

Upravljanje pokretljivosti Raspberry Pi uređaja u mobilnoj mreži

Stuhne, Matija Alojz

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Electrical Engineering and Computing / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:168:366294>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-17**



Repository / Repozitorij:

[FER Repository - University of Zagreb Faculty of Electrical Engineering and Computing repozitory](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

ZAVRŠNI RAD br. 1344

**UPRAVLJANJE POKRETLJIVOSTI RASPBERRY PI
UREĐAJA U MOBILNOJ MREŽI**

Matija Alojz Stuhne

Zagreb, lipanj 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

ZAVRŠNI RAD br. 1344

**UPRAVLJANJE POKRETLJIVOSTI RASPBERRY PI
UREĐAJA U MOBILNOJ MREŽI**

Matija Alojz Stuhne

Zagreb, lipanj 2024.

ZAVRŠNI ZADATAK br. 1344

Pristupnik: **Matija Alojz Stuhne (0036540079)**
Studij: Elektrotehnika i informacijska tehnologija i Računarstvo
Modul: Računarstvo
Mentor: izv. prof. dr. sc. Marin Vuković

Zadatak: **Upravljanje pokretljivosti Raspberry Pi uređaja u mobilnoj mreži**

Opis zadatka:

Dobra pokretljivost uređaja predstavlja jedan od temelja mobilnih mreža, omogućujući korisniku neprekinutu uslugu neovisno o njegovoj lokaciji ili činjenici da je u pokretu. Dok za suvremene mobilne uređaje pouzdana pokretljivost ne predstavlja ništa što od uređaja ne bismo očekivali, postavlja se pitanje vrijedi li isto i za, sveprisutnije, IoT uređaje, primjerice, Raspberry Pi, kod kojih implementacija upravljanja pokretljivošću nije na razini pametnih telefona. Analizirajte postojeća rješenja za ostvarivanje mobilnosti na primjeru uređaja Raspberry Pi. Na temelju analize predložite i implementirajte rješenje koji će rezultirati boljom pokretljivošću u mobilnoj mreži. Implementirano rješenje validirajte u uvjetima slabije mrežne pokrivenosti.

Rok za predaju rada: 14. lipnja 2024.

Sadržaj

1. Uvod	3
1.1. Motivacija	3
1.2. Cilj	3
2. Korišteno sklopovlje	4
2.1. Raspberry Pi 5	4
2.2. SIM8200EA-M2 5G HAT	5
2.3. SIM8200EA-M2 modul	6
3. Razrada	7
3.1. Pokretljivost u mobilnoj mreži	7
3.1.1. Pokretljivost terminala	7
3.1.2. Pokretljivost osoba	7
3.1.3. Pokretljivost usluga	7
3.2. Upravljanje pokretljivosti	8
3.2.1. AT-Naredbe	8
3.3. Prikupljanje lokacijskih informacija	9
3.4. Selektivno uspostavljanje veze	11
4. Zaključak	14
Literatura	15
Sažetak	16
Abstract	17

A: Dodatne informacije	18
B: Sadržaj datoteke gps_log.csv	19
C: Sadržaj programskih logova	20
C1. Prespajanje na mrežu niže generacije od trenutne	20
C2. Prespajanje na mrežu više generacije od trenutne	21
C3. Prespajanje na mrežu sa većim RSSI-em	22
C4. Prespajanje na mrežu sa većom propusnošću	23

1. Uvod

1.1. Motivacija

S obzirom na jednostavnu prenosivost te široki spektar primjena, računalo Raspberry Pi izuzetno je popularan dio IoT svijeta. Kao takav, zbog prisutnosti brojnih dodataka i proširenja, moguće ga je koristiti i u mobilnoj mreži. U kombinaciji s proširenjem koje služi kao modem, Raspberry Pi uređaj postaje korisnička oprema u mobilnoj mreži. No, postavlja se pitanje koliko je ovaj način spajanja na mobilnu mrežu efikasan te zadržava li se uopće ključna značajka mobilne mreže, tj. dobra pokretljivost uređaja. Kako pokretljivost ipak nije na istoj razini kao kod suvremenih mobilnih uređaja, cilj ovog Završnog rada bit će istražiti mogućnosti upravljanja pokretljivošću Raspberry Pi uređaja u mobilnoj mreži.

1.2. Cilj

Kako bismo ostvarili upravljanje pokretljivošću, potrebno je odabrati prikladne, i nama, kao krajnjim korisnicima mreže, dostupne metode. Komunikacijom putem AT-Naredbi pokušat ćemo ostvariti upravljanje pokretljivošću korištenog modema. Kreiranjem automatiziranih skripti bilježiti ćemo trenutnu lokaciju modema, mrežu i ćeliju na koju je modem spojen te jačinu signala. Također, omogućiti ćemo ručno prespajanje modema ovisno o dostupnim mrežama i osobnim preferencijama.

2. Korišteno sklopovlje

2.1. Raspberry Pi 5

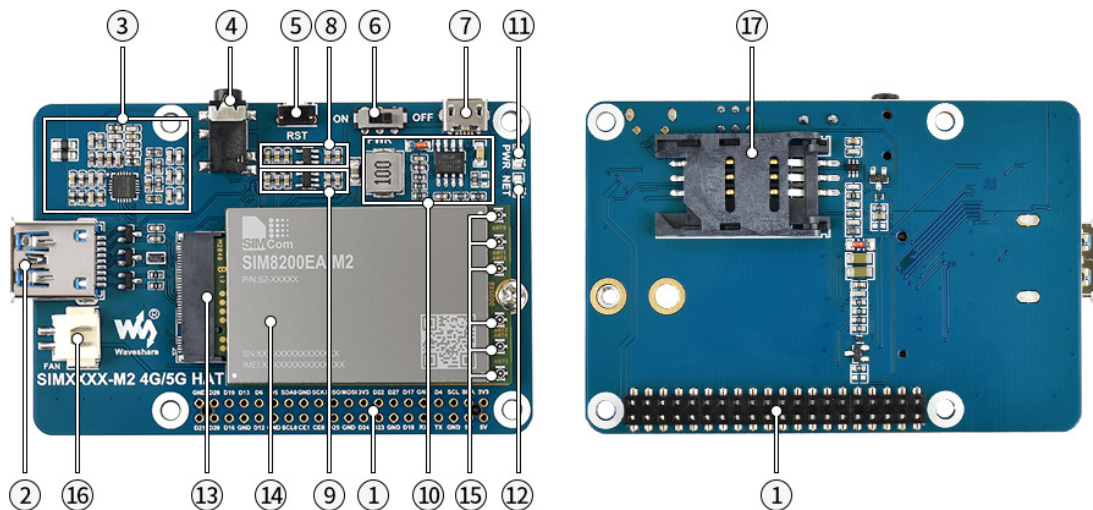
Model Raspberry Pi računala korištenog prilikom izrade ovog Završnog rada jest Raspberry Pi 5. Povezanost uređaja s korištenim proširenjem, koje omogućava pristup mreži (2.2.), realizirana je preko USB priključka. Korišten je operacijski sustav "Ubuntu Desktop 24.04" prilagođen za Raspberry Pi modele, dok je slanje AT-Naredbi (3.2.1.) provedeno korištenjem "Minicom" programskog rješenja te biblioteke "serial" implementirane u programskom jeziku "Python".



Slika 2.1. Raspberry Pi 5 [1]

2.2. SIM8200EA-M2 5G HAT

SIM8200EA-M2 5G HAT (Hardware Attached on Top) predstavlja dodatak na postojeći Raspberry Pi uređaj, koji omogućava povezivanje Raspberry Pi uređaja na mobilnu mrežu. Mreže kojima je moguće pristupiti putem HAT-a su: 3G/4G/5G. HAT također podržava pozicioniranje putem sustava: GPS, GLONASS, Beidou, Galileo, i QZSS.



Slika 2.2. SIM8200EA-M2 5G HAT [2]

Popis dijelova SIM8200EA-M2 5G HAT-a prikazanog na Slici 2.2.:

1. Raspberry Pi GPIO zaglavlje
2. USB3.1 priključak
3. Audio pogonski sklop
4. Audio priključak (ulaz)
5. Prekidač za resetiranje
6. Prekidač za napajanje
7. 5V 3A ulaz
8. Pretvarač napona (sa 5V na 3.3V)
9. Pretvarač napona (sa 5V na 1.8V)
10. Pretvarač napona (sa 5V na 4.3V)

11. Indikator napajanja
12. Indikator mreže
13. M.2 priključak
14. SIM8200EA-M2 modul
15. Antenski priključci
16. Priključak za ventilator
17. Utor za SIM karticu

2.3. SIM8200EA-M2 modul

SIM8200EA-M2 modul ključna je komponenta SIM8200EA-M2 5G modema/HAT-a (2.2.). Omogućava spajanje modema na mobilnu mrežu te za prijenos i prijem signala koristi šest antenskih priključaka.

Antenski priključak	Opis funkcije
ANT0	3G/4G/5G prijenos i prijem signala
ANT1	4G/5G prijenos i prijem signala
ANT2	3G/4G/5G prijem signala
ANT3	3G/4G/5G prijem signala
ANT4	3G/4G/5G prijem signala
ANT5	4G/5G/GNSS prijem signala

Tablica 2.1. Popis antenskih priključaka na modulu te njima dodijeljenih funkcija [3]

3. Razrada

3.1. Pokretljivost u mobilnoj mreži

Pretpostavka mobilne mreže, kao javne pokretne mreže, jest da su u njoj implementirane procedure i pravila vezana uz pokretljivosti [4]:

- terminala
- osoba
- usluga

3.1.1. Pokretljivost terminala

Pojam pokretljivosti terminala odnosi se na sposobnost mreže da prati lokaciju korisničke opreme te na temelju dobivene lokacije primjenjuje daljnje procedure (registracija/ažuriranje lokacijske informacije).

3.1.2. Pokretljivost osoba

Mreža omogućava identifikaciju korisnika neovisno o pokretnom uređaju/mobilnom terminalu koji on koristi. Sukladno tome, na specifičnog se korisnika, neovisno o korištenom terminalu, uvijek primjenjuju jednaka usluga, o kojoj se informacije nalaze u domaćem lokacijskom registru.

3.1.3. Pokretljivost usluga

Pokretljivost usluga označava činjenicu da su mrežne usluge korisniku dostupne neovisno o statusu njegovog kretanja. Bilo da je korisnik u pokretu, unutar istog mrežnog

područja, ili na prijelazu između različitih mreža/ćelija, zadatak je mreže da odredi optimalan način pružanja usluga korisniku.

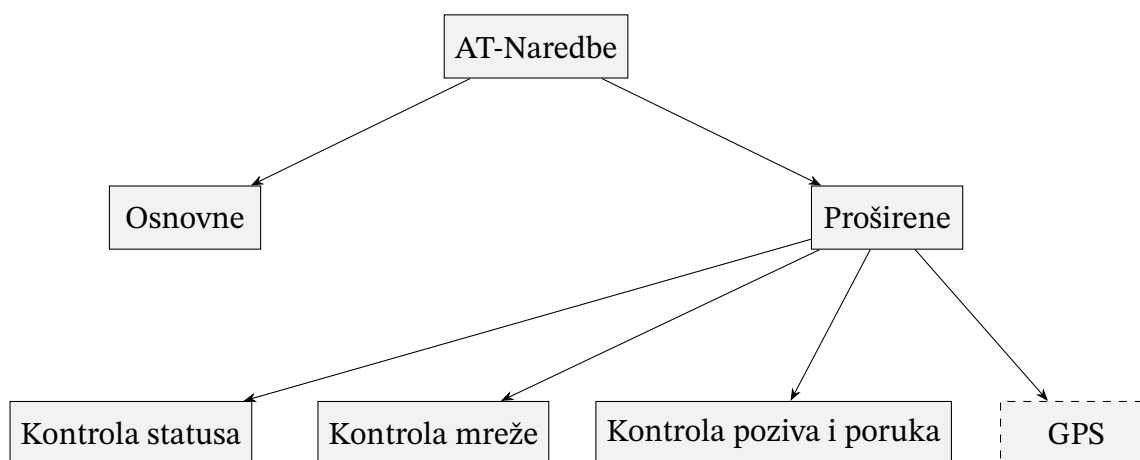
3.2. Upravljanje pokretljivosti

Iako je pokretljivost u mobilnoj mreži većinom vezana uz kapacitete i mogućnosti same mreže, korištenjem dostupnih alata možemo pokušati utjecati na neke aspekte pokretljivosti.

Uporabom AT-Naredbi, možemo bilježiti lokaciju i kretanje samog mobilnog terminala (u našem slučaju uređaja Raspberry Pi 5 u kombinaciji s proširenjem SIM8200EA 5G) te informacije o jačini signala i baznoj stanici na koju je terminal u nekom trenutku spojen. Analizom podataka možemo stvoriti liste baznih postaja te njima dodijeljenih mrežnih tehnologija pa potom ovisno o našim preferencijama, kreirati pristupnu listu koja će određivati na koju će se mrežu terminal u određenom području spojiti. Kako je za neke primjene (povezanost u uvjetima slabije mrežne pokrivenosti) poželjno da je povezanost terminala s mrežom konstantna, a ne nužno najpropusnija, ovakav pristup prema pokretljivosti može se pokazati korisnim.

3.2.1. AT-Naredbe

AT-Naredbe predstavljaju naredbe, tj. instrukcije koje možemo slati modemu. Pomoću njih je moguće upravljati karakteristikama i ponašanjem samog modema (u dozvoljenim okvirima).



Slika 3.1. Klasifikacija AT-Naredbi

3.3. Prikupljanje lokacijskih informacija

U svrhu prikupljanja lokacijskih informacija mobilnog terminala, korištena je skripta koja pomoću odabranih AT-Naredbi prikuplja podatke o trenutnom položaju terminala te o baznoj stanici na koju je terminal spojen.

U nastavku su navedene AT-Naredbe koje su korištene u izradi skripte te opis i prikaz povratnih informacije koje pomoću njih dobivamo.

AT-Naredba	Opis naredbe	Grupa naredbi
AT+CGPS=1	pokretanje GPS sesije/sjednice	GPS
AT+CGPSINFO	prikaz pozicijskih informacija	GPS
AT+CPSI?	prikaz sistemskih informacija mob. terminala	Kontrola statusa
AT+CREG=2	opcionalni detalji statusa registracije na mrežu*	Kontrola mreže
AT+CREG?	prikaz statusa registracije na mrežu	Kontrola mreže

* odabir prikaza opcionalnih detalja

Tablica 3.1. Popis AT-Naredbi korištenih za prikupljanje lokacijskih informacija

AT-Naredba	Povratna informacija
AT+CGPS=1	OK +CGPSXD: 1 <i>potvrda uspješnog pokretanja GPS sesija/sjednica</i>
AT+CGPSINFO	OK +CGPSINFO: 46.087221,N,15.840827,E,100624,085749.0,166.0,0.0,, <i>prikaz trenutnih koordinata, datuma, vremena, nadmorske visine...</i>
AT+CPSI?	+CPSI: LTE,Online,219-10,0x96,337481,23,EUTRAN-BAND, 28,9260,3,3,-99,-891,-618,13 <i>prikaz trenutne mreže, statusa uređaja, MCC-a, MNC-a, TAC-a, CI-a...</i>
AT+CREG=2	OK <i>potvrda uspješnog odabira detaljnijeg prikaza ispisa AT+CREG? naredbe</i>
AT+CREG?	+CREG: 2,1,96,52649 <i>prikaz statusa registracije na mrežu, LAC-a te CI-a</i>

Tablica 3.2. Primjer povratnih informacije AT-Naredbi korištenih za prikupljanje lokacijskih informacija

Pseudokod skripte obuhvaća poopćene najvažnije aspekte samog programa.

```
function logLocationInfo(end_time) {  
  
    port = '/dev/ttyUSB2'  
    baudrate = 115200  
  
    ser = initialize_serial_connection(port, baudrate)  
  
    send_at_command(ser, ATCommand.GPS_SESSION_START)  
  
    send_at_command(ser, ATCommand.CREG_MORE_INFO)  
  
    mcc, mnc = send_at_command(ser, ATCommand.CPSI_STATUS)  
  
    response_list = []  
    while (curr_time < end_time) {  
        gps_response = send_at_command(ser, ATCommand.GPS_POSITION_INFO)  
        creg_response = send_at_command(ser, ATCommand.CREG_STATUS_INFO)  
  
        response_list.add((gps_response, creg_response))  
    }  
  
    write_to_csv(response_list, mcc, mnc)  
    close(ser)  
  
}
```

Slika 3.2. Pseudokod programa za prikupljanje lokacijskih informacija

Nakon početne uspostave serijske veze s modemom (te njegove konfiguracije), program započinje iteriranje koje završava kada istekne zadano vrijeme. Prilikom svake iteracije, program od terminala dobiva podatke o lokacijskoj informaciji te o baznoj stanici na koju je terminal spojen. Trenutna implementacija kao konačan izlaz iz programa predaje ".csv" datoteku u koju su podatci zapisani po redcima, sa predefiniranim stupcima. Prikaz sadržaja izlazne datoteke nalazi se na Slici B1.

3.4. Selektivno uspostavljanje veze

Kako bismo isprobali scenarij u kojem se mobilni terminal, na korisničku inicijativu, prespaja na drugu, specifičnu mrežu, korištena je skripta koja inicira ručno prespajanje terminala. Mogući načini rada uključuju prespajanje terminala na mrežu više ili niže generacije (od trenutne ili od fiksno zadane).

U nastavku su navedene AT-Naredbe koje su korištene u izradi skripte te opis i prikaz povratnih informacije koje pomoću njih dobivamo.

AT-Naredba	Opis naredbe	Grupa naredbi
AT+CSQ	prikaz RSSI i BER povratnih informacija	Kontrola statusa
AT+COPS?	prikaz informacija o trenutnoj mreži	Kontrola mreže
AT+COPS=?	prikaz informacija o dostupnim mrežama	Kontrola mreže
AT+COPS= format *	unos informacija o željenoj mreži	Kontrola mreže

***format**: 1,2,<brojčana oznaka operatera mobilne mreže>,<pristupna tehnologija>

Tablica 3.3. Popis AT-Naredbi korištenih za selektivno uspostavljanje veze

AT-Naredba	Povratna informacija
AT+CSQ	+CSQ: 24,99 <i>prikaz vrijednosti RSSI-a i BER-a</i>
AT+COPS?	+COPS: 0,0,"A1 HR ",7 OK <i>prikaz oznake operatera i pristupne tehnologije</i>
AT+COPS=?	+COPS: (1,"A1 HR ","A1 HR ","21910",7), (3,"Tele2 HR","Tele2 HR","21902",7), (3,"Tele2 HR","Tele2 HR","21902",2), (3,"HT HR","HT HR","21901",7),,(0,1,2,3,4),(0,1,2) OK <i>prikaz informacija o dostupnim i preostalim vidljivim mrežama</i>
AT+COPS= format *	OK <i>potvrda uspješnog spajanja na unesenu mrežu</i>

***format**: 1,2,<brojčana oznaka operatera mobilne mreže>,<pristupna tehnologija>

Tablica 3.4. Primjer povratnih informacije AT-Naredbi korištenih za selektivno uspostavljanje veze

Pseudokod skripte obuhvaća poopćene najvažnije aspekte samog programa.

```
params = {
    "preferred_tech": ...
    "banned_tech": ...
    "key_word": higher/lower
    "min_bandwidth": ...
    "min_signal_quality": ...
}

function forceNetworkChange(end_time, params) {
    /* every action is logged */

    port = '/dev/ttyUSB2'
    baudrate = 115200

    ser = initialize_serial_connection(port, baudrate)

    while (curr_time < end_time) {
        operator, curr_tech = send_at_command(ser, ATCommand.NETWORK_CURR)
        switch_needed = check_switch(curr_tech, params)

        if (switch_needed) {
            networks = send_at_command(ATCommand.NETWORK_LIST)
            network = return_best_network(networks, params)

            if (network != null) {
                send_at_command(ATCommand.FORCE_SWITCH, network, operator)
            }
        }

        send_at_command(ATCommand.SIGNAL_QUALITY)
        run_speedtest()
    }

    close(ser)
}
```

Slika 3.3. Pseudokod programa za selektivno uspostavljanje veze

Program za selektivno uspostavljanje veze strukturiran je na način da omogućava ručno (obzirom na želje korisnika) prespajanje prema pet scenarija:

1. eksplicitno je unesena tehnologija pristupa mreži
2. eksplicitno je zabranjena tehnologija pristupa mreži
3. unesene su ključne riječi *"higher"*, tj. *"lower"* te se odnose na:

- (a) trenutnu tehnologiju pristupa mreži
 - (b) eksplicitno zadanu tehnologiju pristupa mreži
4. eksplicitno je zadan prag minimalne razine signala
 5. eksplicitno je zadan prag minimalne propusnosti

Nakon početne uspostave serijske veze s modemom, program započinje iteriranje koje završava kada istekne zadano vrijeme. U slučaju kada je uvjet za početak pokušaja prespajanja zadovoljen (temeljeno na ulaznim parametrima), program šalje AT-Naredbu koja mu vraća popis svih, terminalu, dostupnih mreža. Ako više dostupnih mreža zadovoljava uvjete prespajanja, odabire se ona koja, prema interno određenim pravilima (npr. najniža/najviša generacija), najbolje odgovara navedenim uvjetima. U slučaju kada ni jedna dostupna mreža ne odgovara uvjetima prespajanja, terminal ostaje spojen na trenutnu mrežu. Program u svakoj iteraciji, neovisno o tome je li obavio prespajanje, vrši provjeru jačine signala te propusnosti mreže, a potom te podatke dodaje/kombinira s ulaznim parametrima te, u idućoj iteraciji, koristi u odabiru mreže koja najbolje odgovara uvjetima prespajanja. Programski logovi skripte, u nekim scenarijima, prikazani su na Slikama: C1., C2., C3., C4.

4. Zaključak

U ovom radu istražili smo mogućnosti upravljanja pokretljivosti Raspberry Pi uređaja u mobilnoj mreži. Kroz implementaciju skripti koje koriste AT-Naredbe omogućili smo bilježenje informacija poput lokacije uređaja, jačine signala i mreže na koju je uređaj spojen. Također, implementirali smo ručno (prema preferencijama korisnika) prespajanje uređaja na različite dostupne mreže. Rezultati su pokazali kako je moguće postići određenu razinu kontrole nad pokretljivošću terminala; terminal se uspješno spaja na zadane mreže te pritom ne gubi pristup mrežnim uslugama.

Literatura

- [1] Daniel Schier, <https://blog.while-true-do.io/release-raspberry-pi-5/>, [mrežno; stranica posjećena: lipanj 2024.].
- [2] Waveshare, <https://www.waveshare.com/sim8200ea-m2-5g-hat.htm>, [mrežno; stranica posjećena: svibanj 2024.].
- [3] —, https://www.waveshare.com/wiki/SIM8200EA-M2_5G_HAT, [mrežno; stranica posjećena: svibanj 2024.].
- [4] Gordan Ježić, Radovan Zentner, Matea Žilak, “JPM-2023-24-01n”, https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/JPM-2023_24-01n.pdf, 10 2023., [Licencirano pod Creative Commons licencom. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/hr/>].

Sažetak

Upravljanje pokretljivosti Raspberry Pi uređaja u mobilnoj mreži

Matija Alojz Stuhne

U ovom radu istražuje se praktična primjena upravljanja pokretljivosti u mobilnoj mreži, s fokusom na korištenje Raspberry Pi uređaja, kao mobilnog terminala. Korištenjem proširenja (HAT-a) uređaju se omogućuje spajanje na mobilnu mrežu te se korištenjem AT-Naredbi upravlja ponašanjem modema. Izradom automatiziranih skripti, omogućeno je bilježenje, i spremanje, lokacijskih informacija, jačine signale, statusa mrežne povezanosti te selektivno spajanje na određene mreže ovisno o uvjetima postavljenim od strane korisnika.

Ključne riječi: Raspberry Pi; upravljanje pokretljivosti; upravljanje pokretljivošću; mobilna mreža; javna pokretna mreža; AT-Naredbe; SIM8200EA-M2 5G HAT

Abstract

Mobility management of a Raspberry Pi device in a mobile network

Matija Alojz Stuhne

This master's thesis explores the practical application of mobility management in a mobile network, focusing on using the Raspberry Pi device as a mobile terminal. By using an extension (HAT), the device can connect to the network and the modem's behaviour is managed using AT Commands. The creation of automated scripts enables logging, and saving the location information, signal strength, network connectivity status, and making selective connections to specific networks on the conditions set by the user.

Keywords: Raspberry Pi; mobility management; mobile network; AT Commands; SIM8200EA-M2 5G HAT

Privitak A: Dodatne informacije

1. GitHub repozitorij:

- na navedenoj poveznici nalazi se *GitHub* repozitorij koji sadrži skripte korištene u svrhu pisanja ovog Završnog rada
- GitHub

2. Dodatno o AT-Naredbama:

- na navedenoj poveznici nalazi se dokumentacija koji sadrži dodatne informacije o formatu i primjerima korištenja AT-Naredbi
- Simcom Turkiye

Privitak B: Sadržaj datoteke gps_log.csv

Latitude	Lat Dir	Longitude	Long Dir	Date	UTC Time	Altitude	Speed	Course	LAC	CI	MNC	MCC	RSSI	BER	Technology
46.079795	N	15.852750	E	140624	104143.0	146.6	0.3		150	337431	HR	AI	21	99	EUTRAN
46.079019	N	15.854330	E	140624	104152.0	150.0	-0.1		150	337431	HR	AI	21	99	EUTRAN
46.077860	N	15.855672	E	140624	104201.0	148.3	-0.2		150	337431	HR	AI	21	99	EUTRAN
46.076763	N	15.856778	E	140624	104210.0	149.7	0.2		150	337481	HR	AI	21	99	EUTRAN
46.075379	N	15.857632	E	140624	104220.0	150.9	0.1		150	337479	HR	AI	21	99	EUTRAN
46.074139	N	15.857994	E	140624	104229.0	148.0	0.0		150	337429	HR	AI	22	99	EUTRAN
46.072846	N	15.858670	E	140624	104239.0	149.8	0.3		150	337429	HR	AI	22	99	EUTRAN
46.071600	N	15.859138	E	140624	104248.0	147.4	-0.3		150	337429	HR	AI	22	99	EUTRAN
46.070329	N	15.859221	E	140624	104257.0	145.8	-0.0		150	337429	HR	AI	22	99	EUTRAN
46.069090	N	15.859565	E	140624	104306.0	142.0	-0.0		150	337429	HR	AI	22	99	EUTRAN
46.067900	N	15.860236	E	140624	104315.0	139.2	0.2		150	337429	HR	AI	22	99	EUTRAN
46.066665	N	15.860823	E	140624	104324.0	141.6	-0.0		150	337429	HR	AI	22	99	EUTRAN
46.065366	N	15.861342	E	140624	104333.0	143.4	0.4		150	337429	HR	AI	25	99	EUTRAN
46.064146	N	15.861975	E	140624	104342.0	145.3	0.2		150	337429	HR	AI	25	99	EUTRAN
46.062993	N	15.862817	E	140624	104351.0	145.9	0.2		150	337429	HR	AI	21	99	EUTRAN
46.061838	N	15.863629	E	140624	104400.0	146.1	-0.3		150	337429	HR	AI	21	99	EUTRAN
46.060572	N	15.863692	E	140624	104409.0	144.9	0.1		150	337429	HR	AI	21	99	EUTRAN
46.059257	N	15.863689	E	140624	104418.0	144.6	-0.5		150	337429	HR	AI	21	99	EUTRAN
46.057922	N	15.863723	E	140624	104427.0	143.9	-0.1		150	337429	HR	AI	21	99	EUTRAN
46.056660	N	15.863333	E	140624	104436.0	140.4	-0.0		150	337429	HR	AI	21	99	EUTRAN
46.055480	N	15.862309	E	140624	104445.0	141.4	-0.2		150	337429	HR	AI	21	99	EUTRAN
46.054173	N	15.862020	E	140624	104454.0	145.5	0.1		150	337429	HR	AI	21	99	EUTRAN
46.053016	N	15.861804	E	140624	104503.0	143.1	-0.2		150	337429	HR	AI	21	99	EUTRAN
46.052068	N	15.861203	E	140624	104512.0	142.1	-0.1		150	337429	HR	AI	21	99	EUTRAN
46.050972	N	15.861435	E	140624	104521.0	145.3	0.7		150	337429	HR	AI	24	99	EUTRAN

Slika B1. Primjer sadržaja izlazne datoteke koja sadrži lokacijske informacije

Privitak C: Sadržaj programskih logova

C1. Prespajanje na mrežu niže generacije od trenutne

Prespajanje na mrežu niže generacije od trenutne

```
2024-06-10 21:11:29,444 - INFO - Connected to /dev/ttyUSB2 at 115200 baud.
2024-06-10 21:11:29,444 - INFO - Starting network switch with mode: 3 and target: lower
2024-06-10 21:11:29,444 - INFO - Checking current network...
2024-06-10 21:11:30,447 - INFO - Command 'AT+COPS?' sent. Response: ['AT+COPS?', '+COPS: 0,0,"A1 HR
",7', '', 'OK']
2024-06-10 21:11:30,448 - INFO - Current network: {'mode': 0, 'format': 0, 'oper': 'A1 HR ', 'tech':
7}
2024-06-10 21:11:30,448 - INFO - Searching for available networks...
2024-06-10 21:12:40,966 - INFO - Command 'AT+COPS=?' sent. Response: ['AT+COPS=?', '+COPS: (1,"A1 HR
","A1 HR","21910",2),(2,"A1 HR ","A1 HR ","21910",7),(3,"Tele2 HR","Tele2 HR","21902",2),(3,"HT
HR","HT HR","21901",7),(3,"Tele2 HR","Tele2 HR","21902",7),,(0,1,2,3,4),(0,1,2)', '', 'OK']
2024-06-10 21:12:40,966 - INFO - Found network: {'status': 1, 'name': 'A1 HR', 'short_name': 'A1 HR
', 'mcc_mnc': '21910', 'tech': 2}
2024-06-10 21:12:40,967 - INFO - Found network: {'status': 2, 'name': 'A1 HR ', 'short_name': 'A1 HR
', 'mcc_mnc': '21910', 'tech': 7}
2024-06-10 21:12:40,967 - INFO - Found network: {'status': 3, 'name': 'Tele2 HR', 'short_name': '
Tele2 HR', 'mcc_mnc': '21902', 'tech': 2}
2024-06-10 21:12:40,967 - INFO - Found network: {'status': 3, 'name': 'HT HR', 'short_name': 'HT HR
', 'mcc_mnc': '21901', 'tech': 7}
2024-06-10 21:12:40,967 - INFO - Found network: {'status': 3, 'name': 'Tele2 HR', 'short_name': '
Tele2 HR', 'mcc_mnc': '21902', 'tech': 7}
2024-06-10 21:12:42,239 - INFO - Command 'AT+COPS=1,2,"21910",2' sent. Response: ['AT+COPS
=1,2,"21910",2', 'OK']
2024-06-10 21:12:42,239 - INFO - Switched to lower generation network: A1 HR 2
2024-06-10 21:12:42,239 - INFO - Checking signal quality...
2024-06-10 21:12:43,242 - INFO - Command 'AT+CSQ' sent. Response: ['AT+CSQ', '+CSQ: 20,99', '', 'OK
']
2024-06-10 21:12:43,242 - INFO - Signal Quality - RSSI: 20, BER: 99
2024-06-10 21:12:46,247 - INFO - Checking network speed...
2024-06-10 21:13:08,784 - INFO - Download speed: 4.22 Mbps
2024-06-10 21:13:08,784 - INFO - Upload speed: 9.45 Mbps
2024-06-10 21:13:08,784 - INFO - Ping: 46.224 ms
```

Slika C1. Primjer sadržaja programskih logova programa za selektivno uspostavljanje veze

C2. Prespajanje na mrežu više generacije od trenutne

Prespajanje na mrežu više generacije od trenutne

```
2024-06-10 21:37:22,612 - INFO - Connected to /dev/ttyUSB2 at 115200 baud.
2024-06-10 21:37:22,612 - INFO - Starting network switch with mode: 3 and target: higher
2024-06-10 21:37:22,612 - INFO - Checking current network...
2024-06-10 21:37:23,614 - INFO - Command 'AT+COPS?' sent. Response: ['AT+COPS?', '+COPS: 0,0,"A1 HR",6', '', 'OK']
2024-06-10 21:37:23,615 - INFO - Current network: {'mode': 0, 'format': 0, 'oper': 'A1 HR ', 'tech': 6}
2024-06-10 21:37:23,615 - INFO - Searching for available networks...
2024-06-10 21:38:59,149 - INFO - Command 'AT+COPS=?' sent. Response: ['AT+COPS=?', '+COPS: (1,"A1 HR ", "A1 HR ", "21910",2),(1,"A1 HR", "A1 HR", "21910",7),(3,"Tele2 HR", "Tele2 HR", "21902",2),(3,"HT HR", "HT HR", "21901",2),(3,"Tele2 HR", "Tele2 HR", "21902",7),(3,"HT HR", "HT HR", "21901",7),,(0,1,2,3,4),(0,1,2)', '', 'OK']
2024-06-10 21:38:59,150 - INFO - Found network: {'status': 1, 'name': 'A1 HR ', 'short_name': 'A1 HR ', 'mcc_mnc': '21910', 'tech': 2}
2024-06-10 21:38:59,150 - INFO - Found network: {'status': 1, 'name': 'A1 HR', 'short_name': 'A1 HR ', 'mcc_mnc': '21910', 'tech': 7}
2024-06-10 21:38:59,150 - INFO - Found network: {'status': 3, 'name': 'Tele2 HR', 'short_name': 'Tele2 HR', 'mcc_mnc': '21902', 'tech': 2}
2024-06-10 21:38:59,150 - INFO - Found network: {'status': 3, 'name': 'HT HR', 'short_name': 'HT HR ', 'mcc_mnc': '21901', 'tech': 2}
2024-06-10 21:38:59,150 - INFO - Found network: {'status': 3, 'name': 'Tele2 HR', 'short_name': 'Tele2 HR', 'mcc_mnc': '21902', 'tech': 7}
2024-06-10 21:38:59,150 - INFO - Found network: {'status': 3, 'name': 'HT HR', 'short_name': 'HT HR ', 'mcc_mnc': '21901', 'tech': 7}
2024-06-10 21:39:01,136 - INFO - Command 'AT+COPS=1,2,"21910",7' sent. Response: ['AT+COPS=1,2,"21910",7', '', 'OK']
2024-06-10 21:39:01,136 - INFO - Switched to higher generation network: A1 HR 7
2024-06-10 21:39:01,136 - INFO - Checking signal quality...
2024-06-10 21:39:02,139 - INFO - Command 'AT+CSQ' sent. Response: ['AT+CSQ', '+CSQ: 25,99', '', 'OK']
2024-06-10 21:39:02,140 - INFO - Signal Quality - RSSI: 25, BER: 99
2024-06-10 21:39:05,144 - INFO - Checking network speed...
2024-06-10 21:39:27,906 - INFO - Download speed: 38.34 Mbps
2024-06-10 21:39:27,906 - INFO - Upload speed: 7.78 Mbps
2024-06-10 21:39:27,906 - INFO - Ping: 52.589 ms
```

Slika C2. Primjer sadržaja programskih logova programa za selektivno uspostavljanje veze

C3. Prespajanje na mrežu sa većim RSSI-em

Prespajanje na mrežu sa većim RSSI-em

```
2024-06-14 11:02:11,073 - INFO - Connected to /dev/ttyUSB2 at 115200 baud.
2024-06-14 11:02:11,074 - INFO - Starting network switch with mode: rssi and target: 21
2024-06-14 11:02:11,074 - INFO - RSSI threshold is set at: 21
2024-06-14 11:02:11,074 - INFO - Checking current network...
2024-06-14 11:02:12,076 - INFO - Command 'AT+COPS?' sent. Response: ['AT+COPS?', '+COPS:
0,0,"A1 HR ",7', '', 'OK']
2024-06-14 11:02:12,077 - INFO - Current network: {'mode': 0, 'format': 0, 'oper': 'A1 HR ',
'tech': 7}
2024-06-14 11:02:12,077 - INFO - Checking signal quality...
2024-06-14 11:02:13,079 - INFO - Command 'AT+CSQ' sent. Response: ['AT+CSQ', '+CSQ: 20,99',
'', 'OK']
2024-06-14 11:02:13,080 - INFO - Signal Quality - RSSI: 20, BER: 99
2024-06-14 11:02:13,080 - INFO - Current RSSI is set at: 20
2024-06-14 11:02:13,080 - INFO - Current RSSI (20) is below threshold. Searching for other
networks...
2024-06-14 11:02:13,080 - INFO - Searching for available networks...
2024-06-14 11:03:48,680 - INFO - Command 'AT+COPS=?' sent. Response: ['AT+COPS=?', '+COPS:
(1,"A1 HR","A1 HR","21910",2),(1,"A1 HR ","A1 HR ","21910",7),(3,"HT HR","HT HR
","21901",2),(3,"Tele2 HR","Tele2 HR","21902",2),(3,"Tele2 HR","Tele2 HR","21902",7)
,(3,"HT HR","HT HR","21901",7),,(0,1,2,3,4),(0,1,2)', '', 'OK']
2024-06-14 11:03:48,681 - INFO - Found network: {'status': 1, 'name': 'A1 HR', 'short_name':
'A1 HR', 'mcc_mnc': '21910', 'tech': 2}
2024-06-14 11:03:48,681 - INFO - Found network: {'status': 1, 'name': 'A1 HR ', 'short_name':
'A1 HR ', 'mcc_mnc': '21910', 'tech': 7}
2024-06-14 11:03:48,681 - INFO - Found network: {'status': 3, 'name': 'HT HR', 'short_name':
'HT HR', 'mcc_mnc': '21901', 'tech': 2}
2024-06-14 11:03:48,681 - INFO - Found network: {'status': 3, 'name': 'Tele2 HR', 'short_name
': 'Tele2 HR', 'mcc_mnc': '21902', 'tech': 2}
2024-06-14 11:03:48,681 - INFO - Found network: {'status': 3, 'name': 'Tele2 HR', 'short_name
': 'Tele2 HR', 'mcc_mnc': '21902', 'tech': 7}
2024-06-14 11:03:48,681 - INFO - Found network: {'status': 3, 'name': 'HT HR', 'short_name':
'HT HR', 'mcc_mnc': '21901', 'tech': 7}
2024-06-14 11:03:49,815 - INFO - Command 'AT+COPS=1,0,A1 HR,2' sent. Response: ['AT+COPS=1,0,
A1 HR,2', 'OK']
2024-06-14 11:03:49,816 - INFO - Checking signal quality...
2024-06-14 11:03:50,818 - INFO - Command 'AT+CSQ' sent. Response: ['AT+CSQ', '+CSQ: 22,99',
'', 'OK']
2024-06-14 11:03:50,818 - INFO - Signal Quality - RSSI: 22, BER: 99
2024-06-14 11:03:50,818 - INFO - Switched to network: A1 HR 2 with better RSSI: 22
2024-06-14 11:03:53,822 - INFO - Checking network speed...
2024-06-14 11:04:14,472 - INFO - Download speed: 4.04 Mbps
2024-06-14 11:04:14,472 - INFO - Upload speed: 9.32 Mbps
2024-06-14 11:04:14,472 - INFO - Ping: 39.892 ms
```

Slika C3. Primjer sadržaja programskih logova programa za selektivno uspostavljanje veze

C4. Prespajanje na mrežu sa većom propusnošću

Prespajanje na mrežu sa većom propusnošću

```
2024-06-14 11:50:46,818 - INFO - Connected to /dev/ttyUSB2 at 115200 baud.
2024-06-14 11:50:46,819 - INFO - Starting network switch with mode: bandwidth and target:
20.0, 10.0
2024-06-14 11:50:46,819 - INFO - Speed threshold is set at: 20.0 Mbps download, 10.0 Mbps
upload
2024-06-14 11:50:46,819 - INFO - Checking current network...
2024-06-14 11:50:47,821 - INFO - Command 'AT+COPS?' sent. Response: ['AT+COPS?', '+COPS:
0,0,"A1 HR ",6', '', 'OK']
2024-06-14 11:50:47,822 - INFO - Current network: {'mode': 0, 'format': 0, 'oper': 'A1 HR ',
'tech': 6}
2024-06-14 11:50:48,323 - INFO - Checking network speed...
2024-06-14 11:51:11,474 - INFO - Download speed: 3.99 Mbps
2024-06-14 11:51:11,474 - INFO - Upload speed: 9.53 Mbps
2024-06-14 11:51:11,474 - INFO - Ping: 32.878 ms
2024-06-14 11:51:11,474 - INFO - Current network speed is below threshold. Searching for
better networks...
2024-06-14 11:51:11,475 - INFO - Searching for available networks...
2024-06-14 11:52:47,074 - INFO - Command 'AT+COPS=?' sent. Response: ['AT+COPS=?', '+COPS:
(1,"A1 HR ", "A1 HR ", "21910",2), (1,"A1 HR", "A1 HR", "21910",7), (3,"Tele2 HR", "Tele2 HR
", "21902",7), (3,"HT HR", "HT HR", "21901",2), (3,"Tele2 HR", "Tele2 HR", "21902",2), (3,"HT HR
", "HT HR", "21901",7),, (0,1,2,3,4), (0,1,2)', '', 'OK']
2024-06-14 11:52:47,075 - INFO - Found network: {'status': 1, 'name': 'A1 HR ', 'short_name':
'A1 HR ', 'mcc_mnc': '21910', 'tech': 2}
2024-06-14 11:52:47,075 - INFO - Found network: {'status': 1, 'name': 'A1 HR ', 'short_name':
'A1 HR ', 'mcc_mnc': '21910', 'tech': 7}
2024-06-14 11:52:47,075 - INFO - Found network: {'status': 3, 'name': 'Tele2 HR ', 'short_name':
'Tele2 HR ', 'mcc_mnc': '21902', 'tech': 7}
2024-06-14 11:52:47,075 - INFO - Found network: {'status': 3, 'name': 'HT HR ', 'short_name':
'HT HR ', 'mcc_mnc': '21901', 'tech': 2}
2024-06-14 11:52:47,075 - INFO - Found network: {'status': 3, 'name': 'Tele2 HR ', 'short_name':
'Tele2 HR ', 'mcc_mnc': '21902', 'tech': 2}
2024-06-14 11:52:47,075 - INFO - Found network: {'status': 3, 'name': 'HT HR ', 'short_name':
'HT HR ', 'mcc_mnc': '21901', 'tech': 7}
2024-06-14 11:52:48,577 - INFO - Command 'AT+COPS=1,0,A1 HR,7' sent. Response: ['AT+COPS=1,0,
A1 HR,7', 'OK']
2024-06-14 11:52:51,582 - INFO - Checking network speed...
2024-06-14 11:53:17,131 - INFO - Download speed: 45.22 Mbps
2024-06-14 11:53:17,131 - INFO - Upload speed: 12.52 Mbps
2024-06-14 11:53:17,131 - INFO - Ping: 61.041 ms
2024-06-14 11:53:17,131 - INFO - Switched to network: A1 HR 7 with better speed: 45.22 Mbps
download, 12.52 Mbps upload
2024-06-14 11:53:17,136 - INFO - Checking signal quality...
2024-06-14 11:53:18,141 - INFO - Command 'AT+CSQ' sent. Response: ['AT+CSQ', '+CSQ: 20,99',
'', 'OK']
2024-06-14 11:53:18,141 - INFO - Signal Quality - RSSI: 20, BER: 99
```

Slika C4. Primjer sadržaja programskih logova programa za selektivno uspostavljanje veze