

# Arhitektura i realizacija univerzalnog web senzora

Željko Ivanović, Vujo Drndarević, Mladen Knežić

**Sadržaj** — U radu je analizirana arhitektura i dato jedno praktično rješenje univerzalnog web senzora. Predloženo rješenje može se koristiti za nadzor većeg broja parametara životne sredine preko Interneta. Pristup senzoru vrši se pomoću standardnog web pretraživača. Web senzor je realizovan korišćenjem standardnih elektronskih komponenti, 8-bitnog mikrokontrolera opšte namjene i Ethernet kontrolera. U ovoj fazi projekta realizovan je prototip web senzora a ulazni signali su simulirani pomoću generatora signala.

**Gljučne reči** — web senzor, mikrokontroler, ethernet, TCP/IP.

## I. UVOD

ZNAČAJAN pravac razvoja mjernih sistema odnosi se na objezbeđenje uslova za povezivanje većeg broja inteligentnih (*intelligent*) ili pametnih (*smart*) mjernih pretvarača u mjerne mreže. Povezivanje ovakvih mjernih pretvarača u industrijske mjerne mreže vrši se preko specijalizovanih habova ili programabilnih logičkih kontrolera (PLC). Komunikacija sa senzorima po pravilu se obavlja korišćenjem specijalizovanih protokola, a fizički nivo veza najčešće je ostvaren preko RS-485 zajedničke magistrale ili neke druge specijalizovane industrijske magistrale kao što je CANbus [1] ili Profibus [2].

Dalji razvoj distribuiranih mjernih sistema podpomognut je i odgovarajućim standardom IEEE-1451 [3], [4]. Ovim standardom definisana je arhitektura i komunikacioni interfejs inteligentnog senzora koji ima mogućnosti povezivanja na mrežu i komuniciranja preko opšteg komunikacionog protokola. Uprkos potencijalnim prednostima, na tržištu se rijetko susreću proizvodi realizovani u potpunosti prema IEEE-1451 standardu. U isto vrijeme veoma su izražene aktivnosti na prilagođenju Ethernet tehnologija zahtjevima koji su karakteristični za industrijske komunikacione sisteme [5]-[8]. Veliki doprinos ovim naporima daje i odgovarajući IEEE-802.3 standard [9].

Ethernet mreže predstavljaju ekonomično i kvalitetno rješenje problema povezivanja kako na višim, tako i na nižim hijerarhijskim nivoima, uključujući i povezivanje jednostavnih inteligentnih mjernih pretvarača. Na tržištu

je prisutan veći broj uređaja i modula pogodnih za realizaciju distribuiranih mjernih sistema na bazi Ethernet mreža. Kao primjer, može se navesti modularni sistem FieldPoint američke kompanije National Instruments [10]. Međutim, premda modularni, ovakvi sistemi su relativno skupi, te im je i oblast primene ograničena.

Cilj ovog rada je da se analizira arhitektura i ponudi jedno ekonomično rješenje univerzalnog inteligentnog mjernog pretvarača koji ima mogućnosti povezivanja na Ethernet mrežu (u daljem tekstu *web senzor*). U delu II ovog rada opisana je hardverska arhitektura inteligentnog senzora koji poseduje ugrađen web server. Za realizaciju senzora korišćenje su standardne jeftine elektronske komponente, mikrokontroler opšte namjene i odgovarajući mrežni kontroler. U trećem delu rada opisan je postupak realizacije programa aplikacije senzora i komunikacionog programa. Na kraju, u IV delu su sumirani ostvareni rezultati i dati pravci daljeg rada na projektu čija je prva faza prezentirana u ovom radu.

## II. ARHITEKTURA I REALIZACIJA WEB SENZORA

Univerzalni web senzor treba da omogući: (i) mjerenje većeg broja različitih fizičkih veličina i (ii) pristup i očitavanje mjernih rezultata sa udaljene lokacije korišćenjem standardnog web pretraživača. Ovakav senzor ima ugrađen web server sa Ethernet ili dial-up priključkom, a razmjena web strana vrši se po TCP/IP protokolu.

Za realizaciju namjenskih web servera mogu se koristiti: (i) mikrokontroleri opšte namjene ili (ii) mikrokontroleri koji imaju ugrađeni Ethernet interfejs sa podržanim TCP/IP protokolom.

Predložena arhitektura univerzalnog web senzora (Sl. 1.) bazirana je na primeni mikrokontrolera PIC16F877A i Ethernet kontrolera ENC28J60 [11]. Međusobna veza ova dva kontrolera ostvarena je preko standardnog SPI interfejsa (*Serial Peripheral Interface*). Ovo rješenje zahtjeva razvoj sopstvenog programa koji podržava TCP/IP protokol.

Na osnovu predložene arhitekture izvršena je realizacija web senzora (Sl. 2). Senzor je realizovan u obliku laboratorijskog modela, a u realizaciji korišten je razvojni sistem EasyPIC3 i Ethernet kartica (Sl. 3.) proizvodi firme Mikroelektronika, Beograd [12].

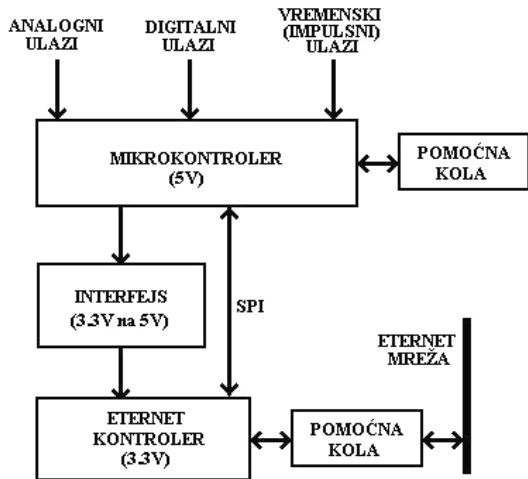
Mikrokontroler PIC16F877A ima sledeće karakteristike: 8 kB programske memorije, 368 B RAM memorije, A/D konvertor 10-bitne rezolucije sa mogućnošću povezivanja 8 analognih ulaznih signala, takt učestanosti do 20 MHz i hardverski implementiran

Željko Ivanović, Elektrotehnički fakultet, Banja Luka, Patre 5, 78000 Banja Luka, R. Srpska ; (e-mail: zeljko@etfbl.net).

Vujo Drndarević, Saobraćajni fakultet, Beograd, Srbija (e-mail: vujod@eunet.yu).

Mladen Knežić, Elektrotehnički fakultet, Banja Luci, Patre 5, 78000 Banja Luka, R. Srpska ; (e-mail:mladen\_knezic@etfbl.net).

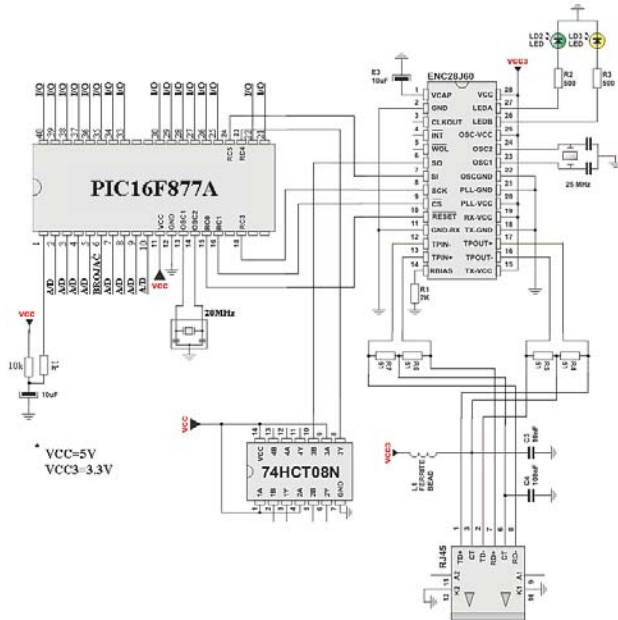
SPI interfejs [11].



Sl. 1. Hardverska arhitektura univerzalnog web senzora

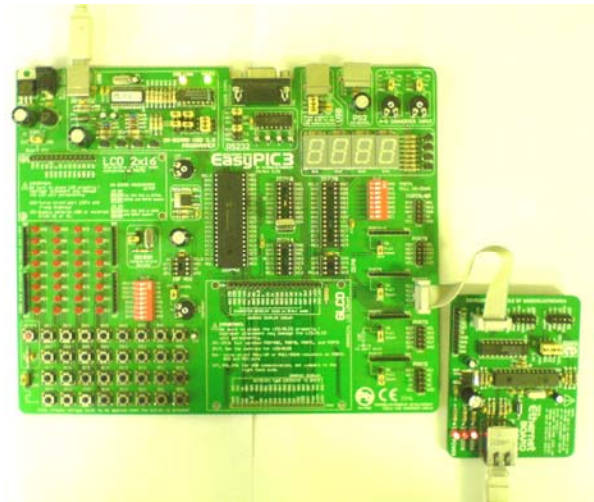
Ethernet kontroler ENC28J60 posjeduje sljedeće karakteristike: kompatibilan sa IEEE 802.3 standardom, hardverski integrisan MAC (*Medium Access Controller*) i PHY (*Physical Layer*) sa integrisanim filtrima za prijem i oblikovanje signala, implementiran jedan 10BASE-T port sa automatskom korekcijom i detekcijom polariteta signala, SPI interfejs brzine do 10 Mb/s i 8kB SRAM memorijski bafer [11].

Napon napajanja Ethernet kontrolera iznosi 3.3V. Kako je napon napajanja mikrokontrolera 5V, za prilagođenje naponskog nivoa između upravljačkih linija ENC28J60 i mikrokontrolera koristi se integrisano kolo 74HCT08N.



Sl. 2. Električna šema univerzalnog web senzora

Predloženo rješenje testirano je u mjernoj mreži baziranoj na konceptu klijent-server arhitekture u kojoj se komunikacija obavlja preko TCP/IP protokola. Senzori fizičkih veličina simulirani su korišćenjem generatora odgovarajućih signala.



Sl. 3. Izgled elemenata modela univerzalnog web senzora

### III. IMPLEMENTACIJA TCP/IP PROTOKOLA I PROGRAMA WEB SENZORA

Struktura komunikacije na mreži sastoji se iz nekoliko slojeva. U zavisnosti od toga koji se protokoli implementiraju po pojedinim slojevima komunikacije, varira pouzdanost i fleksibilnost komunikacije klijenata na mreži. Struktura komunikacije zavisi od tipa mreže na kojoj se implementira, kao i od definisanih parametara koje je neophodno zadovoljiti. TCP/IP referentni model sastoji se iz četiri sloja, kao što je prikazano u Tabeli 1. [13].

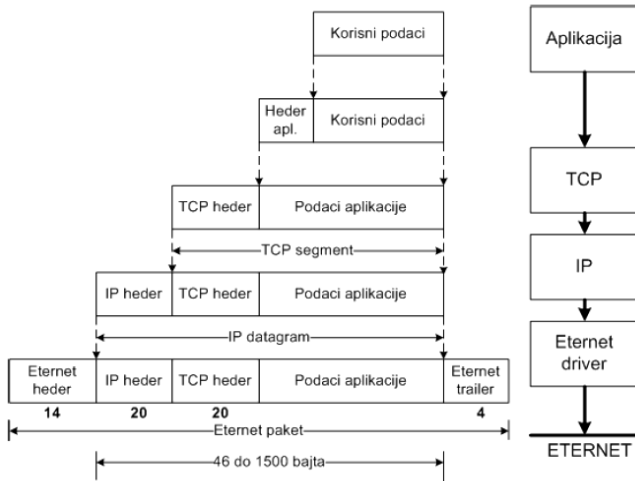
Tabela 1: STRUKTURA KOMUNIKACIJE.

Protokoli	Uloga u komunikaciji
4. Protokol aplikacija	Sloj specifičan za implementiranu aplikaciju
3. TCP(Transmission Control Protocol)	Prenos podataka između klijenata na mreži
2. IP(Internet Protocol)	Obezbeđuje se komunikacija na mreži
1. Ethernet protokol	Osnovni sloj (drajveri mrežnih uređaja)

Na Sl. 4. prikazana je enkapsulacija podataka zasnovana na TCP/IP steku koji je programski implementiran unutar mikrokontrolera [5].

Kao što se vidi sa Sl. 4. količina podataka u okviru jednog Ethernet paketa mora da bude u rasponu od 46 do 1500 bajtova.

Kompletan program za mikrokontroler napisan je u programskom jeziku C. Za pisanje programa i njegovo prevođenje korišten je mikroC v6.0, kompajler firme Mikroelektronika [12].



Sl. 4. Enkapsulacija podataka u okviru Ethernet paketa.

Program mikrokontrolera obavlja sljedeće funkcije: ARP i ICMP eho zahtjev, HTTP zahtjev po portu 80 sa GET metodom. GET metod implementiran je sa sljedećim putanjama (*pathname*): "/" - vraća glavnu web stranu, "/s" - vraća stanje senzora u tekst formatu. U slučaju da sa GET metodom specificira neka od nepomenutih putanja biće vraćena glavna web stranica.

Glavna web stranica napisana je kombinovanjem HTML i JavaScript kôda. JavaScript kôd iskorišten je za slanje promjenljivih vrijednosti rezultata merenja. U tu svrhu se koristi metod "GET /s" koji u tekst formatu vraća rezultat mjerenja, kao što je pomenuto, a koji se tretira kao JavaScript iskaz. U HTML kôdu umetnut je meta tag <meta http-equiv='refresh' content='2'> koji prisiljava web pretraživač da osvježi sadržaj web stranice svake dvije sekunde [14].

U okviru microC kompajlera nalazi se i biblioteka "SPI Ethernet" koja u sebi sadrži skup funkcija za rad sa Ethernet kontrolerom ENC28J60, a koje su korištene pri realizaciji komunikacije: ENC28J60\_Init - inicijalizuje SPI i ENC28J60 kontroler; ENC28J60\_doPacket - procesira pristigle Ethernet pakete; ENC28J60\_putByte - smješta jedan bajt na lokaciju na koju pokazuje EWRPT registar; ENC28J60\_getByte - preuzima jedan bajt sa lokacije na koju pokazuje ERDPT registar; ENC28J60\_UserTCP - funkcija za rad sa TCP datagramom, ENC28J60\_UserUDP - funkcija za rad sa UDP datagramom.

Napred navedene funkcije, zajedno sa Ethernet kontrolerom, obezbjeđuju strukturu komunikacije koja je prikazana u Tabeli 1.

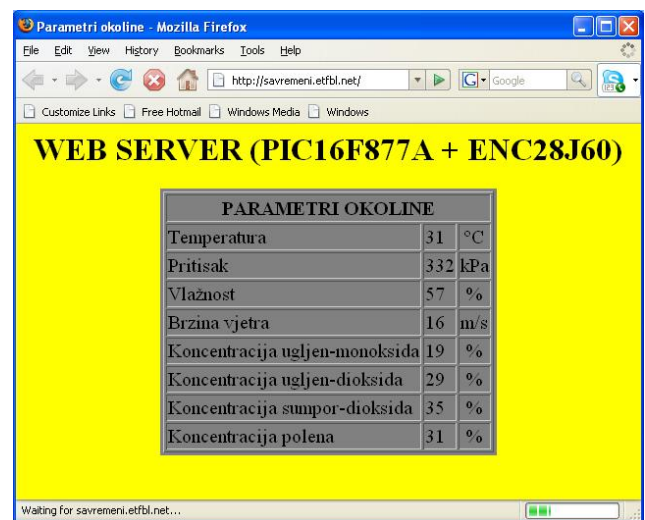
Program mikrokontrolera može se podijeliti na sljedeće cjeline: inicijalizacija potrebnih varijabli i konstanti, definicija korisničkih funkcija, inicijalizacija mikrokontrolera, inicijalizacija Ethernet kontrolera i tijela beskonačne petlje.

Unutar glavnog programa, prije tijela beskonačne petlje izvršava se inicijalizacija A/D konverzije, odgovarajućih portova i Ethernet kontrolera ENC28J60. Značajno je napomenuti da se u okviru inicijalizacije Ethernet kontrolera podešava njegova MAC i IP adresa. Nakon

inicijalizacije, program ulazi u beskonačnu petlju unutar koje se procesiraju primljeni Ethernet paketi. Kad se detektuje prijem TCP paketa poziva se funkcija ENC28J60\_UserTCP unutar koje se obrađuje primljeni paket. ENC28J60\_UserTCP je funkcija koju korisnik definiše i ona služi za obradu HTTP zahtjeva. U okviru pomenute funkcije ispituje se da li je paket upućen preko porta 80 (web zahtjev). U protivnom, paket se odbacuje i program se ponovo vraća unutar tijela beskonačne petlje. U slučaju da je paket poslan po portu 80 ispituje se da li se radi o GET metodu koji je jedino i implementiran. U slučaju negativnog odgovora, izvršenje programa se vraća ponovo na procesiranje pristiglih paketa. Kada se detektuje GET metod sa putanjom "/s" mikrokontroler će vratiti rezultate mjerenja senzora u tekst formatu ili, ako je u pitanju bilo koja druga putanja, biće vraćena glavna web stranica.

#### IV. REZULTATI I DISKUSIJA

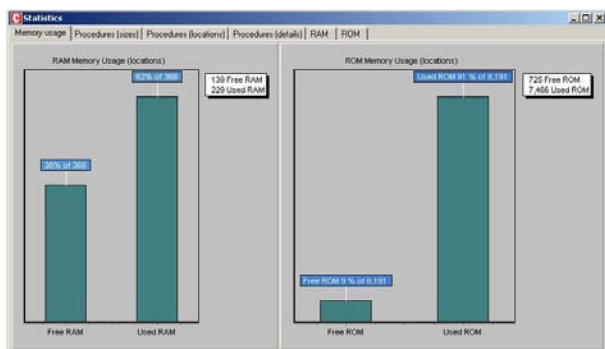
Polazeći od zahteva za ekonomičnim rešenjem mernog pretvarača koji ima mogućnost povezivanja na Ethernet mrežu, projektovan je i realizovan univerzalni web senzor. Senzoru se pristupa korišćenjem standardnog web pretraživača unosom njegove numeričke IP adrese <http://81.93.75.180> ili logičke adrese <http://savremeni.etfbl.net>. Umesto senzora fizičkih veličina, u ovoj fazi rada korišćeni su generatori signala odnosno promenljive otpornosti. Na Sl. 5. dat je izgled web strane koju generiše web server.



Sl. 5. Izgled web stranice koju generiše web senzor.

Zbog optimalnije fragmentacije programa koji je smešten u fleš memoriji mikrokontrolera, HTML kôd web stranice podeljen je na dva dijela. Naime, kada linker naiđe na male dijelove slobodnog ROM-a, on u tom slučaju može da smjesti HTML kôd na dvije manje lokacije slobodne memorije.

Program koji je napisan za univerzalni web senzor zauzeo je 91 % programske i 62 % RAM memorije mikrokontrolera (Sl. 6.).



Sl. 6. Pregled zauzeće memorije mikorkontrolera.

Web senzor je testiran na dvije vrednosti taktne učestanosti: 20 MHz i 8MHz. Testiranje je izvršeno u kontinualnom vremenskom intervalu od 24h. U tom periodu nije primjećena nikakva nepravilnost u njegovom radu. Rad na nižim taktnim učestanostima potencijalno može voditi do gubitka pristiglih paketa, o čemu treba voditi računa pri izboru taktne učestanosti mikorkontrolera.

Pored očiglednih prednosti, embedded web serveri imaju i određene nedostatke koji se odnose prvenstveno na ograničene resurse upotrebljenih mikorkontrolera. Samim tim i funkcije web servera kao i nivo interakcije sa korisnikom je ograničen.

Da bi se omogućilo dalje unapređenje funkcija web servera potrebno bi bilo izabrati mikorkontroler koji posjeduje više programske memorije od korištenog mikorkontrolera. U slučaju da se implementiraju zahtjevne funkcije, onda je potrebno obratiti pažnju i na procesorsku moć mikorkontrolera.

Potrebno je naglasiti da se na strani klijenta, koji koristi standardni web pretraživač mogu prikazati podaci dobijeni samo iz jednog web senzora. Međutim, ako se zahteva prikaz rezultata mjerenja iz većeg broja prostorno distribuiranih web senzora, onda je primjena standardnog web predraživača neprikladana. U tom slučaju potrebno je razviti posebnu klijent aplikaciju koja ima mogućnost da komunicira sa većim brojem web senzora, prikuplja od njih podatke, obrađuje ih i prikazuje.

#### LITERATURA

- [1] International Standard Organization, Road Vehicles—Interchange of Digital Information –Controller Area Network for High Speed Communication Draft Amendment, ISO 11898: 1993/DAM 1, 1994.
- [2] European Committee for Electrotechnical Standardization, General Purpose Field Communication System: Vol. 2. Profibus, EN50170 r 2, Dec. 1996.
- [3] Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE standard for a smart transducer interface for sensors and actuators—Network Capable Application Processor (NCAP) information model, IEEE Std. 1451.1—1999, 1999.

[4] Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE standard for a smart transducer interface for sensors and actuators—transducer to microprocessor communication protocols and Transducer Electronic Data Sheet (TEDS) formats, IEEE Std. 1451.2—1997, 1997.

[5] S. Vitturi, On the use of Ethernet at low level of factory communication systems, Comput. Stand. Interfaces 23 (2001) 267– 277.

[6] C. Szabo, An Ethernet compatible protocol to support real time traffic and multimedia applications, Comput. Netw. ISDN Syst. 29 (1997) 335– 342.

[7] A. Popović, V. Drndarević, P. Lazarević, N. Jeftić, “Primjena specijalizovanih mikorkontrolera u realizaciji web servera internet baziranih merno-upravljačkih sistema”, ETRAN, Herceg Novi, 8-13 juna, 2003, Tom 1, str. 60- 63.

[8] V. Drndarević, M. Bolić, A. Popović, Radiation Monitoring System Based on Internet, Proceeding of 3<sup>rd</sup> International Yugoslav Nuclear Society Conference, Belgrade, Yugoslavia, October 2-5, 2000.

[9] Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE 802– 3: Part 3. 2000 standard, Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) and Physical Layer Specifications, 2000.

[10] National Instruments, Austin, TX, [www.ni.com](http://www.ni.com)

[11] Microchip Tech. Inc., Arizona,, [www.microchip.com](http://www.microchip.com)

[12] MikroElektronika, Beograd, [www.mikroelektronika.co.yu](http://www.mikroelektronika.co.yu).

[13] Atmel Corp., S. Jose, CA, Application Note, AVR460: Embedded Web Server, [www.atmel.com](http://www.atmel.com).

[14] Robert G. Fuller and Laurie Ann Ulrich, “HTML in 10 Simple steps or Less”, Wiley Publishing, Inc., 2004.

#### ABSTRACT

This paper presents architecture and design of universal web enabled sensor. Sensor can be used for monitoring of different environmental parameters via the Internet. Client can access universal web sensor by standard web browser. Web sensor is realised by means of commercial inexpensive electronic components: standard 8-bit microcontroller and Ethernet controller. Web sensor prototype is build for the performance test. At this stage, the input signals are simulated with signal generator.

#### ARCHITECTURE AND IMPLEMENTATION OF UNIVERSAL WEB SENSOR

Željko Ivanović, Vujo Drndarević, Mladen Knežić