

**IMPLEMENTACIJA DNP3 PROTOKOLA ZA INDUSTRIJSKE UREĐAJE**  
**IMPLEMENTATION OF DNP3 PROTOCOL FOR INDUSTRIAL DEVICES**Darko Alavanja, Gordana Ostojić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – MEHATRONIKA**

**Kratak sadržaj** – U radu je prikazan postupak razvijanja DNP3 udaljene stanice na HIL uređajima (eng. hardware-in-the-loop). Opisan je razvoj grafičkog interfejsa za konfiguraciju DNP3 parametara, specifičnosti i karakteristike DNP3 protokola, funkcionalnosti koje su implementirane u Tajfun HIL softverskom okruženju, provera ispravnosti rada, rezultati testiranja i analiza DNP3 paketa.

**Ključne reči:** DNP3, udaljena stanica, elektroprivreda, Xilinx, Zynq hardware-in-the-loop

**Abstract** – The paper presents the development of DNP3 outstation on HIL devices (hardware-in-the-loop). Development of graphical interface for configuration of DNP3 parameters, features and characteristics of DNP3 protocol, level of functionality implemented in Typhoon HIL software environment, check for proper operation, testing results and analysis of DNP3 packets are described.

**Keywords:** DNP3, outstation, electric utility, Xilinx, Zynq, hardware-in-the-loop

**1. UVOD**

Distribucija električne energije predstavlja jedan od ključnih izazova još od otkrića i početka komercijalizacije električne energije. Rastom kompleksnosti električnih mreža i pojavom većeg broja potrošača rasla je potražnja za električnom energijom. Ovi faktori su doveli do pojave različitih problema kao što je loš kvalitet mreže, česti prekidi snabdevanje, pojave šumova i slično [1].

Razvojem informacionih tehnologija povećan je kvalitet energetske mreže međusobnim povezivanjem uređaja, uvođenjem „pametnih“ uređaja (eng. Intelligent Electronic Devices, RTU - Remote Terminal Units) i udaljenim nadgledanjem i upravljanjem mreža (eng. SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition). Prikupljanjem podataka, praćenjem stanja mreže moguće predvideti potencijalne probleme i delovati preventivno [1].

Ključni izazov u svakoj grani industrije je standardizacija. Jedan od komunikacionih standarda koji je preuzeo primat u elektroprivredi na tržištu Severne Amerike je DNP3 (Distributed Network Protocol version 3). U ovom radu je opisana realizacija DNP3 protokola unutar razvojnog okruženja kompanije Tajfun HIL. DNP3 udaljena stanica je uspešno implementirana na HIL uređaju gde se koristi za simulaciju i testiranje električnih mreža i mašina [2].

**NAPOMENA:**

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Gordana Ostojić, red. prof.

**2. HIL PLATFORMA**

HIL uređaji kompanije Tajfun HIL su bazirani Xilinx Zynq-7000 familiji sistema na čipu (eng. SoC - System on a Chip). Na jednom sistemu je kombinovan ARM dvojezgarini Cortex-A9 MPCore procesorski sistem sa Xilinx FPGA (Field Programmable Gate Array) logikom. Unutar Zynq-a, ARM Cortex-9 procesor služi u aplikativne svrhe sa mogućnošću pokretanja kompletnog operativnog sistema poput Linux-a, dok programabilna logika omogućava hardversku implementaciju dizajniranih kola. Moć Zynq platforma leži u tome da se unutar programabilne logike mogu realizovati dodatne periferije i kola koja izvršavaju algoritme čime se može postići značajno hardversko ubrzanje. Komunikacija između procesorskog sistema (eng. PS – Processing System) i programabilne logike (eng. PL – Programmable Logic) omogućeno je AXI (Advanced eXtensible Interface) interfejsom koji obezbeđuje brz protok podataka uz malo kašnjenje.

Kombinovanjem procesorskog sistema i FPGA logike je napravljen sistem pomoću kojeg je moguće simulirati energetske sisteme u koracima reda veličine stotine nanosekundi [3].

Izgled HIL uređaja (model HIL402) je prikazan na slici 1.



Slika 1. Izgled HIL402 uređaja

**3. DNP3 PROTOKOL**

DNP3 je telekomunikacioni standard koji definiše komunikaciju između master stanica, RTU-ova, IED-ova i sličnih uređaja. Razvijen sa ciljem da se da se dostigne visok nivo kompatibilnosti sistema koji se koriste u elektroprivredi, vodoprivredi i industrijama distribucije energenata (nafta, gas). DNP3 je specifično dizajniran za upotrebu u SCADA sistemima. Osobina ovih sistema je da se vrši akvizicija podataka i slanje upravljačkih komandi između fizički razdvojenih računarskih uređaja. Osmišljen je da pouzdano transmituje pakete relativno male veličine i da redosled poruka bude deterministički određen.

DNP3 protokol podržava mrežne topologije master/slave, multidrop sa jednim masterom, hijerarhijsku strukturu sa posrednim koncentratorima podataka i topologiju sa višestrukim masterima. DNP3 podržava režime prozi-

vanja (eng. polling) i tihi režim (eng. quiescent ili report by exception). Nazvan je tako jer nije potrebno da master zatraži podatke od slave-a da bi se zabeležio neki događaj ili promena stanja.

Ova opcija se zove odgovor koji nije zatražen (eng. unsolicited response), i omogućava slave-u da pošalje obavještenje o nekom događaju bez potrebe da master inicira slanje. Zbog toga, u slučaju da u datom trenutku ne postoje događaji koje bi slave prijavio, a ni master ne potražuje informacije od slave-a, mreža je tiha, paketi se ne šalju međusobno što se dalje odražava boljim iskorišćenjem kapaciteta mreže.

DNP3 je predviđen da, pored Ethernet-a i RS232/485, radi pouzdano preko mreža manjih protoka, koje koriste različite tehnologije komunikacije kao što su bežični i dial-up modemi, telefonske linije i satelitske veze. Ipak u ovom radu je razmatran isključivo Ethernet.

Fizičke veličine koje se komuniciraju pomoću DNP3 protokola je organizovana u biblioteku objekata. Biblioteka je podeljena u grupe objekata i njihove varijacije. U tabeli 1 je prikazan izgled biblioteke objekata.

Tabela 1. Pregled biblioteke DNP3 objekata

Opseg grupe objekata	Opis grupe objekata
0 – 9	Binarni ulazni objekti
10 – 19	Binarni izlazni objekti
20 – 29	Objekti brojača
30 – 39	Objekti analognih ulaza
40 – 49	Objekti analogni izlaza
50 – 59	Vremenski objekti
60 – 69	Objekti klasa
70 – 79	Objekti fajlova
80 – 89	Objekti uređaja
90 – 99	Aplikacioni objekti
100+	Alternativni numerički objekti

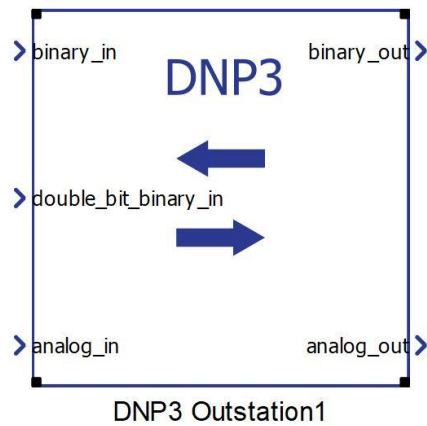
Za potrebe ovog rada, korišćena je opendnp3 biblioteka, otvorenog izvornog koda, napisana u C++, razvijena od strane kompanije Automatak [4].

#### 4. REALIZACIJA DNP3 U TAJFUN HIL OKRUŽENJU

DNP3 komponenta zahteva definisan veći broj parametara vezanih za adrese i portove mreže, podešavanje ponašanja udaljene stanice (unsolicited režim rada, različita vremena odgovora na retransmisije) i podešavanja baze podataka. Izgled DNP3 komponente u Tajfun HIL softverskom okruženju je prikazan na slici 2.

Iako DNP3 predviđa više grupa objekata, unutar Tajfun HIL okruženja su implemetirana isključivo ona koja ima smisla koristiti unutar simulacije. Grupe objekata koje su implemetirane su binarni ulazni objekti (grupa 1 i grupa 3), binarni izlazni objekti (grupa 10), analogni ulazi (grupa 30) i analogni izlazi (grupa 40).

DNP3 komponentu je moguće konfigurirati pomoću konfiguracionog rečnika učitano iz modela, konfiguracionog rečnika učitano iz fajla ili pomoću grafičkog interfejsa za konfiguraciju.



Slika 2. Izgled DNP3 komponente

#### 4.1 Realizacija grafičkog interfejsa DNP3 komponente

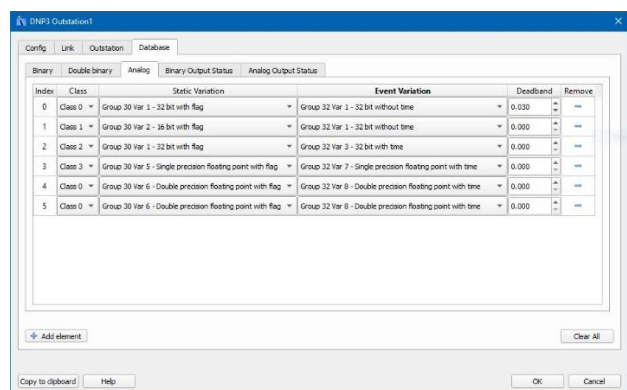
Grafički interfejs DNP3 komponente podeljen je u četiri kartice. Prva kartica pod nazivom Config sadrži opcije za biranje odakle se preuzima konfiguracioni rečnik i primer konfiguracionog rečnika.

Druga kartica pod nazivom Link sadrži polja za konfigurisanje IP adrese, porta, izvorne adrese mastera, lokalne adrese udaljene stanice i opcije za podešavanje slanja nepotvrđenih podataka.

Treća kartica nosi naziv Outstation i sadrži različita podešavanja vezana za ponašanje udaljene stanice, vremena čekanja na poruke, period osvežavanja varijabli, veličine fragmenata, količinu kontrolnih zahteva i slično.

Četvrta kartica se zove Database i u njoj je moguće podešavati bazu podataka (objekata) koje će DNP3 i udaljena stanica da prikazuje. Database kartica je podeljena na podkartice organizovane po tipovima podataka (binarni, dvostruki-binarni, analogni ulazi i statusi analognih i binarnih izlaza). Za svaku od ovih varijabli potrebno je definisati: koji je ulazni indeks, kojoj klasi pripadaju, koja je njihova statička varijacija i varijacija događaja. Dodatna opcija za analognu ulaze i izlaze je deadband pomoću koje se podešava opseg promene neke varijable pre nego što se ona detektuje kao događaj.

Izgled kartice za konfiguraciju baze podataka prikazan je na slici 3.



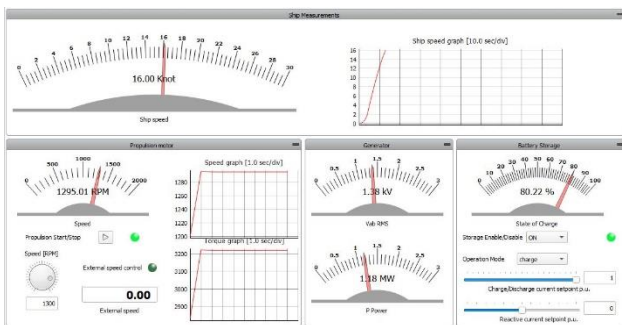
Slika 3. Database kartica u grafičkom interfejsu

## 5. ISPITIVANJE ISPRAVNOSTI RADA I REZULTATI TESTIRANJA DNP3 KOMONENTE

### 5.1 Postavka sistema

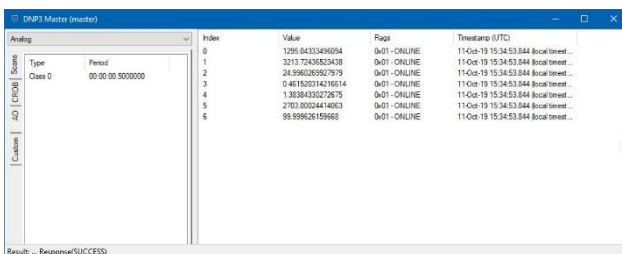
Provera ispravnosti rada implementiranog sistema je vršena pomoću jednog HIL uređaja, model HIL402, na kojem je pokrenuta simulacija energetske mreže na preookeanskom brodu sa DNP3 udaljenom stanicom, laptop računara na kojem je bio pokrenut DNP3 Simulator kao master stanica i mrežnog uređaja (eng. router). Sedam signala je prosleđeno DNP3 komponenti, i svi signali iz simulacije su brojevi sa pokretnim zarezom opisani objektima grupe 30, varijacija 5 za statičke podatke, dok je za podatke o događajima podešena grupa objekta grupa 32, varijacija 7. Svim analognim vrednostima je deadband podešen na nulu. Dve vrednosti se prosleđuju eksterno u simulaciju. Jedan je binarni izlaz, tj. CROB za podešavanje eksterne kontrole brzine (statički podatak, objekat grupe 10, varijacija 2, podatak o događaju grupa 11, varijacija 2). Druga vrednost je vrednost eksterno setovane brzine (statički podatak grupa 40, varijacija 3, podataka o događaju grupa 42, varijacija 7).

Model energetske mreže preookeanskog broda se kompajlira i prebacuje na HIL uređaj preko USB interfejsa. Simulacija se pokreće iz Tajfun HIL SCADA interfejsa pokrenutog na PC-ju. Izgled SCADA panela kontrolnog mosta broda je prikazan na slici 4.



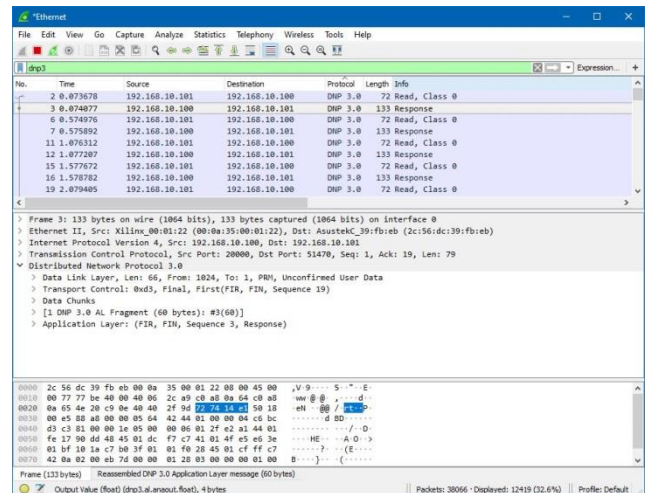
Slika 4. Database kartica u grafičkom interfejsu

Na personalnom računaru je pokrenuta DNP3 Simulator aplikacija. Konfigurisana je da radi kao master stanica na istom kanalu kao i DNP3 udaljena stanica. Sve varijable su podešene kao članovi klase 0, i podešeno je osvežavanje svih članova klase 0 na svakih 500 milisekundi. Izgled DNP3 Simulator aplikacije u master režimu je prikazan na slici 5.



Slika 5. DNP3 Simulator u master režimu rada

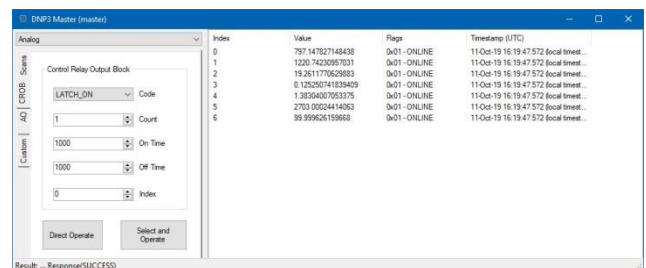
Takođe, za dodatnu proveru komunikacije između master stanice i udaljene stanice, korišćena je Wireshark aplikacija pomoću koje je moguće analizirati Ethernet pakete i filtrirati DNP3 pakete. Izgled prozora Wireshark aplikacije sa primenjenim DNP3 filterom je prikazan na slici 6.



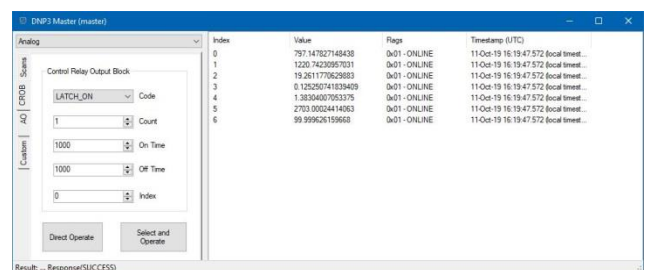
Slika 6. Izgled Wireshark aplikacije sa primenjenim DNP3 filterom

### 5.2 Metodologija testiranja i rezultati

Na osnovu postavke sistema, manuelno su očitavane vrednosti varijabli iz Tajfun HIL simulacije, DNP3 Simulatora i Wireshark-a. Vrednosti svih varijabli su bile identične u svim pokrenutim aplikacijama. Takođe, izlazne varijable iz DNP3 komponente (varijabla sa pokretnim zarezom external\_speed i binarna varijabla external\_speed\_control) su povezane unutar modela, tako da je moguće eksterno podešavati brzinu broda. Pomoću DNP3 Simulatora u master režimu rada, zadata je vrednost za brzinu, koja je identična brzini očitanoj u Tajfun HIL SCADA interfejsu. Upis binarne varijable (tip CROB, external\_speed\_control) pomoću DNP3 Simulator aplikacije je prikazan na slici 7, a upis analogne vrednosti (external\_speed) je prikazan na slici 8.



Slika 7. Upis CROB varijable iz DNP3 Simulator aplikacije u master režimu



Slika 8. Upis analogne izlazne varijable iz DNP3 Simulator aplikacije u master režimu

Takođe, Wireshark aplikacija je pravilno dekodirala DNP3 pakete i nisu prikazane greške u formiranju paketa. U unsolicited režimu rada, master stanica šalje zahtev za čitanjem određene klase objekata (u ovom slučaju klase 0) i dobija nazad podatke od udaljene stanice.



U tabeli 2 prikazan je sadržaj DNP3 paketa poslatog od strane HIL uređaja ka masteru.

Tabela 2. Poređenje očitanih i zadatih vrednosti

Deo paketa	Opis
c4	Application Control: 0xc4, First, Final (FIR, FIN, Sequence 4)
81	Kod funkcije (odgovor)
00 00	Interni indikatori
1e 05 00 00 06 01 c7 df a1 44 01 9a d7 48 45 01 7c 01 c7 41 01 3f 0b 98 3f 01 f0 08 a9 3f 01 1c b4 22 45 01 04 d2 a1 42	Podaci o zatraženim objektima 32-bitni ulazne vrednosti sa pokretnim zarezom objekat 30, varijacija 5, 7 tačaka c7 df a1 44 - vrednost 1294.99 9a d7 48 45 - vrednost 3213.48 7c 01 c7 41 - vrednost 24.8757 3f 0b 98 3f - vrednost 1.18784 f0 08 a9 3f - vrednost 1.32059 1c b4 22 45 - vrednost 2603.26 04 d2 a1 42 - vrednost 80.9102 <u>Napomena:</u> bajt 01 ispred svake od ovih vrednosti označava da je tačka trenutno online
0a 02 00 00 00 01	Binarni izlazni status, objekat 10, varijacija 2 (0a 02), 1 tačka, vrednost 1
28 03 00 00 00 01 00 00 00 00	32-bitni analogni status o izlazu, objekat 40, varijacija 3. 1 tačka, vrednost 0

Iz priloženih rezultata rad DNP3 komponente na HIL uređaju je u potpunosti u okviru DNP3 specifikacije. Vrednosti razmenjene preko DNP3 protokola su ispravne što je potvrđeno manuelnim testiranjem. Analiza paketa je pokazala da su DNP3 paketi uspešno formirani i dekodirani paketi prikazuju pravilne vrednosti.

Bitno je napomenuti da pored manuelnog testiranja, `opendnp3` biblioteka je pokrivena rigoroznim automatskim testovima, a DNP3 komponenta unutar Tajfun HIL softverskog okruženja uspešno prolazi automatske testove QA tima. Ipak, ovi testovi nisu pokriveni u ovom radu, ali dodatno potvrđuju ispravnost funkcionisanja DNP3 protokola unutar Tajfun HIL ekosistema.

## 6. ZAKLJUČAK

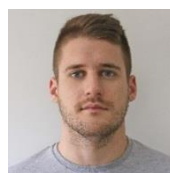
U ovom radu je uspešno implementirana i testirana `opendnp3` biblioteka za Tajfun HIL softversko okruženje na HIL uređajima. Testiranje je pokazalo da implementirana biblioteka radi kao što je predviđeno i potrebni podaci se uspešno preuzimaju iz Tajfun HIL simulacije. Kao takva, DNP3 komponenta se može koristiti za očitavanje signala iz modela i slanja vrednosti u model što može biti izuzetno korisno kod kompleksnih modela čije vreme simulacije traje izuzetno dugo. DNP3 komponenta omogućava korisnicima da pomoću DNP3 mastera prate vrednosti signala, beleže ih i analiziraju i upravljaju signalima koji ulaze u simulaciju sa mogućnošću većeg broja povezanih uređaja.

Kao poboljšanja postojeće implementacije, ostaje mogućnost proširenja pokrivenosti podrške grupe objekata koji su dostupni unutar simulacije kao što su objekti alternativnih numeričkih vrednosti (objekti grupe 100+), ali za tako nešto potrebno je proširenje mogućnosti HIL simulacije.

## 7. LITERATURA

- [1] Grigsby, Leonard (2007). *Electric Power Generation, Transmission, and Distribution*. CRC Press 2007. pp. Chapter 14. ISBN 978-0-8493-9292-4.
- [2] Gordon R. Clarke, Deon Reynders, Edwin Wright, *Practical modern SCADA protocols: DNP3, 60870.5 and related systems* Newnes, 2004 ISBN 0-7506-5799-5 stranice 19-21
- [3] Internet stranica Tajfun HIL kompanije <https://www.typhoon-hil.com/> (pristupljeno u oktobru 2019.)
- [4] Internet stranica `opendnp3` biblioteke, <https://dnp3.github.io/> (pristupljeno u oktobru 2019.)

### Kratka biografija:



**Darko Alavanja** rođen je 31.05.1994. god. u Kninu, Hrvatska. Osnovnu i srednju školu završio je u Novom Bečeju. Osnovne akademske studije završio je na Fakultetu tehničkih nauka 2017. god. i nakon toga upisao master akademske studije na istom fakultetu. Master rad iz oblasti Mehatronika, robotika i automatizacija odbranio je 2019. god.