

**REALIZACIJA I TESTIRANJE PRENOSA PODATAKA PUTEM LTE-M I NB-IOT 4G SERVISIA****IMPLEMENTATION AND EVALUATION OF DATA TRANSFERS OVER THE LTE-M AND NB-IOT 4G SERVICES**Boris Radovanović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

**Kratak sadržaj** – U ovom radu je izložena analiza performansi prenosa podataka korišćenjem FTP protokola putem LTE-M i NB-IoT 4G servisa. Komunikacija je realizovana pomoću Quectel BG96 modula. Za podatke su korišćene slike u JPEG formatu, dobijene kamerom na klijentskom hardveru. Programska podrška na klijentu je realizovana u programskom jeziku C na Espressif ESP32-WROVER-E modulu, dok je programska podrška na serveru realizovana pomoću Python skripte.

**Ključne reči:** LTE-M, NB-IoT, FTP, BG-96 modul

**Abstract** – This paper presents performance evaluation of FTP data transfer implementations over the LTE-M and NB-IoT 4G services by using Quectel BG96 module. The images in JPEG format, taken using camera module on the client's hardware, are used as the input for the transfer. On the client side, software is written in C and executed on ESP32-WROVER-E module, while on the server side, software is written in Python..

**Keywords:** LTE-M, NB-IoT, FTP, BG-96 module

**1. UVOD**

IoT (eng. *Internet of Things*) danas predstavlja termin koji se sve češće sreće u svakodnevnom životu ljudi zahvaljujući, kako sve većem napretku IoT tehnologija, tako i brojnim primenama za koje se one koriste. Kao posledica ovog razvoja, prisutan je sve veći broj uređaja koji su međusobno umreženi. Samo u 2021. godini je bilo prisutno preko 10 milijardi IoT uređaja, a prema procenama, ovaj broj bi mogao preći 25 milijardi do 2030. godine [1].

Većina IoT uređaja je jednostavne arhitekture, skromnih performansi, koji obavljaju određenu funkcionalnost. Samim time, tehnologije koje se razvijaju radi njihovog umrežavanja moraju, pored skalabilnosti, posedovati i protokole koji će omogućiti što efikasniju komunikaciju sa skromnim resursima, uz minimalan utrošak energije. Jedne od tih tehnologija jesu NB-IoT i LTE-M mobilne tehnologije. Obe ove tehnologije su deo LTE standarda, odnosno četvrte generacije (4G) mobilnih tehnologija, ali su takođe podržane i u petoj generaciji (5G). Na teritoriji Republike Srbije je trenutno komercijalno dostupan samo NB-IoT, dok je LTE-M još u fazi testiranja.

**NAPOMENA:**

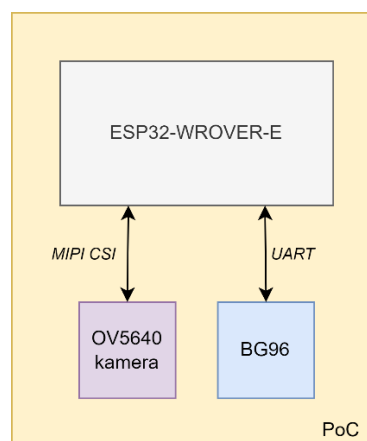
**Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Ivan Mezei, vanr. prof.**

Generalno, jedan od glavnih ciljeva IoT tehnologija jeste minimizacija potrošnje energije, što se često postiže smanjivanjem protoka podataka u komunikaciji. NB-IoT je tehnologija koja obezbeđuje izuzetno malu potrošnju energije, ali je zato maksimalna brzina prenosa za ovu tehnologiju (LTE Cat NB1) 26kbit/s za *downlink* i 66kbit/s za *uplink*. Sa druge strane, LTE-M tehnologija takođe obezbeđuje relativno nisku potrošnju energije, ali i brži prenos podataka. Zbog toga, ukoliko potrošnja energije nije od presudnog značaja, za prenos veće količine podataka, kao i kontinuiranog slanja podataka, poželjnije je koristiti LTE-M, što će se pokazati i kroz rezultate ovog rada.

U narednom, drugom, poglavlju ovog rada opisane su korišćene tehnologije za realizaciju sistema, nakon čega su, u trećem poglavlju, predstavljeni realizacija i rezultati testiranja sistema.

**2. KORIŠĆENI HARDVERSKI MODULI**

Hardver klijentske strane, za realizaciju klijent-server komunikacije, čini PoC PCB pločica projektovana i realizovana na Katedri za elektroniku (Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad). Njene ključne komponente su Espressif ESP32-WROVER-E modul [2] i Quectel BG96 modul [3]. Struktura klijenta je prikazana na slici 1.



Slika 1. Struktura klijenta

**2.1. ESP32-WROVER-E modul**

ESP32-WROVER-E modul predstavlja procesorsku jedinicu klijentske strane. Ovaj modul predstavlja SoC (eng. *System on Chip*) koji na sebi, pored dvojezrog (ili jednojezrog, zavisno od modela) Xtensa LX6 mikroprocesora, sadrži čip za WiFi i Bluetooth

komunikaciju, kao i 4MB fleš memorije. Pored izvršavanja osnovnih funkcionalnosti programske podrške na klijentskoj strani, ključna uloga ovog modula u realizovanom sistemu jeste komunikacija sa BG96 modulom, putem serijske komunikacije.

## 2.2. BG96 modul

BG96 modul omogućava uspostavljanje komunikacije između klijenta i servera. Ovaj modul, koji na sebi sadrži ARM A7 procesor sa 3MB Flash i 3MB RAM memorije, podržava LTE Cat M1, Cat NB1 tehnologije, kao i EGPRS. Maksimalna brzina prenosa podataka koju može da dostigne u idealnim uslovima, kako za *downlink* (od servera ka modulu), tako i za *uplink* (od modula ka serveru), je 375Kbps.

Konfiguracija i kontrola BG96 modula se ostvaruje pomoću AT komandi. U realizovanom sistemu, ove komande šalje ESP32 modul putem serijske komunikacije, kako bi konfigurisao BG96 modul za željenu tehnologiju komunikacije, kao i za konfiguraciju parametara za FTP protokol i slanje podataka. U nastavku su izložena 4 tipa AT komandi, kao i njihov odgovarajući format za BG96 modul [4] (<x> predstavlja komandu):

- *test* komanda – vraća listu parametara i opsege vrednosti određene funkcionalnosti koja je podešena odgovarajućim *write* tipom komande ili internim procesom  
AT+<x>=?
- *read* komanda – vraća trenutno postavljenu vrednost odgovarajućeg parametra (ili parametara)  
AT+<x>?
- *write* komanda – postavlja željenu vrednost prosleđenog parametra od strane korisnika  
AT+<x>=<...>
- *execute* komanda – vraća vrednost parametara na koje utiču samo interni procesi i stanja modula  
AT+<x>

Ukoliko nije drugačije konfigurisano od strane korisnika, podrazumevana brzina prenosa podataka na serijskom portu BG96 modula je 115200 bit/s. Samim time mikrokontroler, odnosno uređaj koji šalje AT komande BG96 modulu putem serijske komunikacije, mora imati adekvatno podešenu brzinu prenosa na svom portu. Ukoliko je potrebno promeniti brzinu prenosa podataka na serijskom portu BG96 modula, to se može učiniti AT+IPR komandom na sledeći način:

AT+IPR=<baud\_rate>

gde *baud\_rate* predstavlja neku od vrednosti koje podržava modul, što se može videti detaljnije u tehničkoj dokumentaciji [4].

Prilikom korišćenja BG96 modula, najvažnije AT komande su komande koje služe za pretraživanje, konfiguraciju i registraciju modula na mobilne mreže. Jedna od tih komandi jeste AT+COPS komanda, koja je korišćena u realizovanom sistemu za odabir tehnologije mobilnog operatera koju će BG96 modul koristiti. Ova komanda prima više parametara [4], od kojih je za selekciju tehnologije

najbitniji <Act>, čijom vrednošću se vrši odabir tehnologije: GSM (vrednost 0), LTE Cat M1 (vrednost 8) i LTE Cat NB1 (vrednost 9).

S obzirom da je za prenos podataka odabran FTP protokol, neophodne su i AT komande za realizaciju ovog protokola na modulu. Osnovne AT komande koje se mogu koristiti u tu svrhu su sledeće:

AT+QFTPCFG – služi za konfiguraciju parametara protokola, poput korisničkog imena, lozinke, tipa podataka (binarni ili ASCII), pasivnog ili aktivnog režima itd.

AT+QFTPOPEN – služi za uspostavljanje konekcije sa FTP serverom. Kao parametri ove komande se prosleđuju IP adresa i port servera.

AT+QFTPCLOSE – služi za prekid konekcije sa FTP serverom.

AT+QFTPSTAT – služi za ispis statusa FTP servera.

AT+QFTPCWD – služi za određivanje trenutnog radnog direktorijuma na FTP serveru.

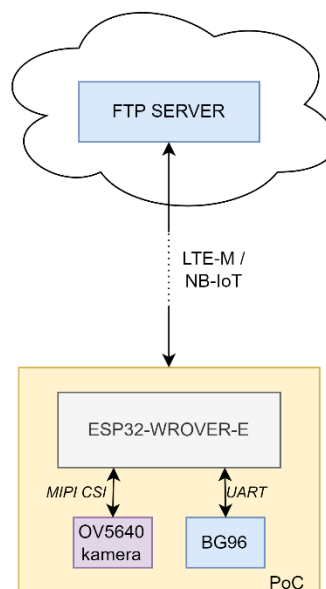
AT+QFTPPUT – služi za slanje fajla od modula ka FTP serveru (*upload*).

AT+QFTPGET – služi za preuzimanje fajla sa FTP servera (*download*).

Pored prethodnih komandi, BG96 modul podržava još dodatnih komandi za rad sa fajlovima i direktorijumima, o čemu se može videti više u tehničkoj dokumentaciji [5].

## 3. REALIZACIJA I REZULTATI TESTIRANJA

Struktura realizovanog sistema, odnosno klijent-server arhitekture, je prikazana na slici 2.



Slika 2. Struktura klijent-server arhitekture

FTP server je realizovan na Linux operativnom sistemu pomoću Python programskog jezika, korišćenjem *pyftplib* biblioteke. Korišćenjem *date* biblioteke je moguće realizovati i ispis toka komunikacije sa klijentima, čime je moguće dobiti detaljan uvid u sam tok prenosa podataka. Ova funkcionalnost je korišćena za merenje vremena transfera podataka prilikom testiranja.

### 3.1. Okruženje za testiranje

Prenos podataka je testiran u urbanom području na dve lokacije korišćenjem usluga *4G* operatera. Ove lokacije su odabrane u odnosu na poziciju bazne stanice sa koje su emitovani signali za LTE-M i NB-IoT tehnologije. Prva lokacija (dalje u tekstu lokacija A) se nalazi u neposrednoj blizini bazne stanice, na vazdušnoj udaljenosti od 100m, bez prepreka između antene stanice i antene klijenta. Za drugu lokaciju (dalje u tekstu lokacija B) je uzeta veća vazdušna udaljenost od bazne stanice, koja iznosi 530m, pri čemu je zbog urbane sredine prisutan veliki broj objekata koji blokiraju signale između antene stanice i antene klijenta.

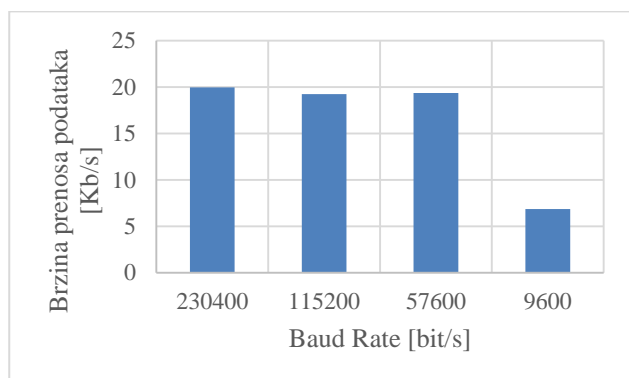
Za podatke za prenos su korišćene slike dobijene OV5640 kamerom na klijentskom hardveru. Rezolucija korišćenih slika je 1980×1020 piksela. Slike su formirane u JPEG formatu, veličine oko 30KB, bez dodatne obrade na ESP32 modulu.

Kako bi se postigle maksimalne performanse, prenos podataka je testiran slanjem slika koje su prethodno sačuvane u internoj memoriji BG96 modula. Pored toga, prenos podataka, odnosno slike, je testiran i u situaciji kada BG96 modul dobija sliku putem serijske komunikacije pre samog slanja, odnosno bez prethodnog čuvanja u internu memoriju, što predstavlja slučaj kada je potrebno realizovati kontinuirano slanje novih slika, tj. *streaming*. Kako bi se proverio uticaj brzine prenosa podataka putem serijske komunikacije, pored podrazumevane brzine za BG96 modul od 115200 bit/s, testiranje je dodatno sprovedeno i na nekim od drugih brzina koje BG96 modul podržava.

### 3.2. Rezultati testiranja

Rezultati merenja se odnose samo na prenos podataka od klijenta ka serveru. Brzina prenosa podataka je utvrđena na osnovu veličine slike i izmerenog vremena od početka transfera slike do završetka njenog slanja. U svakom od razmatranih slučajeva je sproveden veći broj transfera slike na osnovu čega je uzeta prosečna vrednost dobijenih brzina.

Na slici 3 je prikazana brzina prenosa podataka za NB-IoT tehnologiju u zavisnosti od brzine prenosa podataka serijske komunikacije ESP32 i BG96 modula, na lokaciji koja je udaljenija od bazne stanice.



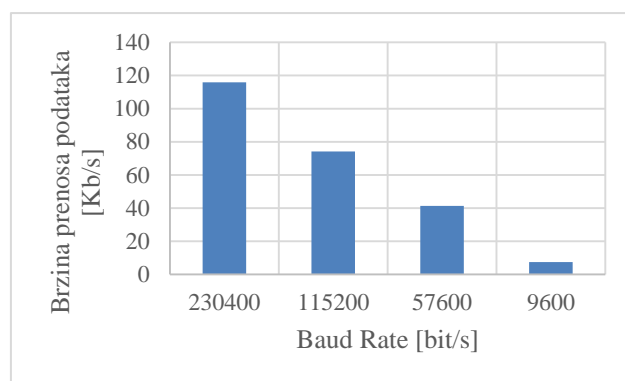
Slika 3. Rezultati testiranja NB-IoT tehnologije na lokaciji A

Sa slike 3 se može videti da brzina prenosa putem NB-IoT (LTE Cat NB1) tehnologije dostiže saturaciju na oko 20

Kb/s, bez obzira na korišćen *baud rate* serijske komunikacije. Promena u brzini prenosa se dešava tek pri najnižoj brzini serijske komunikacije, što je i za očekivati.

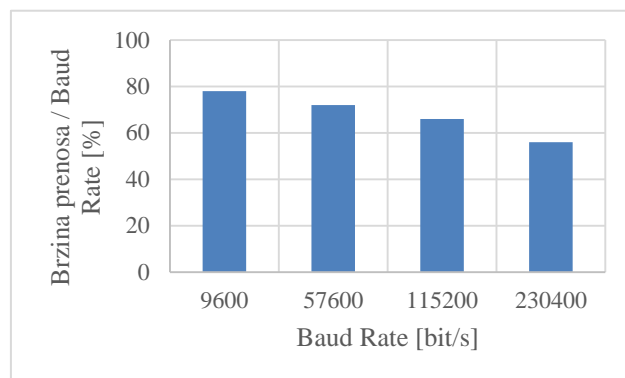
Za slučaj lokacije B se dobijaju isti rezultati kao prethodno prikazani na slici 3, odnosno brzina prenosa podataka ponovo dostiže saturaciju na oko 20 Kb/s. S obzirom da je *baud rate* serijske komunikacije značajno veće vrednosti od postignute brzine prenosa podataka do servera, prethodni rezultati navode na zaključak da pri korišćenju LTE Cat NB1 tehnologije na BG96 modulu, maksimalna brzina prenosa podataka koja se može postići je oko 20 Kb/s.

Na slici 4 je prikazana brzina prenosa podataka za LTE-M tehnologiju u zavisnosti od brzine prenosa podataka serijske komunikacije ESP32 i BG96 modula, na lokaciji u neposrednoj blizini bazne stanice.



Slika 4. Rezultati testiranja LTE-M tehnologije na lokaciji B

Sa slike 4 se može videti da *baud rate* serijske komunikacije ima značajno veći uticaj na brzinu prenosa podataka ka serveru za slučaj LTE-M tehnologije. Razlog za to su značajno veće brzine koje LTE Cat M1 postiže u odnosu na LTE Cat NB1. Ovaj efekat je prisutan i prilikom korišćenja LTE Cat NB1 tehnologije, ali tek pri najnižim brzinama serijske komunikacije. Iako po dobijenim rezultatima ne deluje da za LTE Cat M1 tehnologiju brzina prenosa dostiže saturaciju, ukoliko se uporedi *baud rate* i dostignute brzine prenosa može se primetiti da ovaj odnos opada sa povećanjem brzine serijske komunikacije. Ovo je ilustrovano na slici 5.



Slika 5. Odnos brzine prenosa podatka i brzine serijske komunikacije (LTE-M)

Na primeru brzine serijske komunikacije od 230400 bit/s se može videti da brzina prenosa podataka ka serveru dostiže svega polovinu te vrednosti. Dodatni problem je

što prilikom podešavanja još većih vrednosti brzine serijske komunikacije (na primer 460800bit/s), BG96 modul ne postiže precizne vrednosti, odnosno kao podešena brzina serijske komunikacije se ne dobije ona koja je zadata AT komandom.

S obzirom da *baud rate* nije bilo moguće dalje uvećavati, kako bi se utvrdila maksimalna brzina prenosa podataka sprovedeno je i testiranje u kojem se podaci, koji se šalju ka serveru, nalaze u internoj memoriji BG96 modula. Ovim se poništava uticaj koji *baud rate* serijske komunikacije može imati na brzinu prenosa podataka ka serveru, pošto u ovom slučaju sliku nije potrebno prosledivati BG96 modulu serijskom komunikacijom pre samog slanja.

Primenom ove metode testiranja, maksimalna izmerena brzina prenosa podataka ka serveru iznosi 127Kb/s, što predstavlja neznatno veću maksimalnu brzinu u odnosu na slučajeve u kojima BG96 modul dobija podatke za slanje putem serijske komunikacije. Ono što je takođe primećeno prilikom testiranja jeste da maksimalna brzina prenosa podataka varira sa veličinom slike koja se šalje, pa je tako sa veličinom slike od 159,62KB izmerena maksimalna brzina prenosa od 160Kb/s, što je ujedno i najveća izmerena brzina za sve slučajeve.

Na lokaciji koja je udaljenija od bazne stanice i na kojoj su prethodno izneti rezultati za NB-IoT tehnologiju, signal za LTE-M tehnologiju je izuzetno slabog intenziteta i veoma nestabilan. Zbog toga nije bilo moguće sprovediti testiranja ove tehnologije i na toj lokaciji. Što se tiče NB-IoT tehnologije, signal na toj lokaciji je jačine oko -90dBm na RSSI skali, u zavisnosti od položaja. Na lokaciji u neposrednoj blizini bazne stanice, obe tehnologije dostižu jačinu signala i do -20dBm po RSSI skali.

#### 4. ZAKLJUČAK

U ovom radu je prikazana realizacija klijent-server arhitekture za transfer podataka putem NB-IoT i LTE-M tehnologija, korišćenjem Quectel BG96 modula. Sa realizovanim sistemom su sprovedeni testovi kako bi se utvrdile performanse koje se postižu sa ove dve tehnologije.

Na osnovu izloženih rezultata se može zaključiti, kao što je u uvodnom delu rada najavljeno, da je brzina prenosa LTE-M tehnologije znatno veća u odnosu na brzinu prenosa koja se može ostvariti sa NB-IoT tehnologijom. Samim time, ukoliko je brzina prenosa podataka veći prioritet u odnosu na minimalnu potrošnju energije, prilikom projektovanja odgovarajućeg sistema LTE-M predstavlja prikladniji izbor.

Ono što je bitno napomenuti jeste da, iako po specifikaciji BG96 modul podržava brzine prenosa do 375 Kb/s, a takođe i LTE Cat M1 podržava znatno veće brzine, reda stotina Mbps, prethodno iznetim merenjima je pokazano da u praksi, za korišćeni BG96 modul, ova tehnologija postiže slabije performanse od svojih maksimalnih.

Međutim, ovaj zaključak bi se morao znatno detaljnije ispitati kako bi se uklonila svaka sumnja u same metode testiranja.

Jedan od načina ispitivanja dobijenih rezultata bi bio da se prethodno izneta realizacija sistema i testiranja sprovedu sa nekim drugim modulom za komunikaciju putem ove tehnologije. Takođe, morale bi se analizirati i performanse same bazne stanice kako bi se utvrdilo da li postoji degradacija performansi koju ne unosi klijentska strana komunikacije. Pored toga, testiranja bi se mogla sprovedi u različitim periodima dana, kao i različitim danima, kako bi se analizirao eventualni uticaj interferencija komunikacionih signala, s obzirom da se testovi ne sprovode u laboratorijskim uslovima. Testiranje bi se takođe moglo sprovedi sa znatno većim brojem slika, ali i na većem broju različitih lokacija.

#### 5. LITERATURA

- [1] <https://dataprot.net/statistics/iot-statistics/> (pristupljeno u septembru 2022.)
- [2] ] ESPRESSIF ESP32-WROVER-E datasheet: [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wrover-e\\_esp32-wrover-ie\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wrover-e_esp32-wrover-ie_datasheet_en.pdf) (pristupljeno u septembru 2022.)
- [3] Quectel BG96 datasheet: [https://www.quectel.com/wp-content/uploads/2021/03/Quectel\\_BG96\\_LPWA\\_Specification\\_V1.8.pdf](https://www.quectel.com/wp-content/uploads/2021/03/Quectel_BG96_LPWA_Specification_V1.8.pdf) (pristupljeno u septembru 2022.)
- [4] Quectel BG96 AT commands: [https://docs.particle.io/assets/pdfs/Quectel\\_BG96\\_AT\\_Commands\\_Manual\\_V2.1.pdf](https://docs.particle.io/assets/pdfs/Quectel_BG96_AT_Commands_Manual_V2.1.pdf) (pristupljeno u septembru 2022.)
- [5] Quectel BG96 FTP(S) AT commands: [https://sixfab.com/wp-content/uploads/2021/05/Quectel\\_BG96\\_FTPS\\_AT\\_Commands\\_Manual\\_V1.1.pdf](https://sixfab.com/wp-content/uploads/2021/05/Quectel_BG96_FTPS_AT_Commands_Manual_V1.1.pdf) (pristupljeno u septembru 2022.)

#### Kratka biografija:



**Boris Radovanović** rođen je u Novom Sadu 1998. god. Diplomski rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Embeded sistemi i algoritmi odbranio je 2021.god.  
kontakt: boris.radovanovic@uns.ac.rs