

# Internet stvari sistema automatskog upravljanja

Nataša Popović  
Univerzitet u Istočnom Sarajevu,  
Elektrotehnički fakultet  
Istočno Sarajevo, Bosna i Hercegovina  
natas.popovic@etf.ues.rs.ba

Milica Naumović  
Elektronski fakultet  
Niš, Srbija  
milica.naumovic@elfak.ni.ac.rs

**Sažetak** — U ovom radu se razmatra novi koncept automatskog upravljanja sistemima, okarakterisan kao Internet stvari sistema automatskog upravljanja (IoTCS), koji je baziran na upravljačkim tehnikama umreženih sistema upravljanja i konceptu Interneta stvari. Na primjeru regulacije temperature prikazano je kako se koncept IoTCS može praktično realizovati hardverom Interneta stvari. Princip rada realizovanog IoTCS je baziran na principu umreženog sistema upravljanja u kojem je ekvivalent za komunikacionu mrežu ploča Arduino Uno. Regulacija temperature je omogućena PID regulatorom projektovanim u Simulink-u čime je pokazano da se softverski paketi koji se tradicionalno koriste za sintezu i analizu upravljačkih sistema mogu efikasno koristiti za sintezu i analizu upravljačkih sistema baziranih na hardveru Interneta stvari.

**Ključne riječi** – sistemi automatskog upravljanja, Internet stvari, regulacija temperature, PID regulator

## I. UVOD

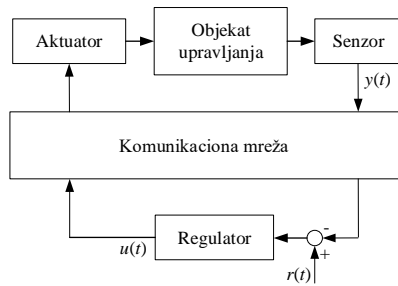
Evolucija sistema automatskog upravljanja u nazad stotinjak godina je praćena neprekidnim razvojem različitih tehnika i tehnologija, prvo iz oblasti elektronike i komunikacija, a onda i računarstva i informatike. Rezultat toga bio je nastanak više upravljačkih strategija koje su svoju primjenu našle u različitim oblastima ljudskog djelovanja. Upravljačke strategije i sistemi u kojima su one implementirane se razlikuju po specifičnim zahtjevima koji treba da se zadovolje, kao i po specifičnim ograničenjima koja treba da se prevaziđu, kako bi se upravljački zadaci uspješno obavljali.

Današnji sistemi automatskog upravljanja su uglavnom bazirani na mrežnim konceptima upravljanja i informacionim i računarskim tehnologijama [1]. Jedna vrsta ovakvih sistema su umreženi sistemi upravljanja nastali integracijom mrežnih komunikacionih koncepata i sistema automatskog upravljanja. Prvi ovakvi sistemi su se pojavili osamdesetih godina prošlog vijeka, a njihov razvoj traje još i danas. U umreženom sistemu upravljanja rad svih njegovih komponenti (objekta upravljanja, aktuatora, senzora i regulatora) se usklađuje preko komunikacione mreže [2]. Industrijski sistemi upravljanja koji su prvi koristili komunikacionu mrežu bili su bazirani na upotrebi upravljački orijentisanih komunikacionih mrežnih tehnologija i protokola (CAN, DeviceNet) [3]. Zbog brzog razvoja i dostupnosti svima danas se kao komunikaciona mreža u sistemima upravljanja sve više koristi Internet, čime su omogućeni projektovanje i izgradnja sistema upravljanja velikih razmjera po niskoj cijeni, rekonfiguracija

sistema na fleksibilan način i lako održavanje. Tako umreženi sistemi upravljanja nalaze svoju primjenu ne samo u industrijskim postrojenjima nego i u pametnim kućama, saobraćaju, teleoperacijama, a fundamentalni teorijski razvoj u oblasti umreženih sistema upravljanja doveo je do razvoja danas sveprisutnog koncepta Interneta stvari [4].

U posljednjih petnaestak godina bilježi se dramatičan razvoj informaciono-komunikacionih i računarskih tehnologija što je u značajnoj mjeri uticalo na njihovu primjenu u upravljačkim aplikacijama. Evolucija informaciono-komunikacionih tehnologija iznjedrila je brojne nove kategorije upravljačkih sistema kao što su embedid sistemi, hibridni sistemi, sajber-fizički sistemi, multiagentski sistemi [5]. Od posebnog značaja je razvoj Interneta stvari kao globalnog komunikacionog koncepta koji uz savremene računarske koncepte, kakvi su računarstvo u oblaku (eng. *cloud*), magli (eng. *fog*) i na ivici (eng. *edge*), te prikupljanje i obrada velike količine podataka (eng. *big data*), pruža mogućnosti njihove primjene u umreženim sistemima upravljanja, stvarajući uslove za nastanak novih tehnika upravljanja preko komunikacione mreže kakve su upravljanje u oblaku [6] i robotika u oblaku [7], kao i nove koncepte upravljanja kakav je Internet stvari sistema automatskog upravljanja [8]. Novi koncepti umreženih sistema upravljanja zahtijevaju multidisciplinarn pristup u svim svojim segmentima, što ih čini izuzetno kompleksnim kako za sintezu tako i za analizu. Stoga je od velike važnosti činjenica da je popularnost Interneta stvari prepoznata od strane vodećih softverskih kompanija kakve su National Instruments i MathWorks, koje su razvile posebne interfejsne i softverske pakete kao podršku za rad razvojnih ploča iz domena hardvera Interneta stvari. Prednosti novih tehnologija prepoznate su i u industrijskom sektoru pa se posebna pažnja posvećuje istraživanjima mogućnosti njihove upotrebe u proizvodnoj i procesnoj automatizaciji. Upotreba Interneta stvari i ostalih savremenih informaciono-komunikacionih i računarskih tehnologija se odrazila na industrijsku proizvodnju pojavom industrijskog Interneta stvari i poslužila je kao osnov za nastanak četvrte industrijske revolucije okarakterisane kao *Industry 4.0* [9].

Rad je organizovan na sljedeći način. U drugom poglavlju su ukratko definisani pojmovi umreženih sistema upravljanja i Interneta stvari kao i mogućnosti njihove integracije. Opisana je ideja Interneta stvari sistema automatskog upravljanja kao novog oblika upravljanja sistemima. U trećem poglavlju je na primjeru regulacije temperature prikazana praktična realizacija Interneta stvari sistema automatskog upravljanja. Na kraju rada su dati zaključci i buduća istraživanja.



Slika 1. Blok dijagram umreženog sistema upravljanja

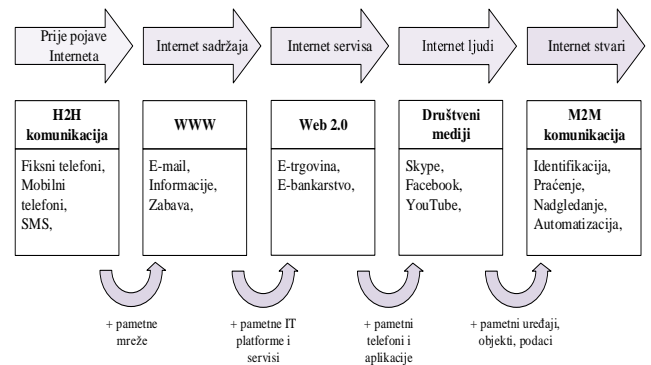
## II. SISTEMI AUTOMATSKOG UPRAVLJANJA I INTERNET STVARI

### A. Umreženi sistemi upravljanja

Umreženi sistemi upravljanja su sistemi automatskog upravljanja sa povratnog spregom kod kojih je povratna sprega zatvorena preko komunikacione mreže. Pojednostavljeni blok dijagram umreženog sistema upravljanja prikazan je na Sl. 1. Prenos i razmjena upravljačkih podataka između komponenti upravljačkog sistema preko komunikacione mreže su implementirani nizom komercijalnih komunikacionih protokola i protokola otvorenog kôda za žičani i bežični prenos podataka. Prisustvo komunikacione mreže u upravljačkim strukturama stvorilo je niz komunikacionih ograničenja, izraženih u obliku kašnjenja podataka, gubitka podataka, odbacivanja paketa podataka, ograničenja propusnog opsega i kvantizacije, koja su se našla na putu efikasnom upravljanju sistemima i koja su predmet brojnih istraživanja [10]. Njima se mogu pridodati i ograničenja koja proističu iz prirode komunikacionih protokola a odnose se na stepen determinizma i dozvoljene brzine prenosa podataka koji su podržani određenim protokolom. Navedena komunikaciona ograničenja utiču na ponašanje umreženih sistema upravljanja, tako što degradiraju njihove performanse i narušavaju njihovu stabilnost [11]. Razvoj komunikacionih tehnologija zabilježen posljednjih petnaestak godina veoma je uticao na razvoj umreženih sistema upravljanja dok je razvoj informacionih tehnologija i Interneta omogućio ovim sistemima da prikupljaju i obrađuju velike količine podataka, te da reaguju na fluktuacije u ponašanju objekta upravljanja sa bilo kog mjesta i u bilo kojem trenutku.

### B. Internet stvari

Internet stvari (*Internet of Things - IoT*) je pojam koji je prvi put upotrijebljen 1999. godine da označi fizičke objekte obilježene pomoću RFID tagova koji su za svoju identifikaciju koristili jedinstveni globalni identifikator [12]. Od tada do danas pojam Interneta stvari je mijenjao svoje značenje u zavisnosti od razvoja informacionih i komunikacionih tehnologija, te raznovrsnosti primjene u različitim aplikacijama i oblastima. Shodno tome, nastale su i nove kovanice kao što su: *Internet of Everything*, *Internet of Nano Things*, *Medical Internet of Things*, *Consumer Internet of Things*, *Industrial Internet of Things*, *Enterprise Internet of Things*, *Human Internet of Things*, *Narrow Band Internet of Things*, *Identity of Things*, *Future Internet*. Usko uz pojam Interneta stvari vezani su i pojmovi bežične senzorske mreže, sajber-fizički sistemi (*Cyber*



Slika 2. Evolucija Interneta stvari u zavisnosti od razvoja komunikacija, Interneta i informacionih tehnologija

*Physical Systems - CPS*) i M2M (*Machine-to-Machine*) komunikacija, koji ujedno predstavljaju tehnologije bez kojih IoT ne bi bilo moguće realizovati. Internet stvari je nastao kao logičan slijed razvoja komunikacija, Interneta i informacionih tehnologija [9], pri čemu svaka nova generacija komunikacija i servisa nastaje pojavom naprednijih, odnosno „pametnijih”, komunikacionih i računarskih mreža, servisa i uređaja, kako je prikazano na Sl. 2.

Pojam Interneta stvari se definiše na različite načine. Najčešće se citiraju definicije različitih tijela za standardizaciju kao što su ITU-T, IERC i ETSI ili uticajnih kompanija kakva je CISCO. U suštini, Internet stvari je koncept i paradigma koja razmatra sveopšte prisustvo stvari/objekata u određenoj sredini koji na osnovu jedinstvenih šema adresiranja i žičanih ili bežičnih veza stupaju u interakciju jedni sa drugima radi stvaranja novih aplikacija ili usluga koje doprinose dostizanju određenog cilja. Jednostavnije rečeno, Internet stvari je mreža fizičkih objekata (stvari) koje imaju svoj hardver, softver, senzore i mogućnost međusobnog povezivanja radi prikupljanja i obrade podataka [13].

IEEE je pokrenuo inicijativu vezanu za Internet stvari u okviru koje je opisao ovaj koncept sa stanovišta složenosti njegove implementacije [14]. Za manje složene sisteme Internet stvari se opisuje kao mreža koja povezuje stvari, koje imaju jedinstvenu identifikaciju, sa Internetom. Stvari imaju senzore/aktuatorne i potencijalno se mogu programirati. Korišćenjem jedinstvene identifikacije, prikupljanje informacija o stvarima se može obavljati, pratiti i mijenjati bilo kada, sa bilo kog mjesta i bilo čime. Za izrazito složene sisteme Internet stvari treba da ima adaptivnu i kompleksnu samokonfigurirajuću mrežnu infrastrukturu koja povezuje stvari sa Internetom upotrebom standardnih komunikacionih protokola. Ovako povezane stvari imaju svoju fizičku ili virtuelnu reprezentaciju u digitalnom svijetu, mogu se programirati, te se mogu jedinstveno identifikovati. Reprezentacija stvari sadrži različite informacije o njoj, uključujući identitet, status, lokaciju ili bilo koje druge relevantne poslovne, društvene ili privatne informacije. Stvari pružaju različite servise, sa ili bez ljudske intervencije, kroz prikupljanje podataka pomoću senzora, djelovanje na određene objekte pomoću aktuatora i komunikaciju. Servisi se eksploatišu putem inteligentnih interfejsa i može im se pristupati u svakom trenutku sa svakog mjesta.

U opštem slučaju, IoT sistem se sastoji od: hardvera, midlvera i aplikacija. Hardverski dio IoT sistema ima sljedeće komponente:

- senzore koji služe za prikupljanje podataka i njihovo konvertovanje u električni signal,
- procesorski čvor koji obrađuje podatke dobijene od senzora,
- aktuator koji na osnovu odluke koju donese procesorski čvor pobuđuje odgovarajući uređaj kako bi on obavio određeni zadatak,
- stvari/uređaje koje obavljaju određeni zadatak kada ih pobudi aktuator,
- komunikacioni modul.

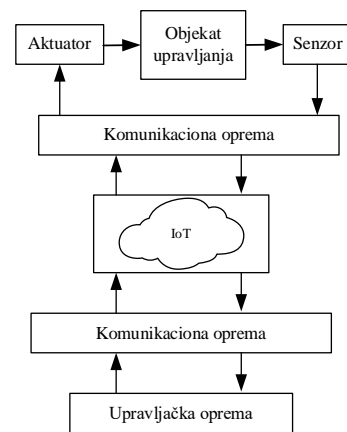
Midlver je softver koji služi kao interfejs između hardvera i korisničkih aplikacija i omogućava da oni međusobno komuniciraju. Midlverom se definišu IoT platforme. Aplikacije predstavljaju bilo koje aplikacije iz domena upotrebe IoT koncepta.

### C. Integracija umreženih sistema upravljanja i Interneta stvari

Kako se umreženi sistemi upravljanja, naročito oni industrijski, u opštem slučaju sastoje od velikog broja upravljačkih komponenti (senzora, regulatora, aktuatora) koje su povezane komunikacionom mrežom, tako su oni poslužili kao uzor za nastanak sistema u kojima su komunikacionom mrežom povezani ne samo senzori, aktuatori i regulatori nego i drugi elektronski sklopovi koji imaju mogućnost razmjene podataka. Umreženi sistemi upravljanja su svojom pojavom i svojim razvojem zapravo postavili temelje i dali smjernice za razvoj komunikacionih sistema koji su objedinjeni u konceptu Interneta stvari.

Odnos umreženih sistema upravljanja i Interneta stvari je uzajaman. Iako je razvoj umreženih sistema upravljanja bio osnova za nastanak koncepta Interneta stvari, danas je Internet stvari postao paradigma bez koje se ne mogu zamisliti mnogi savremeni umreženi sistemi upravljanja, a pogotovo oni budući koji treba da ispune zahtjeve četvrte industrijske revolucije. Pažnja u konceptu Interneta stvari je prevashodno usredsređena na bežične senzore, povezivanje stvari sa oblakom, analizu velike količine podataka i mobilne aplikacije. Međutim, viziju Interneta stvari je moguće proširiti na sisteme automatskog upravljanja, kako na one sa otvorenim tako i na one sa zatvorenim povratnom spregom. Očigledna je i analogija između komponenti umreženih sistema upravljanja i hardvera Interneta stvari. Naime, veza senzora i aktuatora ostvaruje se pomoću algoritama, postojanje ugrađenih mikroprocesora u stvarima omogućava obradu upravljačkih signala (stvar se ponaša kao regulator) a komunikacija se obavlja preko Interneta kao komunikacione mreže.

U upravljačkim aplikacijama koje koriste koncept Interneta stvari važnu ulogu imaju podaci i način njihove obrade i pohranjivanja. Podaci predstavljaju mjerne i upravljačke podatke, te podatke o samim stvarima koje su sastavni dio upravljačkog sistema. Broj senzora u ovakvim upravljačkim sistemima je veoma veliki, tako da je i količina podataka prisutnih u sistemima jako velika. Razvoj procesora visokih performansi i memorijskih jedinica velikog kapaciteta, te mjernih instrumenata visoke pouzdanosti i preciznosti doprinio je da se prikupljanje i obrada podataka u domenu Interneta stvari a onda i u domenu sistema upravljanja čiji su dio, obavljaju na veoma efikasan način. Osim mjernih i upravljačkih podataka, u umreženim sistemima upravljanja mogu da postoje i podaci dobijeni od različitih uređaja koji mogu biti sastavni dio upravljačkog sistema koji čine i onako velike količine podataka prisutne u sistemu još većim. Ovdje se prvenstveno misli na mobilne

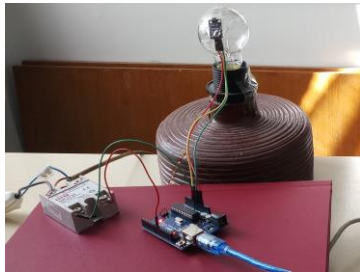


Slika 3. Internet stvari sistema automatskog upravljanja

uređaje za prikupljanje podataka, kamere, mikrofone, RFID čitače i slično. Sve stvari i uređaji iz domena Interneta stvari su povezani sa velikim bazama podataka preko nedeterminističkih komunikacionih mreža, najčešće Interneta, što komunikaciona ograničenja, koja postoje u umreženim sistemima upravljanja, čini još izraženijim. U ovom slučaju zahtjevi neophodni za kvalitetno upravljanje u realnom vremenu prevazilaze mogućnosti standardnih umreženih sistema upravljanja jer oni nisu u stanju da se nose sa velikom količinom podataka zbog svojih ograničenih komunikacionih i računarskih resursa. Zato se upotreba Interneta stvari u umreženim sistemima upravljanja nameće kao idealno rješenje za prevazilaženje navedenih problema. Dalja konvergencija Interneta stvari i upravljačkih sistema treba da ide u pravcu standardizacije komunikacionih protokola i reprezentacije i obrade velike količine podataka [15].

Integracijom Interneta stvari i sistema automatskog upravljanja nastao je novi oblik upravljanja nazvan Internet stvari sistema automatskog upravljanja (*Internet of Things Control Systems - IoTCS*) [8]. U suštini, radi se o umreženim sistemima upravljanja kod kojih je povratna sprega zatvorena preko Interneta stvari kao komunikacionog medijuma čiji je zadatak da poveže komponente upravljačkog sistema radi razmjene informacija u cilju zadovoljenja postavljenog upravljačkog zadatka. Komponente IoTCS sistema su pametni senzori, aktuatori, regulatori i druga upravljačka oprema, dok se upravljačke informacije odnose na očitavanja senzora, upravljačke komande, rezultate preduzetih upravljačkih komandi, upravljačke algoritme, ciljeve upravljanja, stanje opreme, i slično. Na Sl. 3 je prikazan blok dijagram IoTCS sa osnovnim hardverskim elementima:

- upravljačka oprema pod kojom se podrazumijevaju inteligentni agenti koji upravljaju sistemom i procesima u koje spadaju pametni regulatori, pametni računari, pametni upravljački softveri,
- komunikaciona oprema u koju spadaju personalni računari, mobilni telefoni, PDA uređaji i slično koja omogućava ovlaštenim licima da daljinski preko Interneta upravljaju upravljačkom opremom i nadgledaju rad iste, odnosno koja omogućava komunikaciju senzora i aktuatora sa infrastrukturom Interneta stvari,
- infrastruktura Interneta stvari bazirana na hardveru, žičanim i bežičnim komunikacionim mrežama i sistemima za obradu,



Slika 4. Eksperimentalna postavka sistema za regulaciju temperature

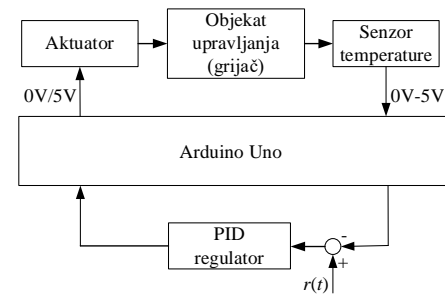
analizu i čuvanje upravljačkih i drugih informacija (oblak, baze podataka).

### III. INTERNET STVARI SISTEMA AUTOMATSKOG UPRAVLJANJA U REGULACIJI TEMPERATURE

Praktična realizacija vizije Interneta stvari zahtijeva razvoj novih IoT uređaja, platformi i tehnologija. Trenutno postoji veliki broj IoT platformi, kao što su Arduino, Raspberry Pi, BeagleBone i ESP8266, koje se mogu koristiti u različitim aplikacijama. Sa stanovišta sistema automatskog upravljanja poželjno je koristiti platforme koje su bazirane na mikrokontrolerima (npr. Arduino) a od posebnog značaja za projektovanje upravljačkih sistema koji koriste hardver Interneta stvari je činjenica da se u tu svrhu mogu koristiti softverski paketi koji se tradicionalno koriste za sintezu i analizu upravljačkih sistema. Tako je National Instruments razvio interfejs za ploče Arduino koji omogućava prikupljanje podataka sa Arduino ploča i njihovu obradu u grafičkom programskom okruženju LabVIEW [16], dok MathWorks podržava rad velikog broja Arduino ploča kroz softverske pakete za podršku Matlab-u i Simulink-u [17].

Za regulaciju temperature korišćena je sljedeća hardverska oprema: grijač, razvojna ploča Arduino Uno, senzor temperature i relej, Sl. 4. Radi jednostavnosti i vizuelne kontrole da li sistem ispravno radi, kao grijač je korišćena sijalica sa žarnom niti snage 40 W. Regulacija temperature se vrši pomoću PID regulatora implementiranog u Simulink-u. Ploča Arduino Uno obezbjeđuje napajanje senzora i očitava analogne vrijednosti temperature generisane na njegovom izlazu, te generiše digitalni signal koji uključuje i isključuje relej, odnosno sijalicu. Upravljačka logika koja određuje kada će relej da se prebaci iz jednog stanja u drugo implementirana je u Simulink-u. Na Sl. 5 prikazan je blok dijagram realizovanog sistema gdje se može primijetiti da ovaj sistem po svojoj konfiguraciji predstavlja IoTCS. Naime, povratna sprega je zatvorena preko ploče Arduino Uno kao hardvera Interneta stvari. Sa jedne strane ploča Arduino Uno je povezana sa objektom upravljanja a sa druge povezana je sa regulatorom. Na ovaj način je realizovan IoTCS baziran na principu umreženih sistema upravljanja u kojem je ekvivalent za komunikacionu mrežu ploča Arduino Uno.

Za mjerenje temperature korišćen je analogni senzorski modul KY-013 koji se sastoji od termistora sa negativnim temperaturnim koeficijentom i otpornika otpornosti 10 kΩ. Za određivanje temperature senzorskog modula u zavisnosti od otpornosti korišćena je Stajnhart-Hartova jednačina [18]



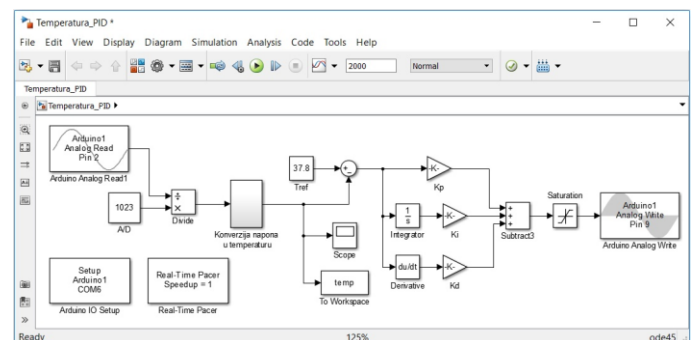
Slika 5. Princip rada IoTCS sistema za regulaciju temperature

$$T(R) = \frac{1}{C_1 + C_2 \ln R + C_3 \ln^3 R} \quad (1)$$

gdje je  $T(R)$  temperatura termistora izražena u kelvinima,  $R$  je otpornost termistora izražena u omima, a  $C_1$ ,  $C_2$  i  $C_3$  su koeficijenti čije su vrijednosti za otpornik otpornosti 10 kΩ sljedeće [18]:  $C_1=0,001125308852122$ ,  $C_2=0,000234711863267$  i  $C_3=0,000000085663516$ .

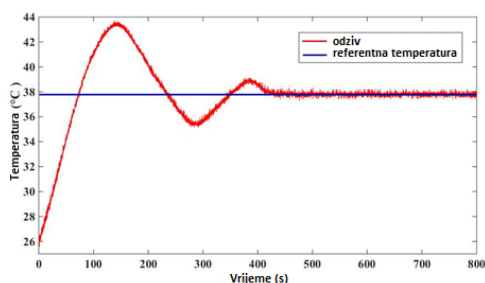
U eksperimentu je korišćen *solid state* relej SSR-25DA [19] čija je uloga da obavlja trenutno uključivanje i isključivanje grijača, čime se mijenja (reguliše) njegova temperatura. Ovaj relej je elektronski prekidač (sklopka) koji za male vrijednosti jednosmjernog ulaznog signala može da priključi ili isključi opterećenje velike snage na naizmjenično napajanje. Za potrebe eksperimenta korišćen je izvor naizmjenične struje koji dolazi iz gradske elektroenergetske mreže, a jednosmjerni signal se obezbjeđuje sa izlaza digitalnog pina D9 na ploči Arduino Uno.

Softverski dio sistema, prikazan na Sl. 6, je realizovan pomoću standardnih Simulink blokova i Simulink blokova koji su sastavni dio softverskog paketa *IO package* kojeg je razvio MathWorks kao podršku za komunikaciju između Arduino ploče i računara na kojem se izvršava Matlab. U bloku *Arduino IO Setup* definiše se komunikacioni port na koji je spojena Arduino ploča. Blok *Real-Time Pacer* omogućava snimanje odgovarajućih signala i praćenje toka eksperimenta u realnom vremenu. Za čitanje vrijednosti na analognim pinovima Arduino ploče služi blok *Arduino Analog Read*, dok blok *Arduino Digital Write* upisuje vrijednosti na digitalne pinove. U bloku *Arduino Analog Read* se podešava perioda odabiranja sistema čija odabrana vrijednost za primjer



Slika 6. Blok dijagram softverskog dijela eksperimenta za regulaciju temperature





Slika 7. Odziv termičkog procesa sa PID regulatorom

regulacije temperature iznosi  $T=0,1$  s. Temperatura se očitava preko bloka *Arduino Analog Read* sa pina A2 na ploči Arduino i srazmjerna je naponu na datom pinu. Kako ploča Arduino Uno ima desetobitni AD konvertor, to se analogne vrijednosti napona na pinu A2, u rasponu od 0 V do 5 V, konvertuju u vrijednosti od 0 do 1023. Nakon AD konverzije, obavlja se konverzija dobijenih vrijednosti u stepene celzijusa. U bloku *Step* podešena je jedinična odskočna funkcija sa kašnjenjem od 20 s. Kašnjenje je uvedeno iz razloga što je senzoru potrebno ostaviti dovoljno vremena da očitava temperaturu okoline prije nego se grijač uključi i počne da zagrijava.

Opisani sistem se može koristiti u brojnim aplikacijama. Ako se pretpostavi da se koristi u peradarstvu za inkubaciju kokošijih jaja, temperatura u inkubatorima treba da je konstantna i da iznosi 37,8 °C [18]. Održavanje temperature na ovoj vrijednosti treba da obezbijedi projektovani PID regulator. Upravljanje bilo kojim procesom pomoću PID regulatora ne smije biti naglo, nego postepeno. Pošto je princip rada prikazanog sistema baziran na trenutnom uključivanju i isključivanju objekta upravljanja, a na intenzitet svjetlosti sijalice se ne može uticati, postepena regulacija temperature se može postići ukoliko se za regulaciju koriste pinovi na Arduino ploči koji imaju mogućnost generisanja PWM signala. Postepena regulacija, odnosno postepena promjena izlaznog signala sistema, se postiže promjenom faktora popune ulaznog PWM signala, tj. procentom vremena za koji je sijalica uključena. U ovu svrhu koristi se blok *Arduino Analog Write* koji sa svog ulaza uzima vrijednosti iz opsega od 0 do 255 i šalje naredbu Arduino ploči da ove vrijednosti postavi kao izlaz na odgovarajućem pinu u obliku PWM signala. Tako, ukoliko je očitana vrijednost na ulazu ovog bloka 0 znači da je faktor popune 0%, a ako je 255 znači da je on 100%. Ovaj blok je povezan sa digitalnim pinom D9 na ploči Arduino. Blok *Saturation* služi da se vrijednosti izlaza iz regulatora drže u odgovarajućim granicama.

Eksperimentalnim testiranjem rada sistema za regulaciju temperature dobijen je odskočni odziv termičkog procesa prikazan na Sl. 7, sa referentnom temperaturom od 37,8 °C i vrijednostima parametara PID regulatora  $K_p=5$ ,  $K_i=0.2$  i  $K_d=4$ . Uočava se da je preskok 15%, vrijeme uspona 150 s i vrijeme smirenja 450 s.

#### IV. ZAKLJUČAK

Istraživanja u oblasti umreženih sistema upravljanja potpomogla su u znatnoj mjeri razvoj koncepta Interneta stvari, omogućavajući stvaranje potpuno interaktivnog mrežnog okruženja u kojem je moguće postići željeno ponašanje sistema. U radu su razmatrani umreženi sistemi upravljanja i koncept Interneta stvari, kao i mogućnosti njihove integracije u jedinstvenu cjelinu. Po konceptu

Interneta stvari sistema automatskog upravljanja, koji kombinuje funkcionalnosti umreženih sistema upravljanja i Interneta stvari, realizovan je sistem za regulaciju temperature. U Simulink-u je projektovan PID regulator koji služi za regulaciju temperature čime je pokazano da se softverski paketi koji se tradicionalno koriste za sintezu i analizu upravljačkih sistema mogu koristiti za sintezu i analizu upravljačkih sistema baziranih na hardveru Interneta stvari. Dalja istraživanja će biti bazirana na proširenju funkcionalnosti realizovanog sistema sa ciljem daljnje regulacije temperature pomoću nekih od komunikacionih mrežnih tehnologija za žičani i bežični prenos podataka koji se koriste u konceptu Interneta stvari.

#### LITERATURA

- [1] M. Beindha, J. K. Mendiratta, *Networked Control Systems- A Survey*, I. J. Modern Education and Computer Science, 2013, 6, 42-48, doi: 10.5815/ijmecs.2013.06.06J. Clerk Maxwell, *A Treatise on Electricity and Magnetism*, 3rd ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892, pp.68–73.
- [2] R. A. Gupta, M. Y. Chow, *Overview of Networked Control Systems*, *Networked Control Systems theory and Applications*, pp.1-23, 2008.
- [3] N. Popović and M. Naumović, "Behaviour of time-delayed networked control systems," 2018 17th International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH), East Sarajevo, 2018, pp. 1-6, doi: 10.1109/INFOTEH.2018.8345526.
- [4] Y. N. Zhao, X. M. Sun, J. Zhang, P. Shi, *Networked Control Systems: The Communication Basics and Control Methodologies*, *Mathematical Problems in Engineering*, Hindawi Publishing Corporation, Vol. 2015, doi: <http://dx.doi.org/10.1155/2015/639793>
- [5] Y. Xia, Y. Gao, L. Yan, M. Fu, *Recent Progress in Networked Control Systems – A Survey*, *International Journal of Automation and Computing* 12 (4), pp. 343-367, August 2015
- [6] Y. Xia, *Cloud Control Systems*, *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, 2(2), pp. 134-142, April 2015
- [7] B. Kehoe, S. Patil, P. Abbeel, K. Goldberg, *A Survey of Research on Cloud Robotics and Automation*, *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, Vol. 12, No. 2, pp. 398-409, April 2015
- [8] Zou Y., L. Jiezhao, *Information Security Transmission Technology in Internet of Things Control System*, *iJOE - Vol. 14, No. 6*, 2018, <https://doi.org/10.3991/ijoe.v14i06.8707>
- [9] Hui Yang ORCID Icon, Soundar Kumara, Satish T.S. Bukkapatnam ORCID Icon & Fugee Tsung *The internet of things for smart manufacturing: A review*, Pages 1190-1216 Received 11 Nov 2017, Accepted 30 Nov 2018, Accepted author version posted online: 15 Jan 2019, Published online: 15 May 2019, <https://doi.org/10.1080/24725854.2018.1555383>
- [10] Y. N. Zhao, X. M. Sun, J. Zhang, P. Shi, *Networked Control Systems: The Communication Basics and Control Methodologies*, *Mathematical Problems in Engineering*, Hindawi Publishing Corporation, Vol. 2015, doi: <http://dx.doi.org/10.1155/2015/639793>
- [11] A. Khalil, J. Wang, *Stability and Time Delay Tolerance Analysis Approach for Networked Control Systems*, *Mathematical Problems in Engineering*, Hindawi Publishing Corporation, Vol. 2015, doi: <http://dx.doi.org/10.1155/2015/812070>
- [12] Xu L. D.; He W.; Li S., *Internet of Things in Industries: A Survey*. *IEEE Trans. on Ind. Inf.*, 2014, 10, 4, 2233 – 2243.
- [13] S. Stankovski, G. Ostojić, X. Zhang, I. Baranovski, S. Tegeltija, S. Horvat, *Mechatronics, Identification Tehnology, Industry 4.0 and Education*, 18th International Symposium. INFOTEH, 20-22, March 2019
- [14] Minerva R., Biru A., and Rotondi D. (2015). *Towards a definition of the Internet of things*. [http://iot.ieee.org/images/files/pdf/IEEE\\_IoT\\_Towards\\_Definition](http://iot.ieee.org/images/files/pdf/IEEE_IoT_Towards_Definition)
- [15] Harjunkoski, I. (2017). *Future of control and operations in the era of industrial internet of things*. 27th European Symposium on Computer Aided Process Engineering, 2275–2280.

- [16] NI LabVIEW Arduino,  
[http://www.ni.com/gate/gb/GB\\_EVALTLKTLVARDIO/US](http://www.ni.com/gate/gb/GB_EVALTLKTLVARDIO/US)
- [17] MathWorks hardware-support for Arduino,  
<https://www.mathworks.com/hardware-support/arduino-matlab.html>
- [18] Skyeinstruments,  
<https://www.skyeinstruments.com/wp-content/uploads/Steinhart-Hart-Eqn-for-10k-Thermistors.pdf>
- [19] SSR-25DA,  
<https://datasheetspdf.com/pdf-file/789331/Fotek/SSR-25DA/1>
- [20] Boleli I.C., Morita V.S., Matos J.B. Jr, Thimotheo M., Poultry Egg Incubation: Integrating and Optimizing Production Efficiency, Brazilian Journal of Poultry Science, Special Issue 2 Incubation / 001-016, ISSN 1516-635X Oct - Dec 2016, <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9061-2016-0292>

ABSTRACT

This paper describes a new form of control systems, characterized as the Internet of Things control systems (IoTCS), which is based on principles of networked control systems and the concept of the Internet of Things. On the example of temperature control, it is shown that the concept of IoTCS can be practically realized using the Internet of Things hardware. Implemented IoTCS is based on the networked control system in which the equivalent to a communication network is Arduino Uno. Temperature control is obtained by PID controller designed with Matlab Simulink, what demonstrates that software packages traditionally used for the synthesis and analysis of control systems can be efficiently used for the synthesis and analysis of control systems based on Internet of Things hardware.

**INTERNET OF THINGS CONTROL SYSTEMS**  
Nataša Popović, Milica Naumović