

Elektrotehnički fakultet
Univerzitet u Beogradu

Implementacija servisno orijentisanih distribuiranih sistema upravljanja

Projekat: **Razvoj i modelovanje energetske efikasne, adaptibilne, višeprocorskih i višesenzorskih elektronskih sistema male snage**

Oznaka projekta: **TR32043**
Rukovodilac projekta: **Goran Dimić**

Vrsta dokumenta: **Tehnička dokumentacija projekta**
Stepen poverljivosti: **/poverljivo**

Odgovorno lice:

Nikola Bežanić
Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu
Tel:
E-mail:

Realizator:

Nikola Bežanić, Ivan Popović, Miodrag Zlatanović, Aleksandar Rakić

SADRŽAJ:

1	KRATAK OPIS TEHNIČKOG REŠENJA.....	3
2	STANJE U OBLASTI.....	4
3	DETALJNO TEHNIČKO REŠENJE	5
3.1	Uvod.....	5
3.2	Realizacija GPC VTIM mrežnog čvora	6
3.3	Konfiguracija putanje podataka.....	8
3.4	Testiranje i prikaz rezultata	11

1 KRATAK OPIS TEHNIČKOG REŠENJA

Primena od (dd.mm.gggg): 30.11.2015. godine
Godina* : 2015
Odgovorno lice : Nikola Bežanić

Opis: U tehničkom rešenju je predstavljeno okruženje za implementaciju i testiranje algoritama upravljanja u servisno orijentisanoj mreži pametnih pretvarača, koje je testirano na slučaju kontrole temperature sušare. Mrežni modul u okviru koga se implementira algoritam se realizuje u formi virtuelnog pretvaračkog modula, čime se omogućava njegova integracija u mrežu na način sličan integraciji pametnog pretvarača. Pri tome, realizacija pametnog aktuatora pruža mogućnost izdvajanja odgovarajućih odbiraka za ispis, analiziranjem vremenske reference koja je pridružena odbircima upravljanja. Vremenska sinhronizacija inkremenata upravljanja predstavlja poseban kvalitet realizacije, zbog velikog transportnog kašnjenja koje se javlja na putanji podataka između senzora, algoritma upravljanja i aktuatora. Mrežni modul na kome se implementira algoritam predstavlja platformu opšte namene, sa opcijama realizacije u Matlab-u i Java jeziku. Na strani pametnog aktuatora/senzora je data i mogućnost simulacije željenog procesa upravljanja, čime se eliminiše potreba za uvođenjem stvarnog procesa u fazi testiranja algoritma.

Karakteristike softvera:

Tip softvera:	Samostalna aplikacija
Platforma:	NetBeans 7.2, Apache Tomcat 6.0, ARM
Operativni sistem:	Windows 7
Hardverska zahtevnost:	Za embedded: ARM7TDMI-S procesor

Mogućnosti softvera: Programski paket omogućava:

- Pristup podacima pametnog pretvarača putem Interneta/LAN
- Standardizovane komunikacione interfejsa
- Izvršavanje algoritma na strani platforme opšte namene
- Sinhronizaciju aktivnosti između različitih mrežnih čvorova

Realizatori : Nikola Bežanić, Ivan Popović

Korisnici : Elektrotehnički fakultet, Laboratorija za Digitalnu elektroniku na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu

Podtip rešenja : Novi softver (M84)

2 STANJE U OBLASTI

Pametni pretvarači predstavljaju značajnu oblast istraživanja u kontekstu eksploatacije potencijala koje pruža tehnološki proces za implementaciju elektronskih uređaja. Moderni mikrokontroleri koji su opremljeni interfejsima za mrežno povezivanje mogu se koristiti za realizaciju pametnih pretvarača spremnih za integraciju u distribuirano okruženje. Uvođenjem Web servisa u sisteme pametnih pretvarača, vrši se približavanje IT tehnologija namenskim računarskim sistemima, jer se omogućava migracija softverskih komponenti sa platformi opšte namene ka namenskim uređajima i obrnuto.

STWS. Pametni pretvarači su standardizovani donošenjem IEEE 1451 familije standarda, pri čemu se specifikacija IEEE 1451.0 smatra baznim standardom. Operacijama pametnih pretvarača koji su povezani u mrežu se može pristupiti putem Web servisa, pri čemu se dolazi do novog koncepta koji se odnosi na pristup IEEE 1451.0 operacijama pametnog pretvarača, poznatog pod nazivom Smart Transducer Web Services (STWS). Dati koncept će biti korišćen kao osnova za realizaciju komunikacionog interfejsa u ovom tehničkom rešenju. Prilikom realizacije na namenskom računarskom sistemu koja će biti korišćena, servisi čak mogu i preuzeti funkcionalnost IEEE 1451.0 operacija i tokom izvršavanja tih operacija direktno komunicirati sa sensorima.

OGC-SWE. Open Geospatial Consortium (OGC) inicijativa definiše set standardnih interfejsa za pristup senzorskim podacima u okviru mreže, kako u slučaju konkretnih senzora, tako i u slučaju senzorskih arhiva podataka. OGC-SWE Web servisi mogu biti povezani sa pametnim pretvaračima putem već pomenutog STWS posredničkog sloja. U većini slučajeva, predloženi prototipi podrazumevaju realizaciju STWS servisa na platformi opšte namene i ne daju mogućnost pristupa i samim senzorskim aplikacijama putem Web servisa.

Ivan Popović, Nikola Bežanić, Realizacija Web servera i menadžera u servisno-orijentisanoj mreži pametnih pretvarača, Tehničko rešenje, 2014. Tehničko rešenje daje opis implementacije inovativnog modela servisno orijentisane mreže pametnih pretvarača. Server pristupa svim entitetima, uključujući i pametne pretvarače, putem zajedničkog skupa Web servisa za čitanje meta-podataka i mernih podataka. U rešenju je prikazan i koncept virtuelnih pretvaračkih modula, kao forme za efikasnu integraciju pretvaračkih aplikacija u mrežu. Prikazani model je u ovom rešenju unapređen, tako što je razmena podataka izmeštena sa servera i implementirana na strani virtuelnog pretvaračkog modula na bazi korišćenja servisnih agenata. Takođe, dat je primer upravljanja sušarom korišćenjem predložene mrežne arhitekture.

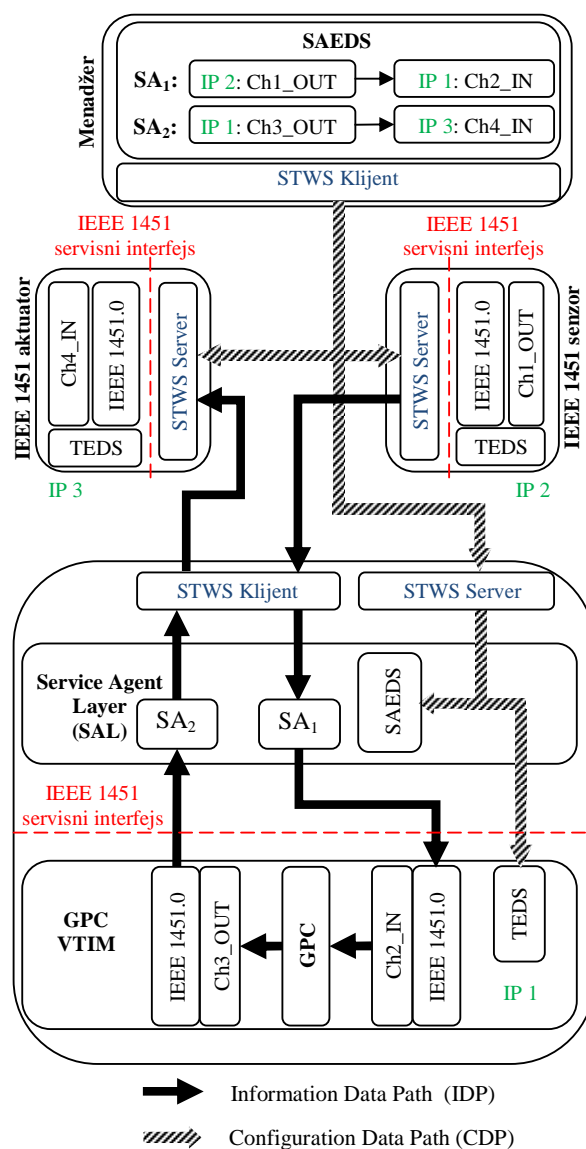
Lixian Zhang, Huijun Gao, Kaynak O., Network-Induced Constraints in Networked Control Systems—A Survey, IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 9, pp. 403-416, ISSN 1551-3203, DOI 10.1109/TII.2012.2219540, Feb. 2013. U radu su navedena ograničenja distribuiranih kontrolnih sistema, poput gubitka paketa i varijabilnog mrežnog kašnjenja. U okviru IEEE 1451 familije standarda, ovi problemi nisu posebno rešavani, pa je prema tome neophodno realizovati komponente na sistemskom nivou, na način koji uzima u obzir date probleme, kako bi se omogućila realizacija distribuiranog upravljačkog sistema. U ovom tehničkom rešenju će biti korišćen model prediktivnog upravljanja, koji omogućava kompenzaciju transportnog kašnjenja u mreži, kao i podršku za upravljanje u slučaju gubitka paketa.

U radu je prikazan sistem za kontrolu sušare koji se zasniva na pametnim pretvaračima opremljenim IEEE 1451.0 operacijama, elektronskim meta-podacima i STWS servisima. Konfiguracija mrežnih putanja razmene podataka se obavlja na centralnom menadžerskom mrežnom čvoru putem korisničkog interfejsa. Rešenje daje mogućnost unifrome integracije pretvarača i aplikacionih komponenti koje su im pridružene u formi virtuelnih pretvaračkih modula.

3 DETALJNO TEHNIČKO REŠENJE

3.1 Uvod

U slučaju kompleksnih merno-upravljačkih aplikacija, potrebno je implementirati kompleksne algoritme upravljanja. U slučaju distribuiranog upravljanja, prikazana realizacija daje rešenje u formi servisno orijentisane arhitekture, eng. Service Oriented Architecture (SOA). Servisno orijentisana arhitektura se implementira korišćenjem Web servisa koji se koriste za pristup IEEE 1451.0 operacijama pametnog pretvarača. Definicija servisa je data u XML formatu korišćenjem WSDL (*Web Service Description Language*) jezika. Mrežna arhitektura uvodi probleme transportnog kašnjenja i gubitka paketa, pa se kao pogodan algoritam upravljanja nameće General Predictive Control (GPC) algoritam. Na slici 1 je prikazano servisno orijentisano okruženje za implementaciju distribuiranih algoritama upravljanja.



Slika 1 Arhitektura servisno orijentisanog distribuiranog merno-upravljačkog sistema.

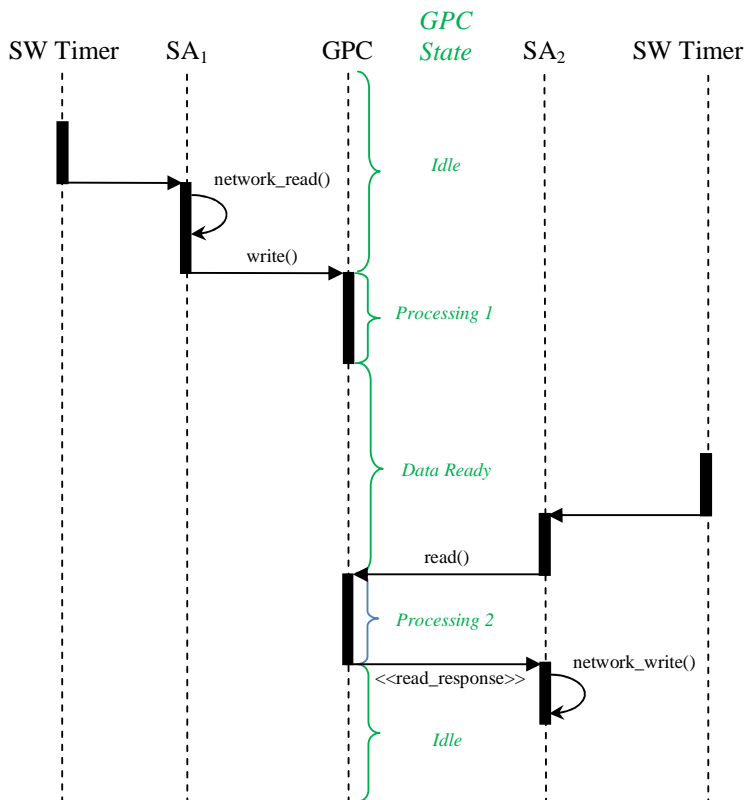
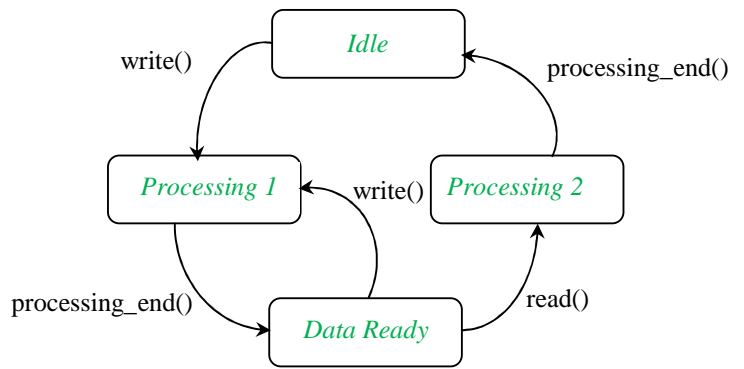
Menadžerski čvor prikuplja informacije o svim prijavljenim uređajima u mreži koje su sadržane u TEDS (Transducer Electronics Data Sheet) komponentama, preko konfiguracione putanje podataka Configuration Data Path (CDP). TEDS komponenta je definisana IEEE 1451.0 specifikacijom i predstavlja jednu od osnovnih komponenata za realizaciju plug-and-play funkcionalnosti pametnih pretvarača. Prikupljeni meta podaci se zatim prikazuju operateru putem korisničkog interfejsa menadžerskog čvora. Konfiguracija putanja automatizovane razmene podataka se omogućava uvođenjem nove elektronkse komponente SAEDS (Service Agent Electronics Data Specification). SAEDS sadržaj se definiše putem korisničkog interfejsa menadžerskog čvora, a zatim učitava u mrežni čvor na kome se izvršava algoritam distribuiranog upravljanja. U procesu inicijalizacije sistema, na osnovu sadržaja SAEDS, aktiviraju se softverske komponente za automatizovanu razmenu podataka.

U svrhu realizacije automatizovane razmene podataka, uvodi se sloj servisnih agenata, označen na slici kao Service Agent Layer (SAL). Servisni agenti (SA) u okviru SAL periodično vrše čitanje/upis podataka čime se obezbeđuje servisno orijentisana komunikacija između mrežnog čvora na kome se izvršava algoritam i pametnih pretvarača, preko informacione putanje podataka Information Data Path (IDP). U primeru sa slike 1, servisni agent SA₁ periodično očitava podatke senzora i upisuje ih u virtuelni pretvarački modul VTIM (Virtual Transducer Interface Module), koji se od standardnog TIM modula razlikuje po tome što umesto pristupa fizičkim sensorima i njihovim meta podacima, omogućava pristup algoritmu sa meta podacima. Očitavanje rezultata koje daje algoritam se u tom slučaju vidi kao očitavanje senzorskog mernog kanala. Očitavanje rezultata vrši servisni agent SA₂ pristupajući lokalnoj promenljivoj, a zatim putem mrežne komunikacije vrši upis rezultata u aktuator.

Pametni pretvarači se realizuju na namenskoj računarskoj platformi sa integrisanim STWS servisima i njima se pristupa slanjem SOAP/XML zahteva u formatu koji je definisan WSDL specifikacijom. Svakoj IEEE 1451.0 operaciji odgovara po jedan servis koji formatira rezultat i šalje SOAP/XML poruku odgovora putem HTTP protokola. Merni podaci se smeštaju u bafer Ch1_OUT (senzor), koji se očitava pri pozivu STWS servisa za čitanje na strani senzora, dok se podaci aktuatora smeštaju u bafer Ch4_IN po pozivu STWS servisa za upis na strani aktuatora.

3.2 Realizacija GPC VTIM mrežnog čvora

Kada menadžerski čvor sa slike 1 upiše SAEDS sadržaj i pošalje signal za početak inicijalizacije ka GPC VTIM čvoru, posebna programska nit se pokreće za izvršavanje GPC algoritma, kao i za izvršavanje svakog servisnog agenta SA. Svaki SA je uparen sa jednim softverskim tajmerom što omogućava periodično izvršavanje operacija upisa/čitanja sa periodom definisanom u SAEDS komponenti (Slika 2). Čitanje/upis podataka preko mreže je prikazano u vidu `ntw_rd()/ntw_wr()` funkcija, dok je čitanje/upis lokalne deljene promenljive prikazano putem funkcija `loc_rd()/loc_wr()`. Na slici je prikazan i dijagram konačne mašine stanja GPC algoritma sa promenom stanja procesiranja u zavisnosti od operacija upisa/čitanja, pri čemu je obezbeđen korektan redosled izvršavanja operacija u odnosu na operacije SA niti. Kada se izvrši upis podataka na strani GPC VTIM-a od strane niti SA₁ putem operacije `loc_wr()`, startuje se izvršavanje GPC algoritma prelaskom u stanje *Processing 1*. Po završetku algoritma, prelazi se u stanje *Data Ready*, gde nit čeka da SA₂ inicira operaciju čitanja ili da se upišu novi podaci od strane SA₁. Dodatno stanje *Processing 2* je ostavljeno za potrebe formatiranja i dostavljanja podataka.



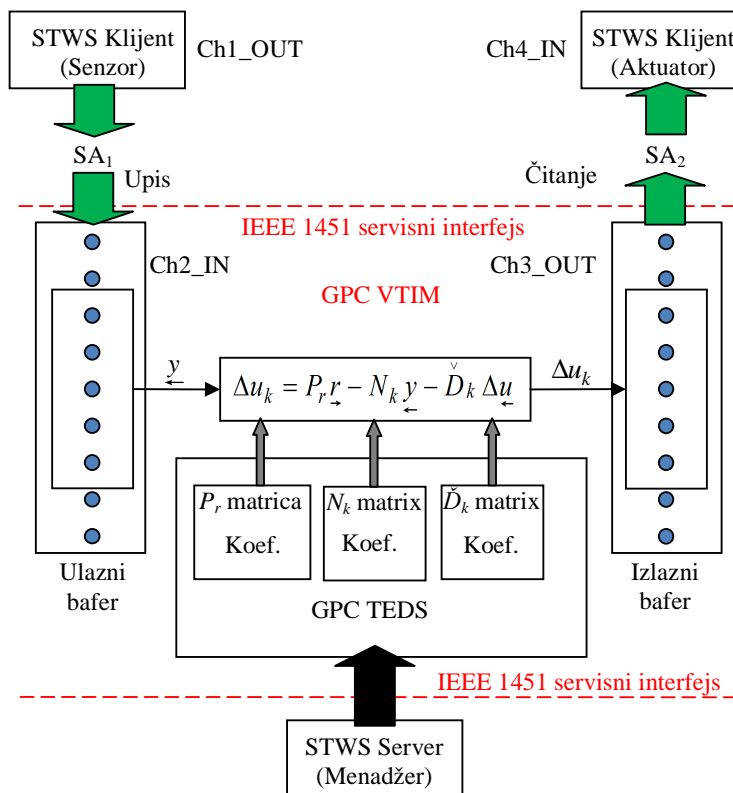
Processing 1: Očitavanje ulaznog bafera, izvršavanje algoritma i upis u izlazni bafer.
Processing 2: Očitavanje izlaznog bafera.

Slika 2. Mašina stanja i prikaz izvršavanja niti na strani GPC VTIM-a.

GPC kontrolni algoritam prihvata merne podatke koji se dobijaju na izlazu procesa kojim se upravlja, sa pridruženom vremenskom referencom (Slika 3). Poslednji pročitani podaci se uzimaju iz ulaznog bafera, u skladu sa zadatom veličinom ulaznog bafera algoritma, dok se ostali podaci odbacuju. Vrednosti fiksnih matrica koje se koriste tokom izračunavanja se zadaju u formi TEDS komponenti virtuelnog pretvaračkog modula GPC VTIM. Detalji o izračunavanju matrica u slučaju primene GPC algoritma se mogu pronaći u sledećoj referenci: *Rossiter, J.A., Model-based Predictive Control: A Practical Approach, CRC Press control series, ISBN 0-203-58568-2, 2004.* Inkrementi upravljanja Δu_k sa vremenskom referencom iz budućnosti se sračunavaju na osnovu sledeće formule:

$$(1) \quad \Delta u_k = P_r r - N_k y - \overset{\vee}{D}_k \Delta u$$

, gde je r zadata referenca, y je vektor mernih odbiraka, a Δu inkrementi upravljanja. Strelice ispod simbola označavaju uzimanje budućih ili prošlih odbiraka tokom izračunavanja. Na osnovu (1), uzima se referenca iz budućnosti, a merni odbirci i inkrementi upravljanja iz prošlosti, relativno u odnosu na trenutak uzimanja poslednjeg mernog odbirka sa senzora. Broj odbiraka rezultata mora biti dovoljno veliki da se kompenzuje ukupno transportno kašnjenje na putanji sensor-GPC VTIM-aktuator.



Slika 3. GPC VTIM: prijem/slanje i obrada podataka korišćenjem algoritma prediktivnog upravljanja.

3.3 Konfiguracija putanje podataka

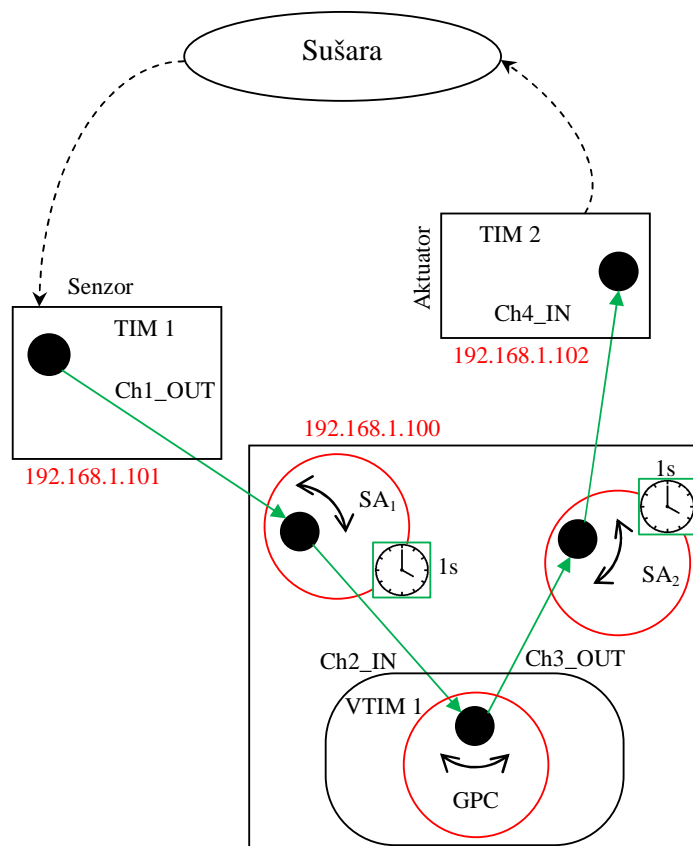
Inicijalno, menadžer prikuplja TEDS podatke svih registrovanih mrežnih čvorova preko konfiguracione putanje podataka CDP prikazane na slici 1 i prikazuje ove podatke operateru preko korisničkog interfejsa. Operater mora biti upoznat sa dostupnim sensorima, aktuatorima i algoritmima, odnosno sa brojem kanala, tipovima pretvarača, imenima kanala, smerovima kanala i slično, što je prikazano na slici 4. Svaki mrežni čvor na putanji podataka IDP prikazanoj na slici 1, poseduje brojač sa rezolucijom od 1ms, kako bi se obezbedila vremenska referenca koja može biti korišćena u svrhu pridruživanja podatka o vremenu mernim odbircima, za analizu pridruženih podataka o vremenu poslatih od strane drugog mrežnog čvora i za procesiranje podataka na strani GPC VTIM mrežnog čvora na način koji uzima u obzir i vremensku referencu. STWS sloj je proširen servisom za vremensku sinhronizaciju kako bi se omogućila sinhronizacija vremenskih brojača različitih mrežnih čvorova i bazira se na slanju multicast poruka od strane menadžerskog čvora.

Putanja podataka prikazana na slici 4 predstavlja putanju sa minimalnim kašnjenjem. Set podataka koji se razmenjuje između čvorova je uniforman, pri čemu se format seta podataka za svaki kanal definiše posebno putem TEDS. Uniforman model seta podataka i postojanje vremenskih brojača daje osnovu za multi-rate operaciju mrežnih čvorova. Servisni agenti SA₁ i SA₂ sa periodom izvršavanja od 1s poseduju informacije o IP adresama i portovima izvoršnih i odredišnih čvorova. Aktuator prima buduće odbirke upravljanja koji se dobijaju kao rezultat izvršavanja GPC algoritma i aplicira ih posle analize pristiglog seta podataka koji poseduje i podatke o vremenu.

Menadžerski čvor: Osnovna podešavanja

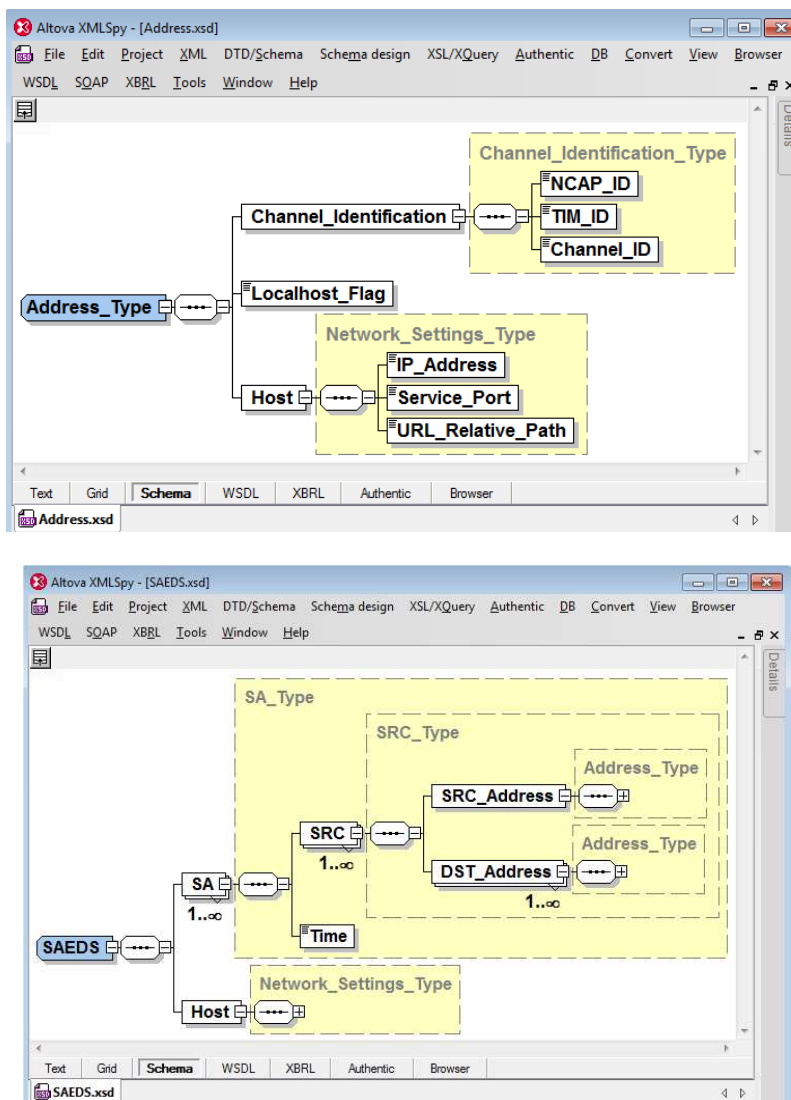
Čvor	IP	Port	Kanali
VTIM 1 (GPC)	192.168.1.100	80	Ch2_IN; Ch3_OUT
TIM 1	192.168.1.101	80	Ch1_OUT (Sensor)
TIM 2	192.168.1.102	80	Ch4_IN (Actuator)

Čvor



Slika 4. Prikaz osnovnih podešavanja na strani menadžerskog noda i putanja podataka.

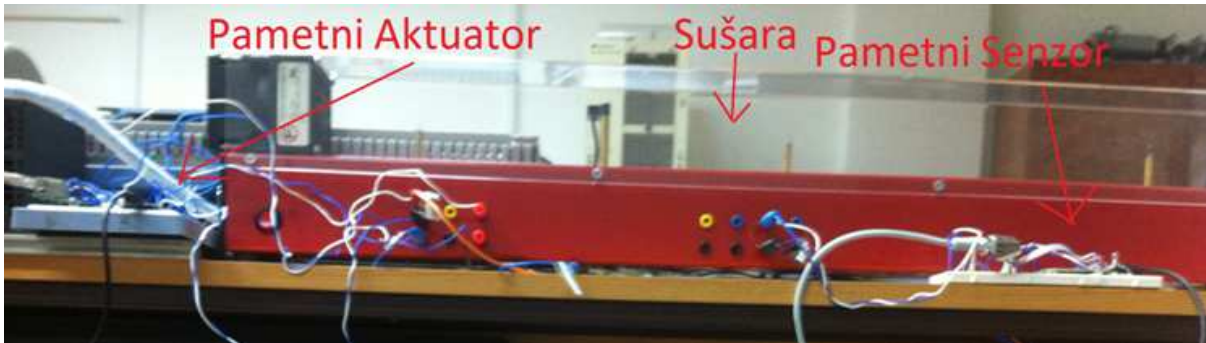
XML Schema jezik se u ovom slučaju koristi za definiciju formata XML poruka koje se koriste za potrebe mrežne razmene podataka. Korišćen je programski paket Altova XMLSpy za detaljnu definiciju SAEDS formata koji prezentovan XML Schema dijagramom na slici 5. U prikazu koji se nalazi u gornjem delu slike, nalazi se kompleksan tip korišćen za specifikaciju adrese kanala, koji je dovoljno uopšten da obuhvati lokalne deljene promenljive mrežnog čvora i udaljeno STWS očitavanje ili upis. **Localhost_Flag** se koristi u okviru SAL sloja kao indikacija lokalnog ili udaljenog očitavanja/upisa. Ukoliko je fleg setovan, zanemaruju se informacije udaljenog host uređaja, njegov port i URL putanja, i pristupa se lokalnom čitanju/upisu. Resetovani flag služi kao indikacija SAL sloju u slučaju mrežnog STWS čitanja/upisa. U donjem delu prikaza na slici, nalazi se dijagram koji opisuje SAEDS format. SAEDS format koristi kompleksni adresni tip i podrazumeva posebno kreiranje SAEDS instance za svaki host uređaj. U slučaju kontrole sušare koji je razmatran u ovom tehničkom rešenju definiše se jedan SAEDS za GPC VTIM mrežni čvor.



Slika 5. Definicija SAEDS formata u XML Schema jeziku.

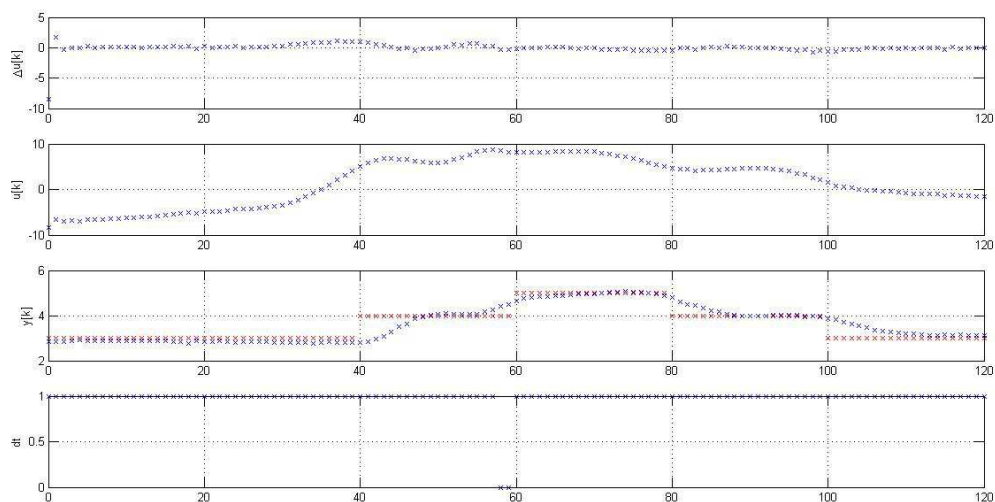
3.4 Testiranje i prikaz rezultata

Na slici 6 je prikazana laboratorijska postavka distribuiranog sistema za kontrolu sušare. Pametni aktuator i pametni senzor su realizovani korišćenjem mikrokontrolera baziranih na ARM arhitekturi, sa mogućnošću mrežnog povezivanja. Pametni pretvarači su povezani na mrežu putem Ethernet interfejsa, pri čemu u LAN mreži razmenjuju podatke sa GPC VTIM čvorom realizovanim na platformi opšte namene.



Slika 6. Laboratorijska postavka: komunikacija na putanji podataka senzor-GPC VTIM-aktuator se ostvaruje u LAN mreži.

Na slici 7 je dat prikaz snimljenih signala prilikom kontrole sušare, za referentni signal koji se kreće od 3-5V, što odgovara temperaturi od 30-50 °C. Snimanjem statičkih karakteristika sušare dobijeni su parametri na osnovu kojih je podešen model GPC algoritma (GPC TEDS prikazan na slici 3), koji se koristi za izračunavanje budućih odbiraka upravljanja. Transportno kašnjenje paketa u LAN mreži je, u većem delu prikazanog intervala, konstantno i jednako jednoj periodi odabiranja (1s). Ovakvo mrežno kašnjenje je kompenzovano predikcijom GPC algoritma, tako da se dobija da signal sa senzora uspešno prati zadati referentni signal.



Slika 7. Prikaz signala (odozgo nadole): (prvi grafik) inkrementi upravljanja koje primenjuje pametni aktuator, (drugi grafik) upravljački signal pametnog aktuatora, (treći grafik) signal senzora-plava boja i zadata referenca-crvena boja, (četvrti grafik) transportno kašnjenje paketa kroz mrežu.