

Razvoj modularnog uređaja za akviziciju parametara životne sredine upotrebom otvorenog hardvera u konceptu Industrije 4.0

Ivan Gutai, *Member, IEEE*, Janoš Gutai, Marina Subotin, *Member, IEEE*, Platon Sovilj, *Member, IEEE*, Marjan Urekar, *Member, IEEE*, Đorđe Novaković, *Member, IEEE*

Apstrakt — Upotreba otvorenog hardvera već dugi niz godina olakšava izradu prototipova raznih uređaja. U ovom radu će detaljno biti opisan hardver koji je korišćen za izradu prototipa modularnog uređaja za akviziciju parametara životne sredine. Pored opisa hardvera i firmvera, u radu je opisan i jedan od softverskih alata koji omogućava dizajniranje spoljašnjosti uređaja. Uređaj prikazuje trenutne vrednosti temperature, vlažnosti vazduha i tačno vreme. Akvizicija podataka se vrši 24 sata, 7 dana u nedelji, na svakih 20 minuta i čuva se u 4 KB EEPROM-a (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory). U Industriji 4.0 se ne sme zaboravljati da je informacija koje se šalje, zapravo osnova celog sistema i u ovom radu je dat akcenat na smanjivanju količine informacija koje se skladište, vodeći računa o vremenskom žigu (eng. timestamp) i korektnom prikazu izmerenih vrednosti. Od hardvera je korišćen: Arduino Nano, RTC (Real Time Clock) DS3231, DHT22 senzor, OLED ekran, 7 segmentni displej sa 4 digita i eksterno napajanje od 5 V.

Ključne reči— Arduino, RTC, DHT22, OLED, EEPROM, Metrologija, Industrija 4.0

I. UVOD

Složeni merno-informacioni sistemi su sastavni deo Industrije 4.0. Upotreba otvorenog hardvera od proizvođača kao što je Arduino, Sparkfun, Adafruit ili bilo kog drugog iz niza kompanija koji proizvode hardverska rešenja zasnovane na otvorenom hardveru, olakšavaju hobbistima i inženjerima brzu izradu prototipova uređaja. Bitni segmenti merno-informacionog sistema su samo merenje, ispravan prikaz, a zatim i skladištenje. U ovom radu će biti detaljno prikazano hardversko rešenje koje čine: Arduino Nano, RTC DS3231, DHT22 senzor, OLED ekran, 7 segmentni displej sa 4 digita i eksterno napajanje od 5 V. Platforma otvorenog hardvera sadrži mnoštvo dostupne dokumentacije, biblioteka i primera koda za svaku od navedenih komponenti na zvaničnom Arduino sajtu [1]. U radu je opisan i softver koji je na osnovu iskustva autora ocenjen kao pouzdan alat za izradu spoljašnjeg izgleda uređaja. Takođe, u radu će biti opisano skladištenje podataka u EEPROM memoriji.

Ivan Gutai – Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija (e-mail: gutai@uns.ac.rs).

Janoš Gutai – Novi Sad, Srbija (e-mail: rsgutai@gmail.com).

Marina Subotin – Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija (e-mail: marina.bulat@uns.ac.rs).

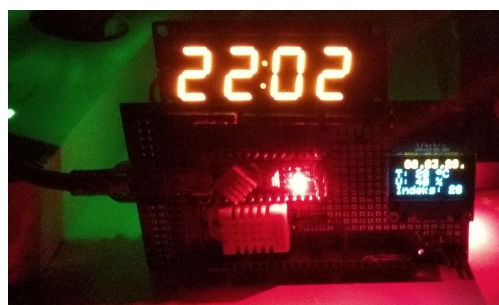
Platon Sovilj – Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija (e-mail: platon@uns.ac.rs).

Marjan Urekar – Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija (e-mail: marjanurekar@gmail.com).

Đorđe Novaković – Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija (e-mail: djordjenovakovic@uns.ac.rs).

II. OPIS KORIŠĆENOG HARDVERA

Osnova svakog mernog sistema je vreme. Izabran je temperaturno kompenzovani RTC model DS3231 [2], pored koga se na štampanoj pločici nalazi i AT24C32 čip [3], koji predstavlja EEPROM memoriju od 4 KB, koja je izabrana za skladištenje podataka koji se dobijaju prilikom merenja. Merenje se vrši na svakih 20 minuta, 24 sata, 7 dana u nedelji, od momenta kada se uključi uređaj. Algoritam kojim je omogućen ovako gust zapis će zasebno biti dokumentovan i detaljno objašnjen. Prilikom izbora razvojnog sistema kompanije Arduino, selekcija se vršila između modela Due, Mega i Nano. Za ovu namenu, gde se uređaj napaja baterijski, izabran je Arduino Nano iz dva praktična razloga. Prvi je činjenica što je potrošnja u režimu mirovanja i do 10 puta manja u odnosu na druga dva navedena modela, bez postavljanja uređaja u bilo kakvu vrstu režima smanjene potrošnje. Drugi razlog je što nema potrebe koristiti hardver koji ima 4 serijska porta, veći takt ili značajno veću količinu memorije i zato se u startu trudimo i da optimizujemo upotrebu korišćenog hardvera i da napišemo takav firmver koji će se uklopiti u date resurse. Najčešće korišćeni OLED ekrani koji su trenutno dostupni na tržištu za hobi elektroniku su rezolucije 128x64 px, dijagonale 0.96 inča ili 2.42 inča, a karakteriše ih dobar kontrast i niska potrošnja. Pozadinskim osvetljenjem 7 segmentnog displeja sa 4 digita se upravlja zadavanjem vrednosti 0 do 255, a treba voditi računa da pri maksimalnoj vrednosti, potrošnja ekrana uzima još 70 mA. Test koji je izvršen od 29.1.2020. do 5.2.2020. je bio i jedna vrsta stres testa za kompletnu elektroniku, pošto je testirana u uslovima visoke vlažnosti i temperatura bliskih nuli, bez kućišta. Za baterijsko napajanje od 5 V je poslužio Powerbank sa prošlogodišnjeg ETRAN-a od 4000 mAh, koji je bio i više nego dovoljan za testiranje. Na slici 1 je prikazana unutrašnjost modularnog uređaja za akviziciju.



Sl. 1. Unutrašnjost modularnog uređaja za akviziciju

Nakon testa i očitavanja rezultata na računaru i uveravanju o ispravnosti očitanih vrednosti i vremenskih žigova, pristupljeno je sledećem koraku, dizajniranju kućišta za uređaj. U jednoj od narednih iteracija izrade i testiranja samog uređaja biće prikazan i dizajn.

III. RAČUNARSKI INDUSTRIJSKI DIZAJN – CAD SOLIDWORKS

Integracija informacionih tehnologija u proizvodnji i potpuna digitalizacija proizvodnih procesa predstavlja osnove koncepta industrije 4.0 ili četvrte industrijske revolucije. Jedan od tih procesa jeste izrada ideje i dizajn novog proizvoda, gde se pojavljuju pojmovi računarom podržano projektovanje (Computer Aided Design) i računarom podržana proizvodnja (Computer Aided Manufacturing). Mogućnost animacije, simulacije kao i kinematske analize su samo neke od funkcionalnosti koje pružaju CAD alati, dok podaci mogu da budu upotrebljeni i u drugim alatima radi izrade prezentacija, izveštaja i kalkulacija. Takođe postoji niz prednosti upotrebe ovakvih alata kao što su povećavanje produktivnosti, unapređenje kvaliteta proizvoda, smanjenje troškova pri razvoju proizvoda, smanjuju nivo grešaka u proizvodnji kao i samom dizajnu [4]. Interaktivni CAD je brži od tradicionalnog ručnog procesa dizajna, CAD alati smanjuju broj iteracija i ubrzavaju proces izrade modela i dokumentacije [5].

Jedan od najpopularnijih programa za modelovanje punih tela, koji omogućava i pravljenje virtuelnog prototipa jeste SolidWorks. SolidWorks je softver koji je proizvela kompanija SolidWorks Corporation, koja je deo grupacije Dassault Systems. Predstavlja parametarsku alatku za modelovanje, zasnovanu na elementima koja ne samo da objedinjuju trodimenzionalna (3D) parametarska svojstva s dvodimenzionalnim (2D) alatima već obuhvata i preostale procese u ciklusu od projektovanja do proizvodnje [6]. Kreiranje mogućih rešenja i vizualizacija ideja kroz fotorealističan prikaz samog proizvoda pre izrade olakšavaju proces razvoja proizvoda i obezbeđuju fleksibilnost proizvodnje. Modifikacija u okviru ovih alata prema svakom konkretnom proizvodu i zahtevu predstavlja prednost za personalizaciju proizvoda.

IV. ZAPISIVANJE I PRIKAZ REZULTATA

Nakon svakog očitavanja i zapisivanja u EEPROM, informacije se šalju preko serijskog porta u JSON (JavaScript Object Notation) formatu, što ga čini pogodnim za prikaz i za slanje na ostale uređaje. Izbor JSON formata nije uobičajen izbor, ali je vrlo značajan web programerima, koji smatraju da je navedeni format mnogo čitljiviji od niza bajtova ili od XML-a (Extended Markup Language). Na slici 2 je prikazana informacija koja se šalje preko serijskog porta prilikom svakog merenja.

```
{
  "timestamp": 1580545200,
  "DHT22_temperature": 12,
  "DHT22_humidity": 76,
  "DHT22_heatIndex": 11
}
```

Slika 2. Informacija koja se šalje preko serijskog porta prilikom svakog merenja

Prilikom projektovanja uređaja koji su deo Industrije 4.0, većina marketing službi, kao i neki od inženjera preuveličavaju mogućnosti samih uređaja. Ponekad i slučajno dolazi do zabune, oko broja decimala u specifikacijama. U specifikaciji proizvođača senzora DHT22 je navedeno da ima tačnost od ± 0.5 °C, dok podrazumevani firmver za ove senzore prikazuje vrednosti od 23.47 °C, što je u startu pogrešno. Pre svega nije fer prema korisniku da se prikazuje podatak koji nije u skladu sa specifikacijom. Takođe, prilikom smeštanja decimalnih brojeva u memoriju, potrebno je alocirati 4 bajta ili više. U ovakvim situacijama je celobrojno zaokruživanje koje se koristi u C programskom jeziku odgovor na ovaj zahtev. Na svaku izmerenu vrednost, npr. 23.47 se dodaje 0.5 i nakon celobrojnog zaokruživanja (programerskog) dobija se prikaz od 23, što je u skladu sa specifikacijom. Za zapis broja se koriste celobrojne vrednosti, a izborom `int8_t` se omogućava zapis vrednosti od -128 do 127. Korišćenjem tipa `int8_t` umesto float se pri svakom zapisu štedi 3 bajta memorije, što na 504 merenja koja se izvrše u toku jedne nedelje, ostavlja dosta prostora za zapis drugih informacija.

V. OPIS KORIŠĆENIH BIBLIOTEKA

Deo koji se odnosi na merenje na svakih 20 minuta, a zatim i skladištenje, se vrši pomoću autorskog firmvera koji će zbog kompleksnosti biti zasebno dokumentovan. Svakom pojedinačnom hardverskom komponentom se može upravljati pomoću već napisanih biblioteka, koje su dostupne celoj zajednici otvorenog hardvera. Biblioteka za senzor DHT22 [4] omogućava da se pozivom funkcija `readTemperature` i `readHumidity` očitaju vrednosti sa senzora. `computeHeatIndex` funkcija omogućava izračunavanje subjektivnog osećaja trenutne temperature. Biblioteka za DS3231 RTC [5] poseduje funkcije `adjust` i `now`, koje omogućavaju podešavanje, a zatim i očitavanje tačnog vremena. Funkcija `unixtime` koristi 32-bit vremenski zapis i prikazuje koliko je sekundi prošlo od 1.1.1970. u 0:00 UTC (Coordinated Universal Time), npr 12:48:01 2.19.2020. je prikazano sa vremenskim žigom 1582116481. 32-bitnim zapisom je omogućeno ispravno prikazivanje vremena do 2038. godine, pa će u nekom momentu biti potrebno promeniti način zapisivanja vremenskog žiga, zbog tzv. overflow-a. Bez obzira na to, ovakav zapis čini poređenje vremena, ali i prikaz u raznim vremenskim zonama mnogo lakšim za obradu. Za prikaz na OLED ekranu se koriste biblioteke [6] i [7]. Podrazumevana veličina teksta omogućava 8 linija podataka da stane na ekran, a moguće je i skaliranje. Npr. sa faktorom skaliranja 2 je omogućen prikaz

do 10 karaktera u 4 linije. Za prikaz na 7 segmentnom displeju sa 4 digita se koristi biblioteka [8]. Funkcije su *showNumberDec* i *encodeDigit* prilagođavaju brojeve za prikaz na displeju. Na zvaničnom Arduino sajtu postoji niz biblioteka koje omogućavaju rad sa EEPROM-om, a biblioteka [9] se pokazala kao najpraktičnija za zapisivanje rezultata očitavanja merenja na eksterni EEPROM. Funkcije *eeprom_write* i *eeprom_read* imaju po dva ulazna parametra, od kojih je prvi isti za obe funkcije a to je broj memorijske lokacije, u ovoj konfiguraciji broj od 0 do 4095. Kada se kaže Arduino, to se odnosi na robnu marku iz Italije, dok postoji mnogo varijacija na temu i takav hardver predstavlja kopije i klonove Arduina. Kopije i klonovi koštaju 5 do 10 puta manje od originala. Najbrojniji na tržištu su klonovi Arduina, koji navode malo drugačije nazive, npr. Arduino Mega klon ima oznaku Mega 2560 i sl. Više na temu originalnosti Arduina je moguće pročitati na sajtu proizvođača [13].

VI. OPIS FUNKCIONALNOSTI PROTOTIPA UREĐAJA

Funkcionalnost uređaja je takva da se u toku jednog dana izvrši 72 merenja i očitane vrednosti se zapišu, bez bilo kakvog uticaja korisnika. Displeji koji se nalaze na samom uređaju prikazuju vrednosti zadnjeg očitavanja i omogućavaju uređaju da pored ozbiljne namene, posluži i kao sat koji može da se nađe na radnom stolu. Kod upotrebljenog Arduino Nano, logički nivo iznosi 5 V i treba obratiti pažnju, a zatim i dodati konverter logičkog nivoa ukoliko se uređaj poveže u sistem u kom je logički nivo 3.3 V. Testiranje hardvera i softvera je podjednako važno kao i dizajniranje i zato je u test uloženo dosta vremena. Sistem je podešen tako da se oslanja na RTC koji ima rezervnu bateriju i ukoliko dođe do prekida napajanja sat ne ostaje bez napajanja. Merenje je zavisno od vremena u sistemu i na svaki sat u 20. , 40. ili u 60. minutu se izvršava merenje. U onom momentu kad se uspostavi napajanje, čeka se odgovarajuće vreme i tad se vrši merenje. Sistem je podešen tako da u toku dana ne dolazi do prepisivanja jedne vrednosti preko druge. U slučaju nestanka napajanja može se desiti samo da se ostane bez nekoliko rezultata merenja, u zavisnosti od dužine nestanka struje. Ovom logikom je omogućen da se uređaj napaja iz utičnice, sa odgovarajućim adapterom od 5 V, u šta spadaju većina punjača za mobilne telefone i tablete, izuzimajući one koje imaju Quick Charge funkcionalnost i napon do 6 V.

ZAKLJUČAK

Da bi držali tempo i da bi spremni ušli u Industriju 4.0 u obavezi smo da pored svih ostalih dužnosti i istraživanja koja obavljamo, aktivno učestvujemo i u zajednicama koje se bave otvorenim softverom i hardverom i da širimo priču na tu temu. Prilikom prve iteracije izrade prototipa uređaja došlo je do raznih izazova, koji su zahvaljujući dostupnim besplatnim online resursima na efektivan način savladani. Napravljeni prototip uređaja jeste modularan, ali će se prilikom dodavanja hardvera i proširivanja firmvera svakako raditi testovi integracije. Ovakav vid testa predstavlja dobru praksu i konstantno nas podseća da činjenica što zasebni moduli rade korektno, apsolutno ne garantuje da će sistem raditi bez greške kad se proširi. Zato se nastavlja kako i razvoj tako i sistem test. Jedna od pogodnosti koje pruža otvoreni hardver je da se u tu oblast mogu upustiti softver inženjeri i ljudi koji nemaju čestu priliku da se bave hardverom. Često se dešava

da proizvođač hardvera u okviru internet prodavnice objavljuje i detaljna uputstva sa primerima za komponente koje nude [14], što čini rad sa otvorenim hardverom mnogo zabavnijim za krajnje korisnike.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je delom podržan od strane projekta ELEMEND (šifra projekta: 585681-EEP-1-2017-EL-EPPKA2-CBHE-JP).

LITERATURA

- [1] <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/HomePage>
- [2] <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS3231.pdf>
- [3] <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/doc0336.pdf>
- [4] Luis (2018, July 16). CAD/CAM in Industry 4.0. <http://www.computeraideddesignguide.com/cad-cam-industry-4-0/>
- [5] Sarcar, M. M. M., Rao, K. M., & Narayan, K. L. (2008). Computer aided design and manufacturing. PHI Learning Pvt. Ltd..
- [6] Tickoo, S. (2016). SolidWorks 2016 for Designers. Cadcim Technologies
- [7] <https://github.com/adafruit/DHT-sensor-library>
- [8] <https://github.com/adafruit/RTClib>
- [9] <https://github.com/adafruit/Adafruit-GFX-Library>
- [10] https://github.com/adafruit/Adafruit_SSD1306
- [11] <https://github.com/avishorp/TM1637>
- [12] <https://github.com/Naguissa/uEEPROMLib>
- [13] <https://www.arduino.cc/en/products/counterfeit>
- [14] <https://learn.sparkfun.com/>

ABSTRACT

For many years, the use of open hardware has facilitated prototyping various devices. In this paper, the hardware used for developing of modular acquisition device for environmental parameters will be thoroughly described. Besides describing hardware and firmware, this paper is described as one of the software tools which enable designing device exterior. The device shows current temperature values of temperature, air humidity and actual time. 4 KB of EEPROM is used as a storage for data acquisition every 20 minutes, 24 hours a day, 7 days a week. In Industry 4.0 we shouldn't forget that information which is transferred, actually is the foundation of the entire system. In this paper, the accent is on reducing the quantity of stored information, maintaining accurate timestamp values and measurement values. List of used hardware: Arduino Nano, RTC DS3231, DHT22, OLED display, 7-segment 4-digit display, and external 5 V power supply.

Development of modular acquisition device for environmental parameters using open hardware in the Concept of Industry 4.0

Ivan Gutai, Janoš Gutai, Marina Subotin,
Platon Sovilj, Marjan Urekar, Đorđe Novaković