnost pametnih uređaja u svakodnevnom životu. Prema principima koncepta [6], primarna svrha računala je pružiti pomoć na intuitivan način.

Sveprisutni sustavi, kao posljedica okoline i zahtjeva, razlikuju se po svojim svojstvima od klasičnih računalnih sustava. Neka od njih su autonomnost, konkurentnost, svjesnost konteksta te računanje u stvarnom vremenu (engl. *real-time computation*). Sustav koji zadovoljava vremenska ograničenja na odziv mora imati hardver koji podržava rad u stvarnom vremenu, no istovremeno pruža bežičnu povezivost kao dio sveprisutnog sustava. Jedan od takvih uređaja je modul ESP32-C3 tvrtke *Espressif*, koji osim rada u stvarnom vremenu podržava i bežičnu povezivost putem Bluetootha i Wi-Fi veze. Za izradu ovog rada odabran je razvojni sustav ESP32-C3-DevKitM-1. Isto tako, za pohranu podataka u takvim sustavima potrebna je i baza podataka koja podržava rad u stvarnom vremenu. Baze podataka u stvarnom vremenu trenutno osvježavaju podatke nakon promjene, što omogućava da više uređaja spojenih na bazu dohvaćaju i sinkroniziraju podatke u stvarnom vremenu. Baza podataka koja pruža takvu mogućnost je Firebase, baza podataka u oblaku tvrtke *Google*.

Ovaj seminar analizira mogućnosti koje pruža ESP32-C3-DevKitM-1 u razvoju aplikacija koristeći Wi-Fi te kako povezati modul s bazom podataka Firebase. Opisana je sam modul i mogućnosti koje nudi u sklopu Wi-Fi povezivanja. Dan je osnovni pregled funkcionalnosti koje nudi baza podataka Firebase te su navedene njezine prednosti i ograničenja. Isto tako, opisan je postupak povezivanja modula i baze podataka. Također, napravljena je mobilna aplikacija za simulaciju stvarnog IoT uređaja koji koristi modul i bazu podataka.

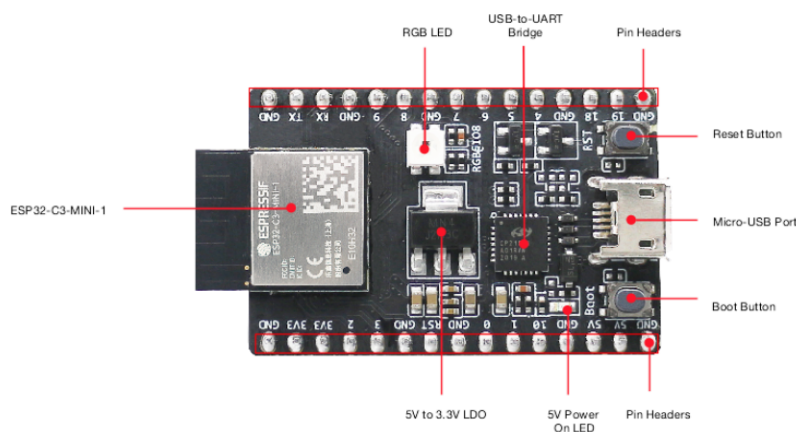
Rad je podijeljen u cjeline kako slijedi. Drugo poglavlje „*Razvojni sustav ESP32-C3-DevKitM-1*“ opisuje osnovne karakteristike korištenog razvojnog sustava kao ciljane hardverske platforme te su opisane najvažnije značajke Wi-Fi tehnologije. U

trećem poglavlju „*Baza podataka Firebase*“ dan je pregled baze podataka i njezinih glavnih značajki. Četvrto poglavlje „*Povezivanje modula i baze podataka*“ opisuje postupak povezivanja razvojnog sustava s bazom podataka Firebase. U petom poglavlju „*Modeliranje stvarnog IoT sustava*“ opisan je primjer primjene sustava koji koristi opisane tehnologije uz mobilnu aplikaciju.

2. Razvojni sustav

ESP32-C3-DevKitM-1

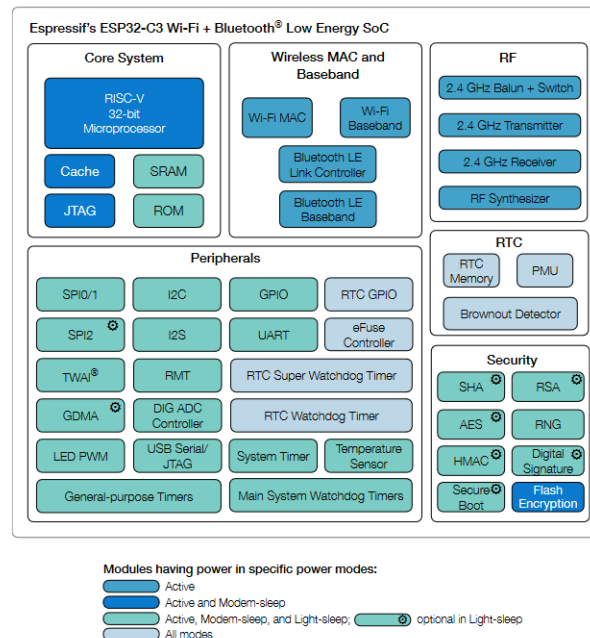
Razvojni sustav temelji se na modulu ESP32-C3-MINI-1. Modul je jedan u nizu ESP32-C3 serije SoC (engl. *System on Chip*) platformi tvrtke *Espressif*, te sadrži jednojezgri 32-bitni procesor s RISC-V arhitekturom koji radi na frekvenciji do 160 MHz. Modul sadrži 400 KB memorije tipa SRAM (engl. *Static 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. [4]



Slika 2.1: Konfiguracija razvojnog sustava ESP32-C3-DevKitM-1 [5]

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 [4]

2.1. Wi-Fi

IEEE 802.11, skupina standarda za bežične lokalne mreže (engl. *WLANs*) [7], 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. [10]

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 za Wi-Fi u skladu je sa standardom IEEE 802.11 i te koristi neli-cencirani 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. [2]

ESP32-C3 u potpunosti implementira Wi-Fi protokol 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 [2]

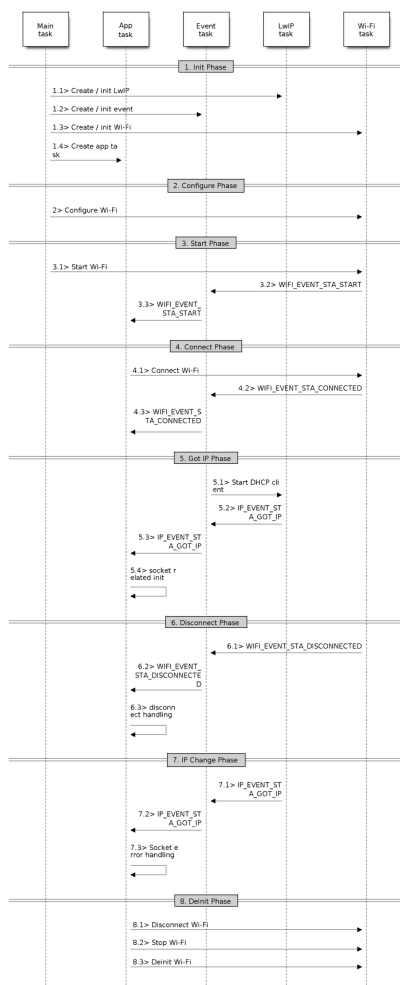
ESP32 nudi nekoliko načina rada pri korištenju Wi-Fi tehnologije [12]:

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

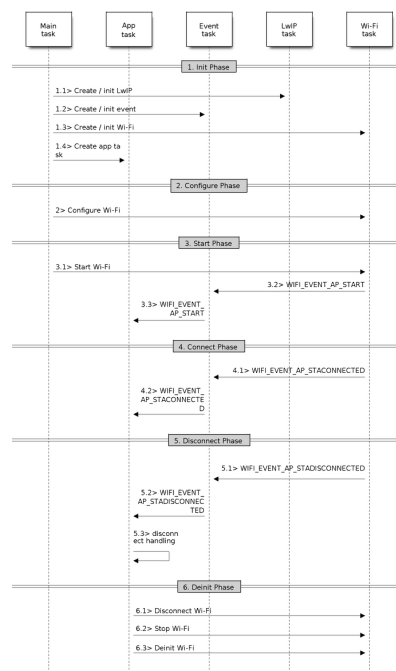
U nastavku su opisani scenariji Wi-Fi povezivanja modula ESP32-C3 u načinu rada stanice i pristupne točke.

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 [5]



Slika 2.5: Primjer scenarija Wi-Fi povezivanja u načinu rada pristupne točke [5]

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.

2.2. Aplikacijska programska sučelja

Aplikacijska programska sučelja (engl. *Application Programming Interface* - *API*) služe za olakšano korištenje usluga, protokola i periferija koje nudi hardver. Dostupno je mnogo API-ja za ESP32-C3 [5], no ovdje je napravljen osnovni pregled programskih sučelja koja koriste Wi-Fi. Ova sučelja nude proširenja na bazni upravljački program za povezivanje putem Wi-Fi mreže.

Wi-Fi Easy Connect, također poznat kao prokol za provizioniranje uređaja (engl. *Device Provisioning Protocol* - *DPP*) ili *Easy Connect*, protokol je za pružanje usluga koji je certificirao *Wi-Fi Alliance*. To je siguran i standardizirani protokol za konfiguraciju Wi-Fi uređaja. Uz *Easy Connect* pojednostavljeno je dodavanje novog uređaja u mrežu, čime se smanjuje složenost i poboljšava korisničko iskustvo tijekom uključivanja uređaja bez korisničkog sučelja. *Easy Connect* uključuje jaku enkripciju putem kriptografije s javnim ključem kako bi se osiguralo da mreže ostanu sigurne pri dodavanju novih uređaja.

ESP32-C3 podržava QR kod kao metodu dodjele, te kod mora biti prikazan na zaslonu kako bi se dalje mogao koristiti. Korisnici mogu skenirati ovaj QR kod pomoću svog uređaja i omogućiti modulu ESP32-C3 pristup svojoj Wi-Fi mreži. Uređaj za dodjelu mora biti povezan s pristupnom točkom koja ne mora podržavati *Wi-Fi Easy Connect*. Ovaj je protokol još uvijek u razvoju, stoga ga podržavaju Android pametni telefoni s novijom inačicom operacijskog sustava. Za korištenje *Easy Connecta* nije potrebno instalirati dodatnu aplikaciju na podržani telefon.

Na slici 2.6 nalazi se primjer QR koda koji generira ESP32 za pridruživanje u mrežu. Modul koristi službenu biblioteku tvrtke *Espressif* za generiranje QR koda.

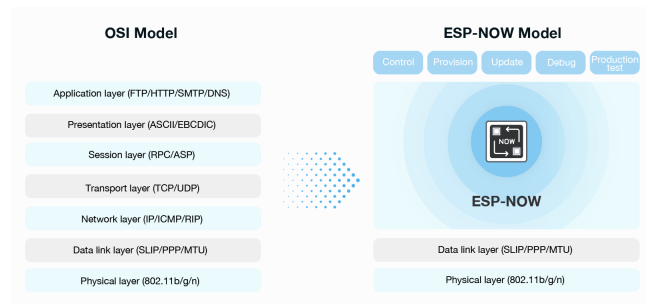
ESP-NOW vrsta je bežičnog komunikacijskog protokola tvrtke *Espressif* koji omogućuje izravnu, brzu i niskonaponsku kontrolu pametnih uređaja, bez potrebe za usmjerivačem. Temeljen je na sloju podatkovne veze, koji smanjuje pet slojeva OSI modela na samo jedan. Ovim načinom podaci se ne moraju prenositi kroz ostale slojeve. Također, nema potrebe za zaglavlјima paketa ili raspakiranjem na svakom sloju, što dovodi do brzog odgovora smanjujući kašnjenje uzrokovano gubitkom paketa u zagušenim mrežama. Podaci aplikacije enkapsulirani su u okvire različitih dobavljača i zatim se prenose s jednog Wi-Fi uređaja na drugi bez veze. Prednost ovog protokola je manje korištenje resursa i procesorske memorije. Na slici 2.7 uspoređeni su slojevi modela OSI i ESP-NOW.

ESP-TOUCH još je jedan protokol tvrtke *Espressif* koji implementira tehnologiju *Smart Config* za povezivanje modula ESP32 na Wi-Fi mrežu putem jednostavne konfi-

```
I (807) wifi:mode : sta (24:0a:c4:23:da:20)
I (807) wifi dpp-enrollee: Started listening on Channel 11 for DPP Authentication
I (1157) wifi dpp-enrollee: Scan below QR Code to configure the enrollee:
```



Slika 2.6: Primjer QR koda koji generira ESP32 koristeći *Easy Connect*

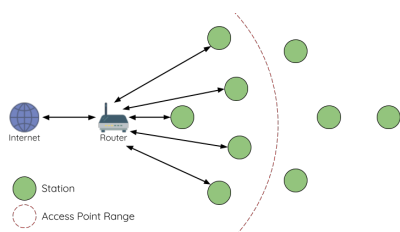


Slika 2.7: Usporedba modela OSI i ESP-NOW [3]

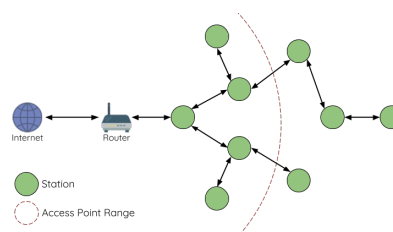
guracije na pametnog telefonu. Tehnologija *Smart Config* služi za povezivanje novog uređaja u Wi-Fi mrežu. Koristi mobilnu aplikaciju za emitiranje mrežnih vjerodajnica s pametnog telefona na uređaj koji nema pristup Wi-Fi mreži. Prednost ove tehnologije je u tome što uređaj ne mora izravno znati SSID ili lozinku pristupne točke, nego se te informacije dobivaju pomoću pametnog telefona. Ova je tehnologija posebno korisna uređajima bez korisničkog sučelja. Podaci o pristupnoj mreži unose se u aplikaciju koja zatim emitira podatke uređajima u neposrednoj blizini. ESP32 detektira paket, te dohvati konfiguraciju pomoću koje se spoji na Wi-Fi mrežu.

ESP-WIFI-MESH mrežni je protokol i radni okvir za stvaranje bežičnih isprepletenih mreža (engl. *mesh*) pomoću uređaja ESP32 baziran na mrežnoj topologiji veze. Omogućuje modulima da formiraju mrežu u kojoj svaki uređaj djeluje kao čvor i u suradnji s drugim čvorovima proširuje mrežnu pokrivenost te pruža pouzdanu i skalabilnu komunikaciju. ESP-WIFI-MESH razlikuje se od tradicionalnih infrastrukturnih Wi-Fi mreža po tome što se čvorovi ne moraju spajati na središnji čvor. Umjesto toga,

čvorovima je dopušteno povezivanje sa susjednim čvorovima. Čvorovi su međusobno odgovorni za međusobni prijenos. To omogućuje mreži puno veće područje pokrivenosti budući da čvorovi još uvijek mogu ostvariti međupovezanost bez potrebe da budu u dometu središnjeg čvora. Isto tako, ova je arhitekturna topologija također manje osjetljiva na preopterećenje budući da broj dopuštenih čvorova na mreži više nije ograničen jednim središnjim čvorom. Čvorovi istovremeno rade kao stanica i pristupna točka, stoga nisu ograničeni klasičnim povezivanjem u jednom ili drugom načinu. Međutim, način rada stanice ograničava modul na spajanje samo sa jednim uređajem, dok se na njega može spojiti više uređaja jer istovremeno radi kao pristupna točka. Ova ograničenja rezultiraju mrežnom strukturom stabla, pri kojem svaki čvor odnosno modul ima jednog roditelja odnosno pristupnu točku na koju je spojen, te nekoliko djece koja su spojena na njega. Na slici 2.8 nalazi se model tradicionalne Wi-Fi arhitekture, dok je na slici 2.9 prikazana *mesh* arhitektura.



Slika 2.8: Tradicionalna mrežna arhitektura [5]



Slika 2.9: Mrežna arhitektura s *mesh* topologijom [5]

2.3. Sigurnost

Osim tradicionalnih sigurnosnih metoda poput WEP i WPA2, modul ESP32 nudi podržava i suvremene sigurnosne protokole kao što su Wi-Fi Protected Access 3 (WPA-Personal) te zaštićeni upravljački okviri (engl. *Protected Management Frames - PMF*). Ove značajke zajedno pružaju bolju privatnost i robusnost protiv poznatih napada na tradicionalne načine rada.

U Wi-Fi mreži, stanice koriste upravljačke okvire kako bi se povezale na pristupnu točku. Za razliku od podatkovnih okvira, ovi se okviri ne šalju kriptirani. Napadač može prisluškivati mrežu i umetnuti lažne pakete kako bi poslao lažne (engl. *spoofed*) okvire u pravom trenutku, što dovodi do sljedećih napada u slučaju nezaštićene razmjene upravljačkih okvira:

- DOS (engl. *Denial of Service*) napad na jednog ili više klijenata,

- dohvat SSID-a skrivene mreže,
- napad „čovjek u sredini“ (engl. *man-in-the-middle*) pri kojem se klijent odspoji od legitimne pristupne točke i autentificira podatke na lažnoj točki.

PMF pruža zaštitu od ovih napada šifriranjem jednokratnih okvira upravljanja i pružanjem provjere integriteta za emitirane upravljačke okvire. To uključuje deautenticaciju, odvajanje i robusne upravljačke okvire. Također pruža mehanizam za uklanjanje sigurne asocijacije kako bi se spriječilo da lažni okviri za provjeru autentičnosti prekinu vezu već povezanih klijenata. ESP32-C3 podržava PMF u načinu rada stanice i pristupne točke.

Wi-Fi Protected Access-3 (WPA3) skup je poboljšanja sigurnosti Wi-Fi pristupa namijenjen za zamjenu trenutnog standarda WPA2. Uključuje nove značajke i mogućnosti koje nude značajno bolju zaštitu od različitih vrsta napada. Trenutno je WPA3 podržan isključivo u načinu rada stanice. WPA3 Poboljšava WPA2-Personal na sljedeće načine:

- WPA3 koristi Simultaneous Authentication of Equals (SAE), što je metoda dogovora o ključu s lozinkom koja se temelji na Diffie-Hellman razmjeni ključeva. Za razliku od WPA2, tehnologija je otporna na *offline* napade rječnikom, gdje napadač pokušava odrediti zajedničku lozinku na temelju snimljenog četverosmjernog rukovanja bez ikakve daljnje mrežne interakcije.
- Onemogućuje zastarjele protokole koji su osjetljivi na jednostavne napade, primjerice protokol TKIP (engl. *Temporal Key Integrity Protocol*).
- Nalaže korištenje PMF-a, čime pruža zaštitu za jednostruke i emitirane upravljačke okvire. To znači da napadač ne može prekinuti uspostavljenu WPA3 sjednicu slanjem krivotvorenih okvira pristupnoj točki ili stanici.
- Pruža unaprijed tajnost, što znači da se snimljeni podaci ne mogu dešifrirati čak i ako je lozinka ugrožena nakon prijenosa podataka. [5]

3. Baza podataka Firebase

Firebase je sveobuhvatna platforma za mobilni i web razvoj koju pruža tvrtka *Google*. Nudi širok raspon usluga i alata koji programerima pomažu u izradi i upravljanju aplikacijama bogatim značajkama. Firebase pruža pozadinsku infrastrukturu i usluge spremne za korištenje koje obrađuju različite aspekte razvoja aplikacija, uključujući pohranu podataka, autentifikaciju, komunikaciju u stvarnom vremenu te analitiku. Jedan segment ove platforme je *Firebase Realtime Database*. To je NoSQL baza podataka koja se nalazi u oblaku. Dizajnirana je za pohranjivanje i sinkronizaciju podataka u stvarnom vremenu između klijenata i poslužitelja, što ga čini idealnim za stvaranje aplikacija u stvarnom vremenu. [8]

U nastavku su navedene i opisane ključne mogućnosti baze podataka Firebase:

1. Sinkronizacija podataka u stvarnom vremenu

Jedna od ključnih značajki ove baze podataka jest njezina sposobnost sinkronizacije podataka u stvarnom vremenu preko povezanih klijenata. Sve promjene u bazi podataka trenutačno se prenose na sve povezane uređaje, omogućujući ažuriranje i suradnju u stvarnom vremenu.

2. Podatkovni model NoSQL

Ova baza podataka slijedi model NoSQL, što znači da pohranjuje podatke u strukturi nalik JSON podacima koja se sastoji od parova ključ-vrijednost. Ova fleksibilna shema omogućuje jednostavnu i dinamičnu pohranu podataka, kao i ugniježđivanje podatkovnih objekata i nizova.

3. *Offline* način rada

Firebase pruža ugrađenu izvanmrežnu podršku, omogućujući aplikacijama da nastave funkcionirati čak i kada je uređaj izvan mreže ili ima povremenu vezu. Promjene podataka izvan mreže automatski se sinkroniziraju s poslužiteljem nakon ponovnog uspostavljanja veze.

4. Autentifikacija

Firestore nudi ugrađene usluge provjere autentičnosti koje osiguravaju bazu podataka omogućavaju kontrolu nad pristupom podacima. Za autentifikaciju korisnika također mogu se koristiti vanjski pružatelji usluga. Sigurnosna pravila mogu se definirati za radi detaljne kontrole pristupa i validacije.

5. Skalabilnost

Ova baza podataka pruža mogućnost raspršivanja podataka na više instanci baze, što omogućava prilagodbu rastućim zahtjevima na sustav i povećanju opterećenja, zadržavajući performanse, pouzdanost i učinkovitost.

6. Postojanost podataka

Firestore automatski zadržava podatke na disku, osiguravajući da podaci ostanu dostupni čak i ako se aplikacija ponovno pokrene ili se uređaj isključi.

7. Pretplata na događaje u stvarnom vremenu

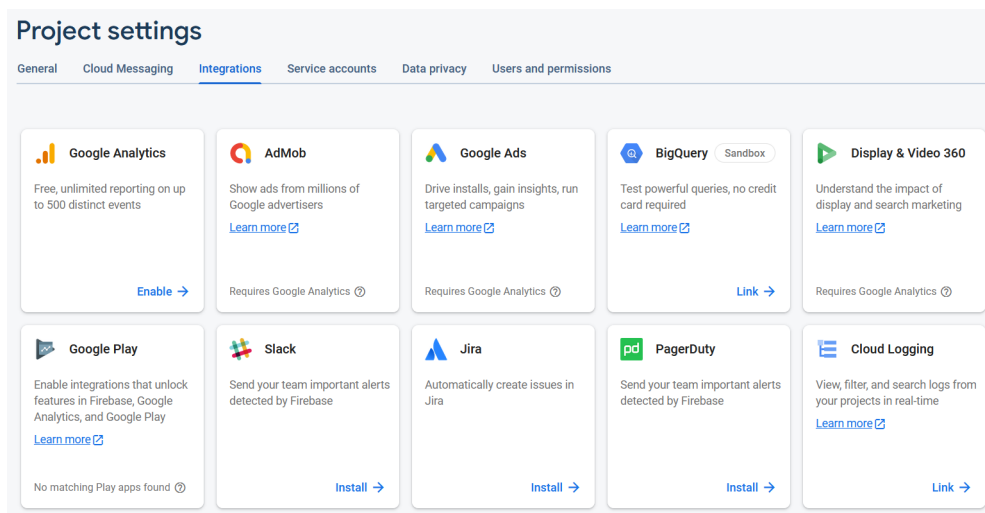
Moguće je postaviti pretplatnike na događaje promjene stanja u bazi na željenim stazama podataka. Ovo omogućuje aplikacijama da reagiraju i ažuriraju se u stvarnom vremenu kada dođe do promjene podataka. Događaji se mogu koristiti za praćenje promjena podataka.

8. Integracija s ekosustavom Firestore

Ova se baza podataka neprimjetno integrira s drugim uslugama u sklopu platforme, što omogućuje izradu *end-to-end* aplikacija koristeći paket usluga u sklopu platforme Firestore.

Na slici 3.1 nalazi se pregled proizvoda koje je moguće integrirati u projekt korištenjem baze podataka Firestore.

NoSQL baze podataka nisu bazirane na relacijskom modelu podataka, stoga upitni jezik SQL, koji je standardni upitni jezik za relacijske baze podataka, uglavnom nije u takvim sustavima zastupljen. NoSQL sustavi nastali su iz novih zahtjeva za većom fleksibilnošću i boljim performansama u pohrani i obradi velike količine podataka, uglavnom zbog popularnosti interneta i internetskih tehnologija te sve veće količine podataka. [11] Koriste različite podatkovne modele za pristup i upravljanje podacima, kao što su dokumenti, grafovi, parovi ključ-vrijednost i pretraživanje. Ove vrste baza podataka posebno su optimirane za aplikacije koje zahtijevaju veliku količinu podataka, nisku latenciju i fleksibilne modele podataka. [9]



Slika 3.1: Mogućnosti integracije baze podataka Firebase s drugim proizvodima [8]

Kao što je navedeno, model Firebase baze podataka temeljen je na parovima ključ-vrijednost, gdje je jednom tekstualnom ključu pridružena jedna vrijednost bilo kojeg tipa. Takav je model podataka po strukturi sličan rječniku. Ovakve baze nemaju upitni jezik - samo omogućavaju pronalaženje, dodavanje i uklanjanje parova na osnovu ključa. Općenito, podržavaju tri operacije:

- GET (ključ) - vraća vrijednost pridruženu zadanom ključu,
- PUT (ključ, vrijednost) - dodaje novi par ili pridružuje novu vrijednost zadanom ključu,
- DELETE (ključ) - uklanja par na temelju zadanog ključa.

Ključ može biti u raznim formatima, kao što je specifikacija direktorija za neku datoteku, niz znakova koji predstavlja jedinstven kod, poziv mrežnog servisa REST ili internetska stranica. Vrijednosti pridružene ključu također mogu biti raznolike, kao što su slike, zvuk, internetske stranice ili dokumenti.

Za ovakve baze podataka općenito vrijede sljedeća pravila:

- svaki ključ u tablici mora biti jedinstven,
- nema upita na osnovu vrijednosti, samo na osnovu ključa.

Prednosti ovakvog sustava jest jednostavnost koja se očituje u performansama i skalabilnosti. Budući da se koriste jednostavne operacije, podaci se mogu modelirati tako da se maksimalno iskoristi efikasnost ovakvog sustava.

Svi podaci u bazi podataka *Firebase Realtime Database* pohranjuju se kao JSON objekti, čime se stvara JSON stablo koje se nalazi u oblaku. Dodavanjem podataka u JSON stablo, podatak čvor u postojećoj JSON strukturi s pridruženim ključem. Mogu

se koristiti vlastiti ključevi, primjerice jedinstveni identifikatori ili semantička imena, ili vam se mogu automatski pridružiti. Vlastiti ključevi ne smiju sadržavati specijalne znakove i moraju iznositi maksimalno 768 bajtova. Sljedeći isječak prikazuje primjer jednog ulaznog podatka u bazi Firebase. U ovom primjeru, ulazni podatak sadrži objekt `users` koji unutar sebe ima ugniježdene objekte. Iako baza podataka koristi JSON stablo, podaci pohranjeni u bazi mogu se predstaviti kao određeni izvorni tipovi koji odgovaraju dostupnim JSON tipovima poput *string*, *boolean* i *integer*.

```
{
  "users": {
    "socrates": {
      "name": "Socrates",
      "contacts": { "aristotel": true },
    },
    "aristotel": { ... },
    "plato": { ... }
  }
}
```

Isječak koda 3.1: Primjer jednog podatka u bazi Firebase

Iako Firebase dopušta ugniježđivanje podataka do dubine od 32 razine, ugniježđivanje je preporučljivo izbjegavati. Kada se dohvaćaju podaci iz baze podataka, također se dohvaćaju sve njezini podređeni čvorovi, što znatno usporava dohvat podataka ako je velika dubina ugniježđenosti. Osim toga, pruživši nekome pristup za čitanje ili pisanje na čvoru, pružen je pristup svim podacima u tom čvoru, uključujući podčvorove. Stoga je u praksi najbolje zadržati strukturu podataka što ravnijom, odnosno odvojiti logičke cjeline u pojedine indekse. Indeksi su grupe podataka analogne tablicama u relacijskom modelu baza. U sljedećem je isječku prikazan primjer pravilnog kreiranja indeksa.

```
// An index to track Ada's memberships
{
  "users": {
    "socrates": {
      "name": "Socrates",
      // Index Socrates's groups in his profile
      "groups": {
```

```

        // the value here doesn't matter, just that the
        key exists
        "greatphilosophers": true,
        "techpioneers": false
    }
},
...
},
"groups": {
    "greatphilosophers": {
        "name": "Great Historical Philosophers",
        "members": {
            "socrates": true,
            "aristotel": true,
            "plato": true
        }
    },
    "techpioneers": {
        "name": "Historical Tech Pioneers",
        "members": {
            "ntesla": true,
            "tedison": true,
            "agbell": true
        }
    },
    ...
}
}

```

Isječak koda 3.2: Primjer kreiranja dva indeksa

Gore prikazanim pristupom dupliciraju se neki podaci, te pri uklanjanju jednog korisnika moraju se izmijeniti dva indeksa. Ovo je nužna redundantnost za dvosmjerne odnose. Omogućuje brzo i učinkovito dohvaćanje podataka, čak i kada se popis korisnika ili grupa povećava na milijune ili kada sigurnosna pravila baze podataka u stvarnom vremenu sprječavaju pristup nekim zapisima.

4. Povezivanje razvojnog sustava s bazom podataka

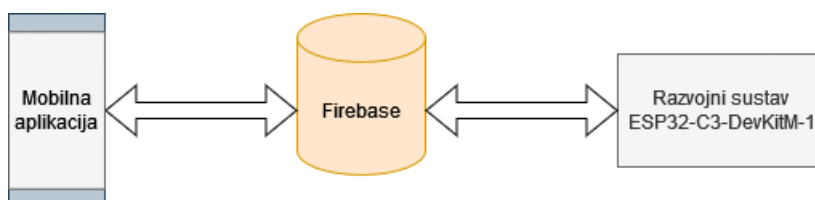
Za programiranje modula ESP32-C3 korišten je *ESP-IDF*, službeni radni okvir za razvoj softvera na ESP mikrokontrolerima.

[13]

4.1. Modeliranje stvarnog IoT sustava

Na slici 4.1 nalazi se blok shema pokaznog IoT sustava. Za razvoj mobilne aplikacije korišten je radni okvir *Flutter*, koji omogućava paralelan razvoj aplikacija na Android i iOS uređajima.

Mobilna aplikacija dohvaća podatke iz baze podataka te ih prikazuje na grafu.



Slika 4.1: Blok shema demo sustava

5. Zaključak

Integracijom opisanih tehnologija dobiva se potpuni sveprisutni sustav. Ponuđena demo implementacija stvarnog slučaja može se skalirati na više ESP32 uređaja spojenih na istu bazu, te tako stvoriti potpuni sveprisutni sustav.

6. Literatura

- [1] Marshall Brain i Talon Homer. How wifi works. 2021. URL <https://computer.howstuffworks.com/wireless-network.htm>.
- [2] Espressif. *ESP32-C3-Mini 1 Datasheet*. URL https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-c3-mini-1_datasheet_en.pdf.
- [3] Espressif. *ESP-NOW*, 2023. URL <https://www.espressif.com/en/solutions/low-power-solutions/esp-now>.
- [4] *ESP32-C3 Series Datasheet*. Espressif Systems, 2023. URL https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-c3_datasheet_en.pdf.
- [5] *ESP-IDF Programming Guide*. Espressif Systems, 2023. URL <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/v5.0.2/esp32c3/index.html>.
- [6] FER. *Sveprisutno računarstvo*. URL https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/SVERAC_01_Uvod_2022-23.pdf.
- [7] The Working Group for WLAN Standards. *IEEE 802.11 Wireless Local Area Networks*, 2023. URL <https://www.ieee802.org/11/>.
- [8] Google. *Firebase*. URL <https://firebase.google.com/docs>.
- [9] Wim Hoogenraad. What are nosql databases? 2023. URL <https://en.itpedia.nl/2019/06/03/wat-zijn-nosql-databases/>.
- [10] Microsoft. Wi-fi problems of your home. URL <https://support.microsoft.com/hr-hr/windows/problemi-s-wi-fijem-i-raspored-va%C5%A1lega-doma-eled42e7-a3c5-d1be-2abb-e8fad00ad32a>.

- [11] Aleksandar Stojanović. *OSVRT NA NOSQL BAZE PODATAKA*. 2016. URL <https://hrcak.srce.hr/file/283391>.
- [12] Random Nerd Tutorials. Esp32 useful wi-fi library functions. 2021. URL <https://randomnerdtutorials.com/esp32-useful-wi-fi-functions-arduino/>.
- [13] Random Nerd Tutorials. Esp32: Getting started with firebase (realtime database). 2021. URL <https://randomnerdtutorials.com/esp32-firebase-realtime-database/>.

**Povezivanje razvojnog sustava ESP32-C3-DevKitM-1 s bazom podataka
Firebase putem Wi-Fi veze**

Sažetak

Ključne riječi: ESP32-C3-DevKitM-1, Wi-Fi, Firebase, IoT