

Elektrotehnički fakultet

Univerzitet u Banjoj Luci

**IZVJEŠTAJ PROJEKTNOG ZADATKA**

iz predmeta

**POUZDANOST ELEKTRONSKIH SISTEMA**

Student: Vidić Luka 2201/24

Mentor: Prof. Dr Ivanović Željko

# Sadržaj

[Sadržaj 2](#_Toc190981253)

[1. Uvod 3](#_Toc190981254)

[2. Ciljna platforma i hardverska struktura sistema 4](#_Toc190981255)

[2.1. NUC980 serija mikroprocesora 4](#_Toc190981256)

[Literatura 7](#_Toc190981257)

# 1. Uvod

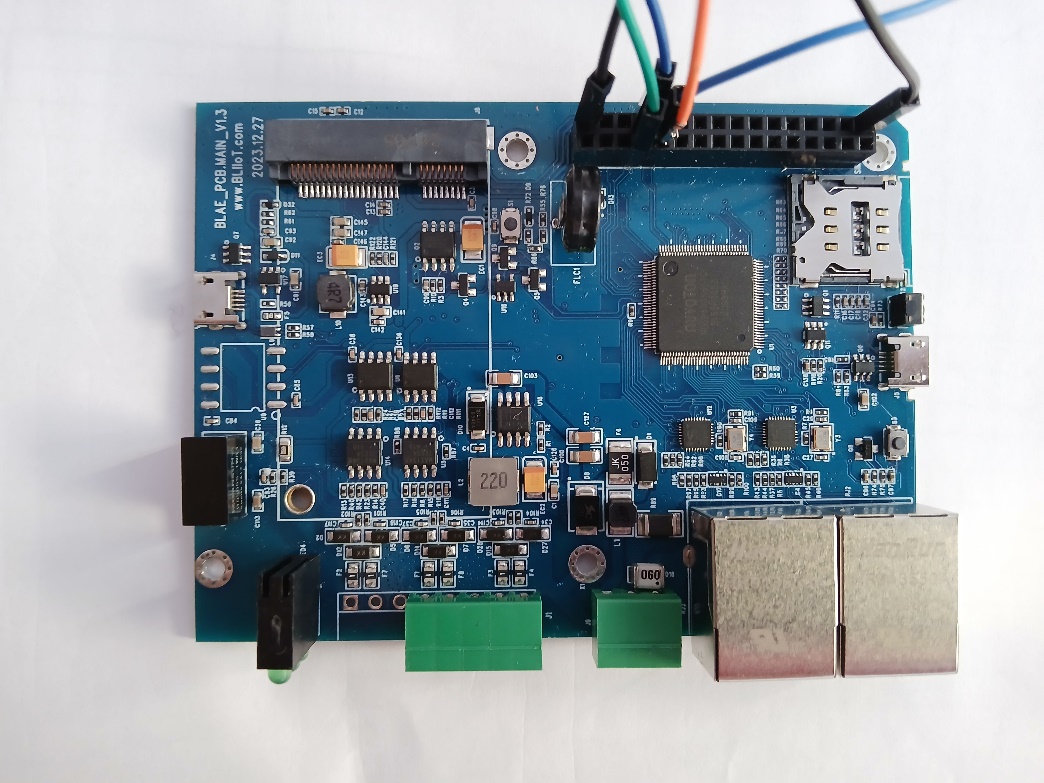
Cilj ovog projektnog zadatka je implementacija *gateway* uređaja između industrijskog protokola IEC 60870-5-104 (nadalje u dokumentu IEC 104) i industrijskog protokola MODBUS RTU. Uređaj je implementiran na komercijalno dostupnoj ploči koja je bazirana na NUC980DK61YC mikroprocesoru proizvođača Nuvoton. Svrha uređaja jeste mapiranje podataka, komandi i poruka IEC 104 protokola na protokol MODBUS RTU tako da se sa strane IEC 104 *master* uređaja (npr. računar sa SCADA sistemom) omogući razmjena podataka i slanje komandi sa MODBUS *slave* uređajima. Sam uređaj spada u široku grupu ugrađenih računarskih sistema te se implementacija sastoji od svih standardnih koraka potrebnih za implementaciju bilo koje aplikacije na ugrađenom sistemu:

* **Izučavanje hardvera** – Prvi i osnovni korak jeste upoznavanje sa hardverom sistema sa kojim se radi. U ovom slučaju razvojna ploča je komercijalna stoga kompletna dokumentacija nije javno dostupna već se izučavanje svodi na izučavanje pojedinačnih komponenti od značaja kao i odgovarajućih postupaka reverznog inženjeringa.
* **Priprema operativnog sistema na razvojnoj ploči** – Razvoj aplikacija na ugrađenim računarskim sistemima uglavnom se svodi na razvoj za ciljni operativni sistem koji će se izvršavati na razvojnoj ploči čime se omogućava portabilnost aplikacija na različite razvojne ploče. Najčešće korišćeni su Linux bazirani operativni sistemi ili neki jednostavniji RTOS operativni sistemi. U nekim slučajevima ovaj korak se može preskočiti, kada je u pitanju razvoj *bare-metal* aplikacija. U svrhu izrade ovog projekta korišćen je Linux operativni sistem.
* **Implementacija aplikacije** – Kada se okruženje pripremi za rad nastupa se sa izradom aplikacije. Izbor postojećih biblioteka, implementacija traženih funkcionalnosti te verifikacija istih su osnovni koraci ka implementaciji zahtjevane aplikacije. Za implementaciju ovog projekta glavne korištene biblioteke su *libiec60870* i *libmodbus*.

Kroz nastavak dokumenta biće detaljno opisani svi prethodno navedeni koraci i pojedinačni postupci sprovedeni u datim koracima.

# 2. Ciljna platforma i hardverska struktura sistema

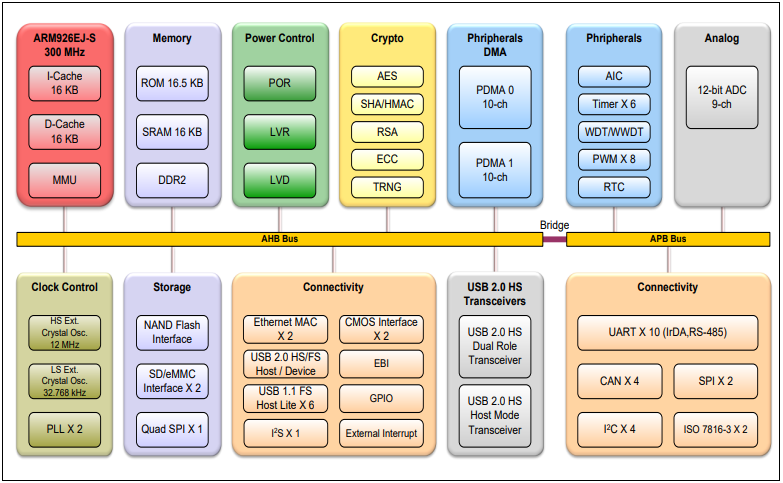
Hardverska implementacija sistema se zasniva na već izgrađenoj i komercijalno dospunoj štampanoj ploči koja je izvađena iz kućišta postojećeg uređaja (*gateway* slične namjene kao i u ovom projektu) proizvođača BLIIoT [1]. Data ploča prikazana je na slici 2.1.

  
Slika 2.1 – *Štampana ploča ciljne platforme*

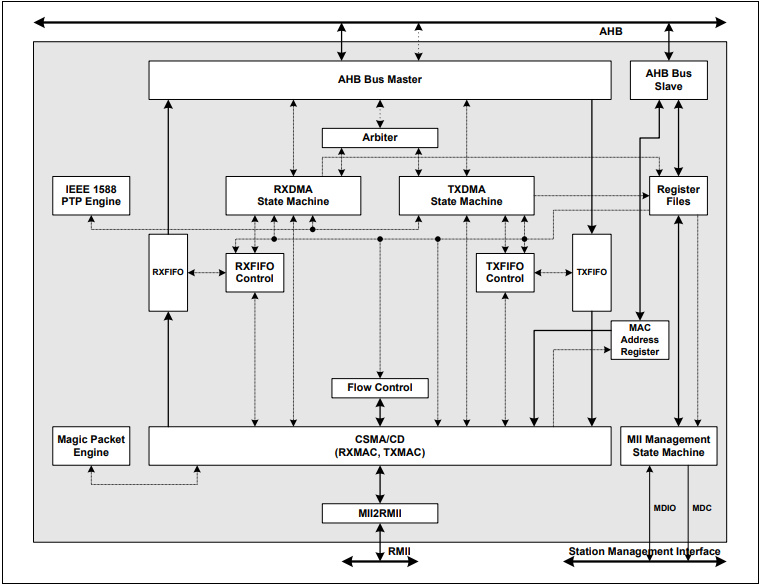
Data platforma bazirana je na mikroprocesoru NUC980DK61YC proizvođača Nuvoton koji predstavlja glavnu upravljačku jedinicu koja izvršava aplikativni program i upravlja periferijama od značaja. Platforma dolazi sa X MB fleš (*flash*) memorije X proizvođača *Winbond*, dva *Ethernet* porta koji su neophodni za IEC 104 komunikaciju te šest serijskih RS-485 kanala koji se koriste u svrhu MODBUS RTU komunikacije. Pored ovih glavnih karakteristika, ciljna platforma sadrži i dodatne kao što su interfejs za SIM karticu, dodatni serijski USB port u svrhe debagovanja, tastere za resetovanje i više LED za signalizaciju. U nastavku biće detaljnije prezentovana serija mikroprocesora NUC980 s obzirom na centralnu ulogu jednog takvog mikroprocesora u ovom sistemu.

## 2.1. NUC980 serija mikroprocesora

NUC980 serija mikroprocesora zasnovana je na ARM926EJ-S jezgru. Postoji nekoliko mikroprocesora iz date serije koji se razlikuju po broju pinova (pakovanju) i veličini interne DDR2 memorije. Mikroprocesori iz ove serije posebno su opremljeni velikim brojem Ethernet, UART, CAN i sličnih periferija koji ih čine dobrim izborom za industrijsku i IoT primjenu [2]. Na slici 2 prikazana je blok šema strukture NUC980 mikroprocesora koja daje detaljniji prikaz resursa i mogućnosti koje posjeduju mikroprocesori iz date serije.

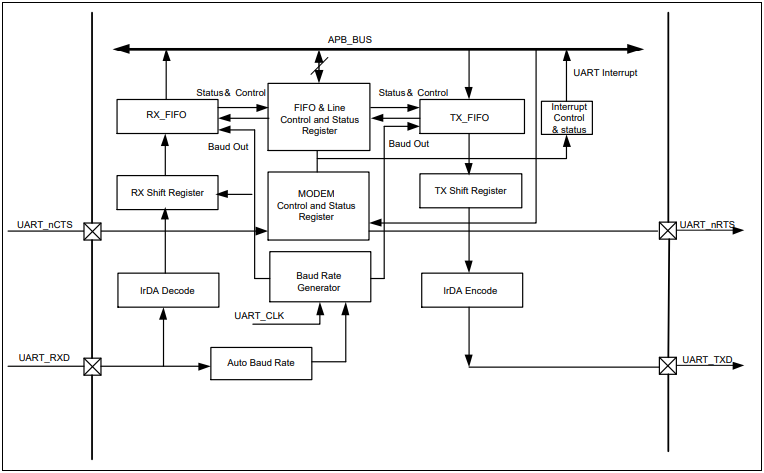
  
Slika 2.2 – *Blok šema mikroprocesora iz NUC980 serije* [3]

Za izradu ovog projektnog zadatka od najvećeg interesa je hardverska podrška za Ethernet (fizički sloj IEC 104 prokola zasnovan je na Ethernet-u) i podrška za UART, odnosno RS-485 (fizički sloj MODBUS RTU protokola zasniva se na nekom od serijskih protokola, u ovom slučaju RS-485). Što se tiče podrške za Ethernet, mikroprocesori iz NUC980 serije imaju dva Ethernet MAC kontrolera čime je hardverski podržana Ethernet komunikacija. Na slici 2.3 prikazana je struktura Ethernet kontrolera mikroprocesora iz NUC980 serije.

  
Slika 2.3 – *Ethernet MAC kontroler NUC980 serije mikroprocesora* [3]

Prvi Ethernet MAC kontroler zauzima prvih 10 pinova iz “E” banke pinova (E0 – E9), a drugi kontroler prvih 10 pinova iz “F” banke pinova (F0 – F9) [3]. Poznavanje ovog pinout-a je od značaja u sledećem koraku (priprema Linux operativnog sistema) kada se konfigurše struktura stabla uređaja (*device tree*). Ethernet portovi na ciljnoj ploči povezani su preko odgovarajućeg hardvera na ove pinove, čime je obezbjeđen interfejs za Ethernet komunikaciju (u slučaju datih portova brzina komunikacije je 100 Mbps).

NUC980 serija mikroprocesora obezbjeđuje čak deset kanala za UART komunikaciju pri čemu je hardverski podržan veliki broj konfiguracija i režima rada, između ostalog i željeni RS-485 režim. Blok šema UART kontrolera NUC980 serije mikroprocesora data je na slici 2.4.

  
Slika 2.4 – *UART kontroler NUC980 serije mikroprocesora* [3]

Za razliku od Ethernet kontrolera čiji su korišteni pinovi mikroprocesora jasno definisani, kod UART kontrolera RX i TX linije svakog kanala mogu da se konfigurišu tako da se podese različiti korišteni pinovi, još poznatije kao remapiranje pinova (*pin mapping*). Na primjer, kanal UART1 može za RX liniju da koristi pinove F9, A0 ili C6, dok kanal TX može da koristi F10, A1 ili C5. Dostupni pinovi za ostale kanale i linije jasno su navedeni u dokumentaciji proizvođača [3]. Što se tiče ciljne platforme, ono što je izazov jeste činjenica da je ona komercijalni proizvod te da dokumentacija, u kojoj je između ostalog i električna šema, nije javno dostupna. Da bi se pronašlo UART kanali se koriste kao i koji pinovi primjenjen je postupak reverznog inženjeringa, koji je podrazumijevao detekciju kratkog spoja između UART interfejsa na ploči i odgovarajućih pinova mikroprocesora pomoću multimetra. Nakon sprovedene procedure došlo se do informacije o korištenim UART kanalima kao i pinovima koji su u upotrebni. Ciljna platforma nudi šest RS-485 priključaka koji koriste šest UART kanala mikroprocesora. Korišteni kanali i konkretni pinovi mikroprocesora dati su u tabeli 2.1. Ono što se može napomenuti jeste da ciljna platforma koristi jedan UART kanal (UART0) u svrhe *debug* USB porta preko koga se serijskom vezom može pratiti proces učitavanja sistema te vršiti kontrola njegovog rada. Preko ovog priključka se takođe može vršiti programiranje *flash* memorijeciljne platforme, međutim ona ne dolazi sa potrebnim prekidačima da bi se uvela u taj režim rada. Zbog toga se moralo pristupiti drugom načinu prenosa aplikacije na ciljnu platformu, koji će biti kasnije pojašnjen detaljnije.

Tabela 2.1 - *Korišteni UART kanali i pinovi na ciljnoj platformi*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Kanal** | **RX pin** | **TX pin** |
| UART1 | A0 | F10 |
| UART2 | A9 | A10 |
| UART3 | D3 | D2 |
| UART4 | D13 | D12 |
| UART6 | A4 | A5 |
| UART8 | A11 | A12 |

Kao što je već rečeno, poznavanje rasporeda pinova koji su iskorišteni je neophodno u fazi razvoja Linux operativnog sistema, odnosno za kreiranje strukture stabla uređaja. Ono što je još važno napomenuti prilikom razmatranja hardvera ciljne platforme jeste da što se tiče serijskog interfejsa MODBUS RSU protokola – RS-485, ciljna platforma sadrži 6 priključaka koji odgovaraju diferencijalnim A i B linijama RS-485. Signali sa ovih linija prolaze kroz odgovarajuću električnu mrežu da bi se doveli prema RX i TX linijama UART modula mikroprocesora. Električna mreža koja se nalazi između ima za ulogu da RS-485 diferencijalni signal (koji je većeg napona) obradi i konvertuje u +3.3V UART signal koji očekuje mikroprocesor. Prvi dio ove mreže nakon priključaka za RS-485 linije jeste sigurnosni i zaštitni dio koji se u slučaju ciljne platforme sastoji od redno vezanog osigurača i dva reda zaštitnih (TVS) dioda. Obje signalne linije RS-485 protokola (i A i B) prolaze kroz ovaj dio mreže, te idu na posebno integrisano kolo MAX13487E. Ovo kolo ima glavnu ulogu konverzije signala iz RS-485 oblika u signal koji se očekuje na UART linijama, i obrnuto. Dakle, kolo MAX13487E je RS-485 kolo primopredajnika zaduženo za konverziju oblika signala iz RS-485 u standardni UART, i obrnuto [4]. Treći i konačni korak obrade signala u datoj mreži jeste integrisano kolo CA-IS3722HS proizvođača *Chipanalog*. Ovo kolo je digitalno dvoulazno CMOS kolo koje služi za galvansku izolaciju ulaza i izlaza. Ovo kolo visokih performansi podržava brzinu prenosa podataka do 150 Mbps, specijalno namjenjeno u slučaju upotrebe za konverzije naponskih nivoa između serijskih protokola gdje su sa ulazne strane protokoli kao RS-485, CAN i slični [5]. U slučaju ciljne platforme, signali sa kola MAX13487E (sa pinova DI i RO) dovode se na pinove kola CA-IS3722HS gdje se galvanski izoluju sa pinovima na drugoj strani. Ovim se obezbjeđuje da pinovi koji imaju visoke naponske nivoe sa RS-485 strane galvanski izoluju i spuste na nivoe koje odgovaraju UART modulu mikroprocesora. Naravno važi i obrnut proces, kod koga se UART signali poslati sa mikroprocesora konvertuju u RS-485 kompatibilan signal preko iste ove mreže. Na slici 2.5 prikazana je ugrubo električna šema koja odgovara prethodno opisanoj mreži.

A computer screen shot of a yellow square

AI-generated content may be incorrect.  
Slika 2.5 – *Okvirna električna šema konverzije signala iz RS-485 u UART*

Prethodnom diskusijom pokrivena je hardverska analiza ciljne platforme. Naredni korak je priprema operativnog sistema koji će se izvršavati na ploči, a upravo to je tema narednog poglavlja.

# 3. Priprema operativnog sistema za ciljnu platformu

Kao operativni sistem (OS) izabran je Linux OS kao najčešće korišten operativni sistem u domenu ugrađenih računarskih sistema. Razvoj aplikacija koje se izvršavaju na Linux operativnom sistemu sa sobom nose veliku prednost u odnosu na *bare-metal* pristup razvoja, a to je portabilnost. Naime, aplikacije razvijane za neki operativni sistem mogu da se pokreću na bilo kojoj ciljnoj platformi, nezavisno od hardvera, sve dok taj hardver podržava izvršavanje Linux operativnog sistema na njemu i ima dovoljno resursa koje zahtjeva data aplikacija.

# Literatura

[1] https://gateway-iot.com/modbus-to-iec104-p00426p1.html, posjećeno: 20. 2. 2025.

[2] <https://www.nuvoton.com/products/microprocessors/arm9-mpus/nuc980-industrial-control-iot-series/>, posjećeno: 20. 2. 2025.

[3] NUC980 Series Techical Reference Manual, *Nuvoton*, Jan. 07, 2020.

[4] MAX13487E/MAX13488E: Half-Duplex RS-485-Compatible Transceiver withAutoDirection Control Data Sheet, *Analog Devices*, Rev 3., Aug. 2024.

[5] CA-IS372x High-Speed Dual-Channel Digital Isolators, *Chipanalog Microelectronics*, Rev 1.08, Dec. 17. 2024.