

Upravljanje u oblaku – savremeni izazov u sistemima automatskog upravljanja

Nataša Popović

Odsjek za automatiku i elektroniku
Elektrotehnički fakultet
Istočno Sarajevo, Bosna i Hercegovina
natasa.popovic@etf.unssa.rs.ba

Milica Naumović

Katedra za automatiku
Elektronski fakultet
Niš, Srbija
milica.naumovic@elfak.ni.ac.rs

Sadržaj — U radu je dat kratak pregled razvoja upravljačkih tehnika koje su korišćene u dosadašnjim upravljačkim sistemima baziranim na povratnoj sprezi. Opisani su savremeni trendovi u upravljanju sa osvrtom na umrežene upravljačke sisteme i navedene su osnovne pretpostavke za realizaciju novog koncepta u upravljanju sistemima – upravljanja u oblaku.

Ključne riječi - upravljanje, upravljanje u oblaku, Cloud računarstvo

I. UVOD

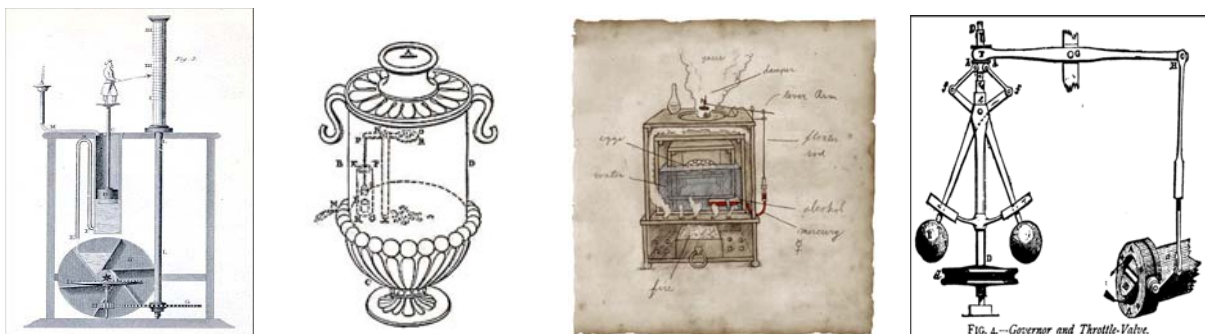
Ljudi su od davnina pokušavali da upravljaju sistemima i procesima koji su im bili poznati i da iste automatizuju. Primjeri toga nalaze se još u antičkom periodu i srednjem vijeku. Ovi sistemi su nastajali posmatranjem prirodnih pojava i procesa na osnovu kojih su naučnici toga doba donosili određene zaključke i koristili ih u svojim izumima. Ono što oni tada nisu bili u mogućnosti jeste da matematički opišu takve sisteme, ali i pored toga oni su odlično funkcionisali i služili svrsi duge vremenske periode. U posljednjih stotinjak godina razvijen je matematički aparat koji je omogućio da se i najsloženiji sistemi matematički opišu i da se definišu opšte smjernice za analizu i sintezu upravljačkih sistema. Interesntno je da su klasični upravljački sistemi bazirani upravo na ovima iz antičkog doba.

Uporedo sa razvojem upravljačkih strategija razvijale su se i druge tehnologije, prvo komunikacione a onda računarske. Ovo je dovelo do toga da je savremeno upravljanje vremenom postalo multidisciplinarna oblast, koju je danas moguće okarakterisati kao 3C (*computing, communications, control*), u kojoj su sve tri komponente (računarstvo, komunikacije i upravljanje) čvrsto spregnute i prožimaju se međusobno. Upravljanje danas se ne može zamisliti bez računara i računarske tehnike te komunikacionih tehnologija, žičanih i bežičnih mreža za prenos podataka.

Rad je organizovan na sljedeći način: u poglavlju II dat je kratak pregled tehnika upravljanja od antičkog doba do danas; u poglavlju III opisan je koncept mrežnog upravljanja; poglavlje IV opisuje princip upravljanja u oblaku. Na kraju su predstavljeni neki zaključci rada.

II. UPRAVLJANJE OD ANTIČKOG DOBA DO DANAS

Jedan od najranijih primjera upravljanja je upravljanje vodenim satom, klepsidrom, koji je realizovao Ktesibije Aleksandrijski u trećem vijeku prije nove ere [1]. Njegov rad je bio baziran na korišćenju povratne sprege, mjerio je vrijeme regulišući nivo vode u posudi, odnosno protok vode koja izlazi iz nje, Slika 1. Ovaj sat je bio u upotrebi kao najpreciznija sprava za mjerenje vremena sve do sedamnaestog vijeka kada



Slika 1. Ktesibijeva klepsidra [1], Heronov automat za sipanje vode [2], Drebelova peć sa termostatom [4] i Vatov regulator [6]

je Kristijan Hajgens izumio sat sa klatnom. Otprilike tri vijeka nakon Ktesibija Aleksandrijskog Heron je u svojoj raspravi "Pneumatika" opisao čitav niz mehaničkih sprava čiji je rad bio zasnovan na korišćenju vazduha, vodene pare i vodenog pritiska, a posebno su interesantni automat za sipanje fiksne količine osveštane vode koji je radio na principu ubacivanja novčića (Slika 1) i pozorište lutaka koje bilo automatizovano da samostalno radi dvadesetak minuta [2]. Slični primjeri iz antičkog doba se susreću i u Kini, Indiji, Arabiji, itd.

Veliki broj automatizovanih uređaja je korišćen u srednjem vijeku za zabavu (npr. figurice koje same plešu), a njihov princip rada je uglavnom bio baziran na otvorenoj sprezi. Tu se mogu uvrstiti i izumi Leonarda da Vinčija, kao što je npr. robot koji je mogao da sjedi, maše rukama, pomjera glavu i otvara i zatvara vilicu [3].

U sedamnaestom vijeku se bilježi pojava regulatora temperature [4]. Ovaj termostat, prikazan na slici 1, je izumio Kornelijus Drebel da bi održavao konstantnom temperaturu u peći koju je konstruisao, a za regulaciju je koristio povratnu spregu. Nakon ovoga, u osamnaestom vijeku, Džejsms Vat je usavršavajući parnu pumpu Tomasa Njukomena konstruisao centrifugalni regulator broja obrtaja (Slika 1) koji će koristiti u svojoj parnoj mašini [5]-[7]. Ovakva parna mašina se smatra prvim upravljačkim sistemom sa povratnom spregom koji je korišćen u industriji, a njeno otkriće označilo je pojavu prve industrijske revolucije.

Krajem devetnaestog i početkom dvadesetog vijeka upravljanje procesima u povratnoj sprezi se uglavnom odnosilo na regulaciju temperature, pritiska, nivoa tečnosti, brzine rotacionih mašina, napona, struje, frekvencije [6], [7]. Razvoj vojne industrije, brodogradnje, saobraćaja i sl. usloveli

su da se intenzivira rad na upravljanju složenim hidrauličnim, pneumatskim i parnim sistemima. Iz ovog perioda datiraju prvi servomotori, relejna tehnika, žiroskopi, PID regulatori i dr. ali nije postojala teorijska osnova koja bi dala opšte smjernice za analizu i sintezu upravljačkih sistema. Početak dvadesetog vijeka je označen kao početak druge industrijske revolucije, kada se u masovnoj proizvodnji koristi električna energija.

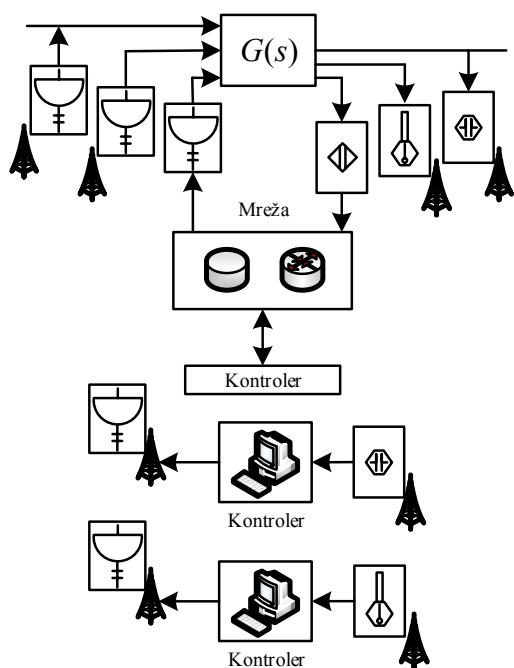
Od tridesetih godina dvadesetog vijeka kreće tzv. klasični period u upravljanju [5], [6]. Najznačajnija pojava tog perioda je Nikvistov rad u kome on iznosi principe negativne povratne sprege koji se mogu primijeniti na praktično svaki sistem. U njegovim i radovima Bodea, Nikolsa, Teodorčika, Ivensa i dr. postavljeni su čvrsti temelji analize i sinteze dinamičkih sistema u vremenskom i frekvencijskom domenu, te su predložene razne metode za analizu stabilnosti sistema sa povratnom spregom.

Pedesete godine dvadesetog vijeka uzimaju se kao period nastanka digitalnog upravljanja [7]. Razvoj digitalnih računara omogućio je da se računari koriste u upravljanju sistemima, pogotovo onim složenijim. Prvi takvi sistemi su koristili računare samo za nadgledanje rada sistema dok je upravljanje realizovano na klasičan način. Krajem šezdesetih godina dizajnirani su specijalizovani računari u kojima su implementirani diskretni upravljački algoritmi, ali su oni bili jako skupi. Sedamdesetih godina zamijenili su ih mikrokompjuteri. U ovom periodu javljaju se i prvi programibilni logički kontroleri, a u komunikacijama se razvija Ethernet tehnologija što je zajedno nagovijestilo pojavu mrežnih upravljačkih sistema. Sedamdesete godine su označile treću industrijsku revoluciju u kojoj je proizvodnja automatizovana širokom upotrebom elektronike i elektronskih uređaja.

III. UMREŽENI UPRAVLJAČKI SISTEMI

Jedan od osnovnih principa upravljanja, koji je prisutan od davnina, je upravljanje u povratnoj sprezi u kome se signali sa izlaza sistema vode na ulaz. Složeniji sistemi (npr. rafinerije, elektrane, hemijska postrojenja,...) imaju veći broj komponenti (aktuatora i senzora) obično raspoređenih na više lokacija. Sistemi rade na principu da se informacije koje daju senzori vode do centralne jedinice gdje se obrađuju i gdje se na osnovu njih generiše upravljački signal koji se na objekat upravljanja šalje preko aktuatora. Ovakav način centralizovanog upravljanja koristi se decenijama unazad i daje odlične rezultate u pogledu brzine i pouzdanosti rada sistema, ali vrlo često iziskuje skupu opremu i velike troškove održavnja.

Da bi se ovi problemi u određenoj mjeri izbjegli, još osamdesetih godina prošlog vijeka javila se ideja da se aktuatori, senzori, kontroleri i objekti upravljanja povežu preko mreže (Slika 2), odnosno da se upravljačka petlja zatvori preko komunikacionog kanala [8]-[11]. Ovakvo projektovani upravljački sistemi su nazvani umreženi upravljački sistemi (*Networked Control Systems - NCS*). U



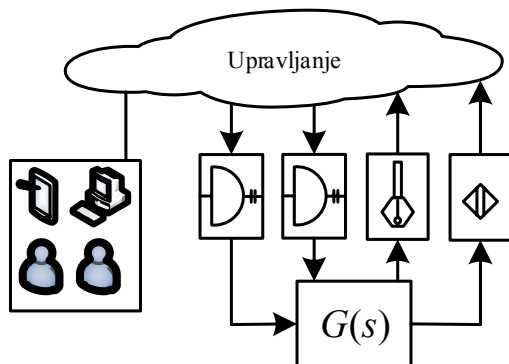
Slika 2. Koncept mrežnog upravljanja

ovom periodu različiti proizvođači su za svoje umrežene industrijske sisteme, koji su međusobno bili nekompatibilni, razvijali različite komunikacione protokole (*Profibus*, *Fieldbus*, *DeviceNet*, ...) [9], što je u velikoj mjeri ograničavalo njihovu upotrebu. Osim toga, oprema i softver su bili skupi i nedostižni velikom broju potencijalnih korisnika. Ethernet tehnologija, koja je standardizovana osamdesetih godina, pružila je mogućnost za prevazilaženje ovih problema. Devedesetih godina se javlja *World Wide Web* tehnologija koja je omogućila upotrebu HTTP protokola, odnosno Interneta u komunikaciji umreženih uređaja. Kako se i ovdje radi o standardizovanoj tehnologiji, prihvaćena je i u upravljanju sistemima, a pružila je dodatne mogućnosti za daljinsko upravljanje sistemima putem Internet pretraživača.

Mrežnim načinom upravljanja sistemi su postali fleksibilniji, lako su se mogli rekonfigurirati i adaptirati za različite potrebe. Do danas su tehnike upravljanja preko mreže uspješno implementirane u mnogim sistemima kao što su [11]: transportni, elektroenergetski, vodovodni, finansijski, genetički i slično. U posljednjih desetak godina se intenzivno radi i na razvoju bežičnih umreženih upravljačkih sistema (*wireless networked control systems*) čime se postižu još jednostavniji pristup i upravljanje istim.

Posljednjih godina je zabilježen razvoj novih koncepata mrežnog upravljanja koji je uslovljen brzim razvojem interneta stvari (*Internet of Things - IOT*). Objekti i uređaji koji čine IOT su povezani sa velikim bazama podataka preko mreže (Interneta). Internet stvari podrazumijeva prikupljanje, čuvanje i obradu velikog broja podataka dobijenih od senzora koji detektuju promjene u fizičkom statusu objekata. Tako, upravljački sistemi u kojima se koristi koncept interneta stvari treba da operišu sa velikom količinom podataka koje dobijaju od raznih uređaja (kamera, mikrofona, RFID čitača, senzorskih uređaja, i sl.). Pri tome se za adekvatno upravljanje u realnom vremenu često prevazilaze mogućnosti dosadašnjih mrežnih upravljačkih tehnika i topologija.

Upravljanje preko mreže ima osim svojih dobrih strana i niz nedostataka. Kako se podaci i upravljački signali prenose preko mreže, često dolazi do gubitka podataka, a vremenska kašnjenja u prenosu, ograničen propusni opseg, neadekvatna sinhronizacija i drugi nepredvidivi faktori utiču na performanse čitavog sistema i obično dovode do njegove



Slika 3. Upravljanje u oblaku

nestabilnosti. Zato se stalno traga za novim tehnikama upravljanja koje će doprinijeti prevazilaženju ovih problema. Tako je predložen novi upravljački koncept – upravljanje u oblaku.

IV. CLOUD UPRAVLJAČKI SISTEMI

Pojam upravljački sistemi u oblaku (*Cloud Control Systems*) se koristi za opis novog koncepta upravljanja sistemima koji je baziran na tehnologiji računarstva u oblaku (*Cloud Computing*) i naprednih tehnika mrežnog upravljanja sistemima [12].

A. Računarstvo u oblaku

Cloud računarstvo se intenzivno razvija od 2006. godine i predstavlja tehnologiju u kojoj se preko mreže (obično Interneta) pristupa resursima koji su smješteni na udaljenim serverima [13]. Praktično, *cloud* sistem predstavlja djeljivi izvor resursa u koji spadaju softveri, baze podataka, hardver i mnoge usluge (proračuni, pristup podacima, itd.) pri čemu krajnji korisnici ne moraju da znaju tačnu fizičku lokaciju i konfiguraciju davaoca resursa (usluga). Zavisno od potrebe korisnika, oblaci mogu biti privatni (dostupni samo određenom korisniku i obično locirani unutar mreže jedne organizacije), javni (dostupni svim korisnicima i pristupa im se putem Interneta) i hibridni (kombinacija privatnih i javnih). Usluge koje pružaju oblaci su:

1. softver kao usluga (*Software as a Service - SaaS*) – korisnik koristi aplikacije koje su dostupne u infrastrukturi oblaka; primjer toga su Google Apps i Dropbox.
2. platforma kao usluga (*Platform as a Service - PaaS*) – korisnik razvija, testira i distribuira svoje aplikacije koje se pokreću u oblaku na platformama koje obezbjeđuju operativne sisteme, razvojno okruženje i softverske pakete, npr. Google App Engine, Microsoft Azure,
3. infrastruktura kao usluga (*Infrastructure as a Service - IaaS*) – korisniku se pruža mogućnost korišćenja računarske infrastrukture smještene u oblaku koja se sastoji od servera, mrežne infrastrukture, baza podataka, npr. Amazon Web Services i Rackspace Cloud.

B. Upravljanje u oblaku

Pojam *big data* koji se često spominje u savremenom računarstvu je prisutan i u *cloud* upravljačkim sistemima. Naime, pojam se odnosi na veliku količinu podataka koja je toliko obimna i složena da ju je gotovo nemoguće obraditi postojećim alatima. U *cloud* upravljačkim sistemima ovakvi podaci se dobijaju od mnogobrojnih senzora, kamera, RFID čitača, a tu spadaju i razni softverski zapisi. Ideja je da se ovi podaci nakon prikupljanja šalju na obradu u oblak i da se upravljački signali koji se pri toj obradi generišu šalju aktuatoru i dalje na objekat upravljanja, Sl. 3.

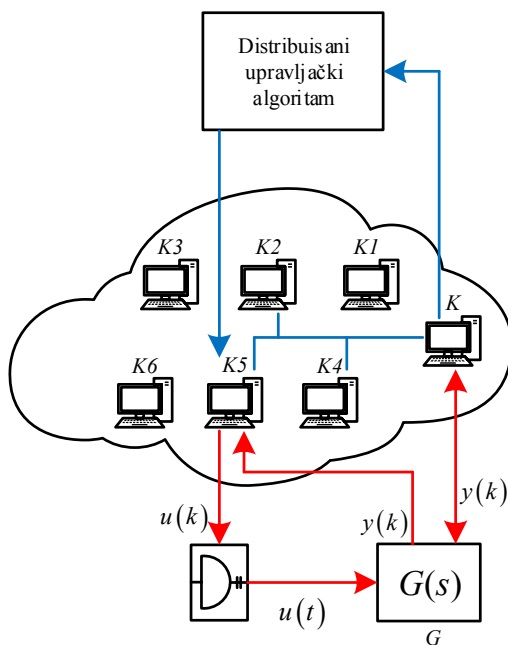
Objekat upravljanja može biti bilo kog tipa, ali se može pretpostaviti da se radi o diskretnom objektu [12]. Uopšteno, dati sistem se može opisati jednačinama

$$\begin{aligned} x(k+1) &= f(x(k), u(k), w(k)) \\ y(k) &= g(x(k), u(k), v(k)) \end{aligned} \quad (1)$$

gdje su $x(k)$ promjenljive stanja sistema, $u(k)$ su ulazne promjenljive, $y(k)$ je izlaz sistema, $w(k)$ i $v(k)$ su poremećaj i mjerni šum respektivno, pri čemu funkcije $f(x(k), u(k), w(k))$ i $g(x(k), u(k), v(k))$ mogu biti lineare ili nelinearne.

U suštini, upravljački sistemi u oblaku imaju svoj ekvivalent u mrežnim upravljačkim sistemima. Mreža preko koje se prenose signali (dobijeni od senzora i prosljeđeni kontroleru i upravljački generisani u kontroleru i prosljeđeni aktuatorima) odgovara oblaku. Razlika je u tome što oblak može da služi i za generisanje upravljačkih signala a ne samo da pruži infrastrukturu (mrežnu i računarsku). To dalje znači da se neki principi mrežnog upravljanja mogu iskoristiti pri projektovanju sistema upravljanja u oblaku, što je posebno korisno sa stanovišta stabilnosti sistema. U *cloud* upravljačkom sistemu objekat upravljanja i kontroleri se posmatraju kao mrežni čvorovi koji su sposobni da obave određene zadatke i izvrše određene akcije. Osnovne pretpostavke koje se odnose na ove čvorove su [12]:

1. Svi čvorovi međusobno komuniciraju na principu emisija-svima na nivou veze ISO-OSI referentnog modela,
2. Svi čvorovi u oblaku su dovoljno inteligentni da obave upravljački zadatak, svi mogu podjednako dobro da izvrše proračune a kapaciteti čvorova za izračunavanje nisu unaprijed određeni,
3. Prenos podataka preko mreže nije idealan, mogu se javiti vremenska kašnjenja i gubici paketa podataka,
4. Svaki čvor generiše statistiku vremenskih kašnjenja i gubitaka paketa pri komunikaciji između njega i ostalih čvorova,
5. Objekat upravljanja (zajedno sa sensorima) je lociran u čvoru G . Upravljački zadatak u oblaku inicira



Slika 4. Blok-šema upravljanja u oblaku

kontroler lociran u čvoru K koji ujedno i nadgleda izvršavanje upravljačkog zadatka.

Upravljanje je moguće realizovati u dvije faze. Prva faza je inicijalna i u njoj se sistem ponaša kao klasični mrežni sistem (NCS). Kontroler K prima izlazne signale iz objekta upravljanja i generiše skup promjenljivih shodno upravljačkom algoritmu (npr. prediktivnom algoritmu za koji je pokazano da je efikasan u sistemima gdje postoje kašnjenja i gubici podataka [11], [12]). Mrežna kašnjenja su kompenzovana kompenzatorom koji je sastavni dio čvora objekta upravljanja. Nakon ove faze, sistem prelazi na fazu upravljanja u oblaku, Sl. 4. Čvor K počinje da emituje zahtjev preko unaprijed dodijeljene frekvencije. Svi ostali čvorovi koji pripadaju domenu u kome je čvor K upravljački ($K1, \dots, K6$) primaju ovaj zahtjev. Zahtjev treba da sadrži sljedeće informacije: IP adresu objekta upravljanja, upravljački algoritam i njemu odgovarajuće parametre, matematički model objekta upravljanja, složenost proračuna koje čvor treba da izvede, i slično. Treba naglasiti da iako je K upravljački čvor, on ne mora da obavlja nikakve proračune niti da primjenjuje upravljački algoritam ukoliko postoji drugi čvor u domenu koji ima bolje performanse da obavi isti zadatak. Kada se takvi čvorovi identifikuju (npr. $K2, K4$ i $K5$), oni šalju potvrdu čvoru K koja uključuje informacije o mrežnom kašnjenju i statistiku o broju odbačenih paketa pri komunikaciji svakog identifikovanog čvora posebno i čvora G , kao i raspoložive mogućnosti čvora da izvrši neophodne proračune.

Na osnovu statistika koje je dobio u potvrđama, čvor K obavlja procjenu superiornosti svakog čvora posebno u odnosu na ostale čvorove u domenu. Čvor K formira listu potencijalnih čvorova, uključujući i samog sebe, i na osnovu nje određuje kojim čvorovima se može dodijeliti upravljački zadatak. Čvorovi čija je superiornost mala se ignorišu. Ukoliko nijedan čvor iz domena nema superiornost veću od superiornosti čvora K , upravljački zadatak preuzima čvor K . Odabirom superiornih čvorova praktično se biraju kontroleri koji će obaviti upravljački zadatak u oblaku.

Kada se potvrde čvorovi – kontroleri u oblaku, čvor K njima šalje upravljačke podatke koji sadrže matematički model objekta upravljanja, estimirane vrijednosti promjenljivih stanja objekta upravljanja $\hat{x}_0, \hat{x}_1, \dots, \hat{x}_i$ i ulazne promjenljive u_0, u_1, \dots, u_i u trenutku slanja upravljačkih podataka kao i parametre kontrolera. Istovremeno, čvor K šalje kopiju liste izabranih upravljačkih čvorova – kontrolera čvoru G kako bi on mogao da komunicira direktno sa njima. Kada G primi ovu listu on upravljačkim čvorovima u oblaku šalje vrijednosti trenutnih senzorskih očitavanja kao i vrijednosti očitavanja obavljenih ranije. U trenutku kada neki od kontrolera primi upravljačke podatke od K i očitavanja od G , on ih primjenjuje na upravljački algoritam i u obliku paketa podataka šalje rezultate proračuna objektu upravljanja G preko aktuatora.

Da bi upravljački sistem u oblaku funkcionisao kako treba, svi aktivni upravljački čvorovi treba da šalju povratne informacije čvoru K u unaprijed određenim trenucima. Ako čvor K ne primi informaciju u dogovorenom trenutku od nekog od čvorova, on taj čvor briše sa liste i na njegovo

mjesto stavlja prvog sa liste neaktivnih čvorova. Istovremeno, i čvor G dobija obavještenje o ovoj promjeni. Inače, čvor G može da prima pakete sa proračunatim vrijednostima upravljačkih promjenljivih od većeg broja aktivnih kontrolera. U tom slučaju kompenzator, koji je sastavni dio čvora G , bira one koji su posljednji stigli i njih koristi kao ulaze u objekat.

Na slici 4 su $K2$, $K4$ i $K5$ prikazani kao upravljački čvorovi, pri čemu je $K5$ trenutno aktivni čvor.

Osim ovog vida upravljanja u oblaku predlaže se i kooperativni način upravljanja u oblaku. Ideja je da više aktivnih čvorova – kontrolera u oblaku izvršava upravljački zadatak istovremeno. Drugim riječima, svaki od aktivnih čvorova dobija dio upravljačkog zadatka koji treba da obavi shodno svojim trenutnim kapacitetima. U unaprijed određenim trenucima svi aktivni čvorovi (npr. $K2$, $K4$ i $K5$) šalju podatke proračuna čvoru K , on ih objedinjuje u upravljački signal i takav šalje objektu upravljanja G . Ovdje čvor K provjerava i raspoloživost drugih potencijalnih čvorova (dobijenih procjenom superiornosti) kako bi oni mogli adekvatno preuzeti dio upravljačkog zadatka od nekog drugog aktivnog čvora – kontrolera ukoliko mu superiornost opadne.

V. ZAKLJUČAK

Kako je upravljanje u oblaku relativno mlad koncept, do danas je zabilježen određen ne veliki broj praktično realizovanih rješenja iz oblasti automatike i robotike, dok se sve veća pažnja posvećuje razvoju teorijske osnove koja će se primjenjivati u budućnosti, posebno kada se radi o industrijskim sistemima. Tako, na primjer, projekat *RoboEarth* [18] nudi infrastrukturu sa svim neophodnim elementima koji omogućavaju zatvaranje povratne sprege u upravljanju robotima preko oblaka, dok *RoboEarth Cloud Engine* omogućava obavljanje raznih proračuna u oblaku. U projektu Arduino [19] je razvijena open source platforma koja se može koristiti u robotskim i drugim sistemima za upravljanje preko oblaka. Projekat WOAS (*Web-Oriented Automation System*) [20] je pokrenut sa ciljem istraživanja mogućnosti primjene *cloud* tehnologije u industrijskoj automatizaciji. Još primjera se može naći u [14]-[17].

Iako je ideja o korišćenju računarstva u oblaku u upravljačkim sistemima interesantna i već su ponuđena neka rješenja koja na njoj počivaju, ostaju da se istraže i riješe problemi vezani za: sigurnost (autentikacija, privatnost, povjerljivost podataka, napadi i upadi u sistem), obradu i prenos podataka tipa *big data*, kašnjenja u prenosu podataka pri komunikaciji sa oblakom, kašnjenja nastala pri obradi podataka ili obavljanju proračuna u oblaku, i sl. Sve ovo u najvećoj mjeri utiče na stabilnost *cloud* upravljačkih sistema, kao i na efikasno upravljanje u realnom vremenu.

Ovaj rad predstavlja početak istraživanja autora u oblasti upravljačkih sistema u oblaku. U budućim radovima je planirano da se na praktičan način, na realnim sistemima dostupnim u laboratoriji za Digitalne sisteme Elektrotehničkog

fakulteta Univerziteta u Istočnom Sarajevu, istraži mogućnost primjene koncepta upravljanja u oblaku.

LITERATURA

- [1] <https://en.wikipedia.org/wiki/Ctesibius>
- [2] https://en.wikipedia.org/wiki/Hero_of_Alexandria
- [3] https://en.wikipedia.org/wiki/Leonardo_da_Vinci
- [4] S. Ashley, A Renaissance Alchemist Pioneers Feedback Control, April 2014, Available: <http://nautil.us/issue/12/feedback/the-vulgar-mechanic-and-his-magical-oven>
- [5] C. C. Bissell, A History of Automatic Control, Springer Handbook of Automation, 2009, Available: <http://www.springer.com/978-3-540-78830-0>
- [6] S. Bennett, A Brief History of Automatic Control, IEEE Control Systems, pp. 17-22, June 1996
- [7] E. Hayden, M. Assante, T. Conway, An Abbreviated History of Automation and Industrial Controls System and Cybersecurity, SANS Institute, August 2014
- [8] P. V. Zhivoglyadov, R. H. Middleton, Networked Control Design for Linear Systems, Automatica 39, pp. 743-750, Elsevier Science Ltd. 2003
- [9] Y. Tipsuwan, M. Chow, Control Methodologies in Networked Control Systems, Control Engineering Practice 11 pp. 1099-1111, Elsevier Ltd. 2003
- [10] J. Baillieul, P. J. Antsaklis, Control and Communication Challenges in Networked Real-Time Systems, Special Issue of the Proceedings of the IEEE, Vol. 95, No 1, January 2007
- [11] 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
- [12] Y. Xia, Cloud Control Systems, IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica, 2(2), pp. 134-142, April 2015
- [13] Cloud Computing, Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Cloud_computing
- [14] 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
- [15] D. Hallmans, Challenges and Opportunities When Introducing Cloud Computing into Embedded Systems, Paper presented at INDIN 2015 IEEE, Cambridge, UK, July 2015
- [16] P. Trivedi, K. Deshmukh, M. Shrivastava, Cloud Computing for Intelligent Transportation System, International Journal of Soft Computing and Engineering, Vol. 2, Issue 3, pp. 568-572, July 2012
- [17] M. Whaiduzzaman, M. Sookhak, A. Gani, R. Buyya, A Survey on Vehicular Cloud Computing, Journal of Network and Computer Applications 40, pp. 325-344, 2014
- [18] What is RoboEarth, Available: <http://www.roboearth.org>
- [19] Arduino, Available: <http://www.arduino.cc>
- [20] Automation services from the cloud, Available: <http://www.iebmedia.com/index.php?id=9254&parentid=74&themeid=255&hft=74&showdetail=true&bb=1>

ABSTRACT

This paper presents a brief overview of development of automatic control systems based on feedback control techniques. Nowadays control trends are considered with a review of networked control systems. Some basic assumptions for introducing a new control concept – control in the cloud are stated, too.

CONTROL IN THE CLOUD – CONTEMPORARY CHALLENGE IN CONTROL SYSTEMS

Nataša Popović, Milica Naumović