

# Ivično računanje u industrijskom internetu stvari

Saša D. Milić

Elektrotehnički institut Nikola Tesla, Univerzitet u  
Beogradu, Srbija, Beograd  
[s-milic@ieent.org](mailto:s-milic@ieent.org)

Slavko Veinović, Milan Ponjavić

Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu  
Srbija, Beograd  
[slavko.veinovic@ieent.org](mailto:slavko.veinovic@ieent.org)  
[milan@el.etf.rs](mailto:milan@el.etf.rs)

**Sažetak**— Industrijski internet stvari (IIoT) predstavlja spoj fizičkog i virtuelnog sveta u industrijskom okruženju. Rad se bavi praktično primenljivim IIoT konceptima u industrijskim pogonima gde se primenom IIoT koncepcija unapređuje nivo kontrole i upravljanja kapitalne industrijske opreme (visoke peći, mehaničke prese, kranovi, visokonaponski motori, transformatori, generatori itd.) Umrežavanje merno-upravljačkih sistema kao što su monitoring sistemi, ekspertske sistemi, pametni senzori i sl. ima za cilj unapređenje tehnoloških procesa, smanjenje proizvodnih, transportnih i magacinskih troškova i povećanje produktivnosti i unapređenje održavanja. Rad predstavlja praktični okvir za postepeni prelazak sa tradicionalnih upravljačko-kontrolnih strategija na pametne strategije upravljanja, kao i uvođenje ivičnog računanja na primarnim proizvodnim nivoima. Posebna pažnja je posvećena poluvertikalnom IIoT konceptu kao kompromisnom upravljačkom konceptu koji predstavlja kompromis između otvorenog (ravanskog) i vertikalnog IIoT koncepta.

**Ključne reči**—industrijski internet stvari (IIoT), vertikalni IIoT koncept, otvoren IIoT koncept, poluvertikalni IIoT koncept, ivično računanje.

## I. UVOD

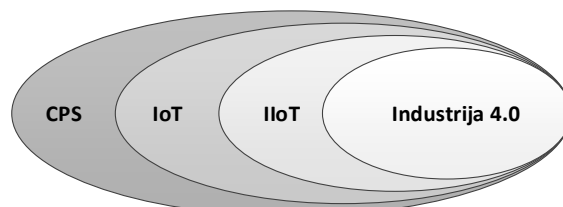
Krajem dvadesetog veka prepoznata je potreba za masovnom primenom informacionih tehnologija u svim segmentima društvenog života. Nova naučna kretanja i istraživački rezultati stvaraju uslove da moderno industrijsko okruženje karakteriše spoj virtualnih i fizičkih sistema nazvanih virtuelno-fizički sistemi (*cyber-physical systems* - CPS). Pre više od dve decenije je ovaj naučno-tehnološki pravac trasirao Kevin Ašton (suosnivač Auto-ID centra na MIT fakultetu) promovišući ideju spajanja informacionih i operativnih tehnologija dobro poznatih danas kao Internet stvari (IoT). To je rezultovalo tzv. novom četvrtom industrijskom revolucijom (Industrija 4.0) 2011. godine [1].

Internet stvari (*Internet of Things* - IoT) je spoj virtuelnog i fizičkog prostora gde se izvodi veliki broj merenja, a zatim se ovi rezultati merenja obrađuju u računarskim aplikacijama i čuvaju u bazama podataka. Cilj je poboljšanje postojećih usluga i pružanje novih usluga u gotovo svim oblastima života. Ove usluge (servisi) imaju za cilj poboljšanje kvaliteta života i smanjenje životnih troškova [2]. IoT bi se takođe mogao opisati kao mreža uređaja koja je povezana na internet sa ciljem da omogući veliki protok podataka unutar logičko-fizičkog trougla koji čine senzori, aplikacije i korisnici.

U literaturi se sreće veći broj jednostavnih definicija za industrijski internet stvari (*Industrial Internet of Things* – IIoT), počev od definicije da je IIoT upotreba IoT tehnologije u proizvodnji, do definicije da je IIoT skraćenica od IoT-a u industriji. Danas ove definicije imaju samo istorijski značaj, iako su nastale pre manje od deset godina, jer se IoT i IIoT ubrzano razvijaju kao dva odvojena naučno-tehnološka pravca iako će njihova međupovezanost ostati osnova razvoja budućeg sveprisutnog *pametnog okruženja*.

Glavna razlika između IoT i IIoT je u tome što se IoT fokusira na usluge za opštu populaciju, dok je IIoT snažno usredsređen na poboljšanje efikasnosti, sigurnosti i produktivnosti sa krajnjim ekonomskim ciljevima u industrijskom okruženju. IoT se više zasniva na odnosima korisnika i uređaja, dok je IIoT fokusiran na relacijama uređaj-inženjer-uređaj-objekt-transport-korisnici.

Zbog ogromne količine podataka razmenjenih u IoT sistemima, uvedena je nova jedinica količine podataka ZB (zetabajt =  $10^{21}$  bajt). Ovo je najbolji dokaz brzine razvoja ove naučne oblasti. Danas smo svedoci svakodnevnih pojava novih naučnih grana kao što su internet svega (IoE), internet nano stvari (IoNT), internet mobilnih stvari (IoMT), internet kritičnih stvari (IoMCT) itd. [3]. Autori rada predlažu da IIoT treba shvatiti kao IoT u industrijskom okruženju uz poštovanje specifičnosti industrijskog okruženja kao što su karakteristični komunikacioni protokoli i standardi. Odnose i međuzavisnosti između CPS, IoT, IIoT i Industrije 4.0 najbolje ilustruje Sl. 1 [4].



Slika 1. IIoT kao podskup IoT-a

IIoT pruža niz novih tehnoloških rešenja i naprednih poslovnih modela koristeći umrežene sisteme za kontrolu i nadzor i pametne merne uređaje. Načelno, svaki IIoT sistem se sastoji od velikog broja različitih uređaja međusobno povezanih žičnim i bežičnim mrežama.

## II. IVIČNO RAČUNANJE

Pojavom IoT-a, potreba za skladištenjem podataka, pristupom i obradom podataka u oblaku u realnom vremenu

višestruko je porasla [5]. U današnje vreme računarstvo u oblaku podstiče razvoj novih usluga koje su bile nezamislive u gotovo svim oblastima života, industrije i nauke. Postoji pozitivna povratna sprega u razvoju računarstva u oblaku i interneta stvari. Prema NIST-u [6], postoji pet ključnih atributa računarstva u oblaku za uslužnu tj. servisno orijentisanu arhitekturu:

1. Servisne usluge na zahtev korisnika.
2. Servisne usluge merenja.
3. Udruživanje resursa.
4. Elastičnost i prilagodljivost.

Ivično računarstvo (edge computing) je nova paradigma za obradu podataka i računavanje na rubnom nivou IoT-a. Ovo računanje se događa najbliže izvorima podataka sa ciljem da se izbegne kašnjenje povezano sa prenosom podataka na gornji hijerarhijski nivo. Drugim rečima rečeno, ivično računanje je zaduženo za kontrolu signala u realnom vremenu, obradu podataka, prijem i prosleđivanje sa osnovnog mernog nivoa (uređaja) na gornji nivo složenih obrada i odlučivanja (oblak). Zahvaljujući brzom razvoju mobilnih uređaja, video igara, autonomnih vozila i pametnih uređaja i sistema sa složenim daljinskim zadacima, značaj ivičnog računarstva svakodnevno raste. Većina IoT koncepata sa snažnom komponentom ivičnog računanja zasniva se na hijerarhijskom okviru u kojem je ivični sloj direktno povezan sa oblakom. Neki autori i organizacije promovišu ovaj okvir za IIoT koncepte [4, 5, 7, 8, 9]. Pomenuti autori (i ne samo oni) ivično računarstvo vide i vertikalnoj strukturi koja se proteže od mernih uređaja na proizvodnom nivou pa direktno do oblaka (cloud) (Sl. 2). U tom pristupu idu čak do toga da računanje u magli (fog computing) posmatraju samo kao jedan od hijerarhijskih nivoa ivičnog računanja.

Na bazi IIoT koncepcije prikazane u literaturi [7], IIoT hijerarhijski koncept se sastoji od tri nivoa (Sl. 2): proizvodni (field) nivo, ivični nivo (edge level), i nivo oblaka (cloud level). U tako predloženoj strukturi, ivični nivo ima dva sloja:

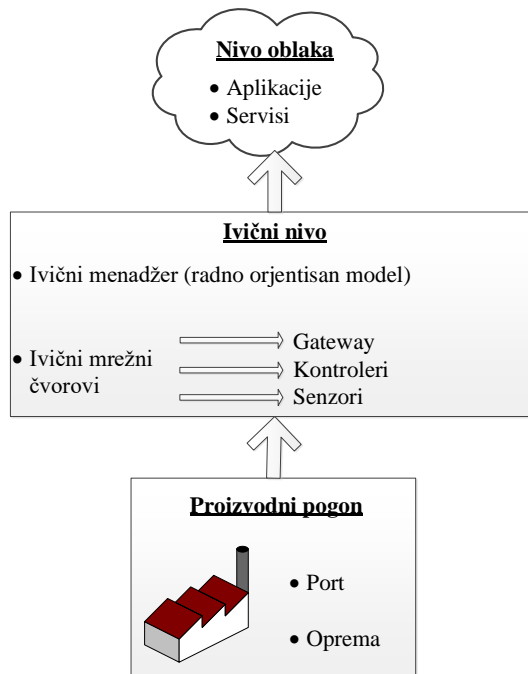
- a) Ivični sloj zadužen za proračune izmerenih rezultata.
- b) Ivični sloj zadužen za upravljanje uz primenu aplikativnih softvera.

Ivično računanje u IIoT-u se fokusira se na ivična računanja u različitim IIoT scenarijima sa jedinstvenim ciljem da se smanji suvišan protok mrežnog saobraćaja i posledično kašnjenje u automatizovanom procesu donošenju odluka. Prema literaturi [4], referentna arhitektura ivičnog računanja se sastojati od tri nivoa (Sl. 3):

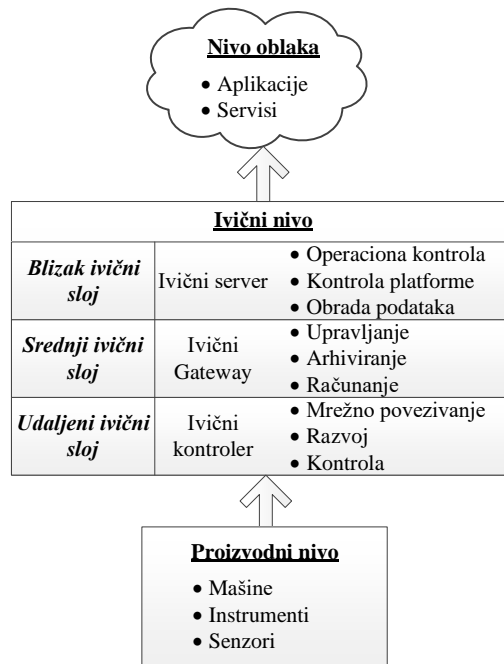
- 1) Nivo uređaja:
  - Kontroleri
  - Pametni senzori
  - Pametni uređaji
- 2) Ivični nivo:
  - Bliski ivični sloj
  - Srednji ivični sloj
  - Udaljeni ivični sloj
- 3) Nivo oblaka.

Zadivljeni neslućenim mogućnostima ivičnog računanja, mnogi istraživači minimiziraju važnost računanja u magli. Neki čak veruju da je računanje u magli samo podskup ivičnog

računanja [4]. Za vertikalne IIoT koncepte, takva mišljenja mogu biti samo delimično tačna. Strategiju zaštite po dubini od sajber napada i neovlašćenih pristupa proizvodnom nivou, u IIoT koncepcijama u kojima su direktno povezani ivični nivo i nivo oblaka, nije moguće primeniti u punom njenom kapacitetu. Zato u velikim industrijskim sistemima, gde postoje SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) sistemi i gde se procesi donošenja odluka i realizuju i distribuiraju na različitim hijerarhijskim nivoima, je nezamislivo izbeći ili minimizirati proračune u magli (fog computing).



Slika 2. Referentna arhitektura ivičnog računanja u IIoT [7]



Slika 3. Reference architecture of edge computing in IIoT [4]

Na nivou magle (fog level) se izvršavaju složena računanja pomoću softverskih aplikacija pokrenutih na fog računarima koji imaju mnogo veće procesorske snage i memorijskih kapaciteta nego što su to procesorske jedinice na ivičnom nivou.

### III. IVIČNO RAČUNANJE U IIoT-U

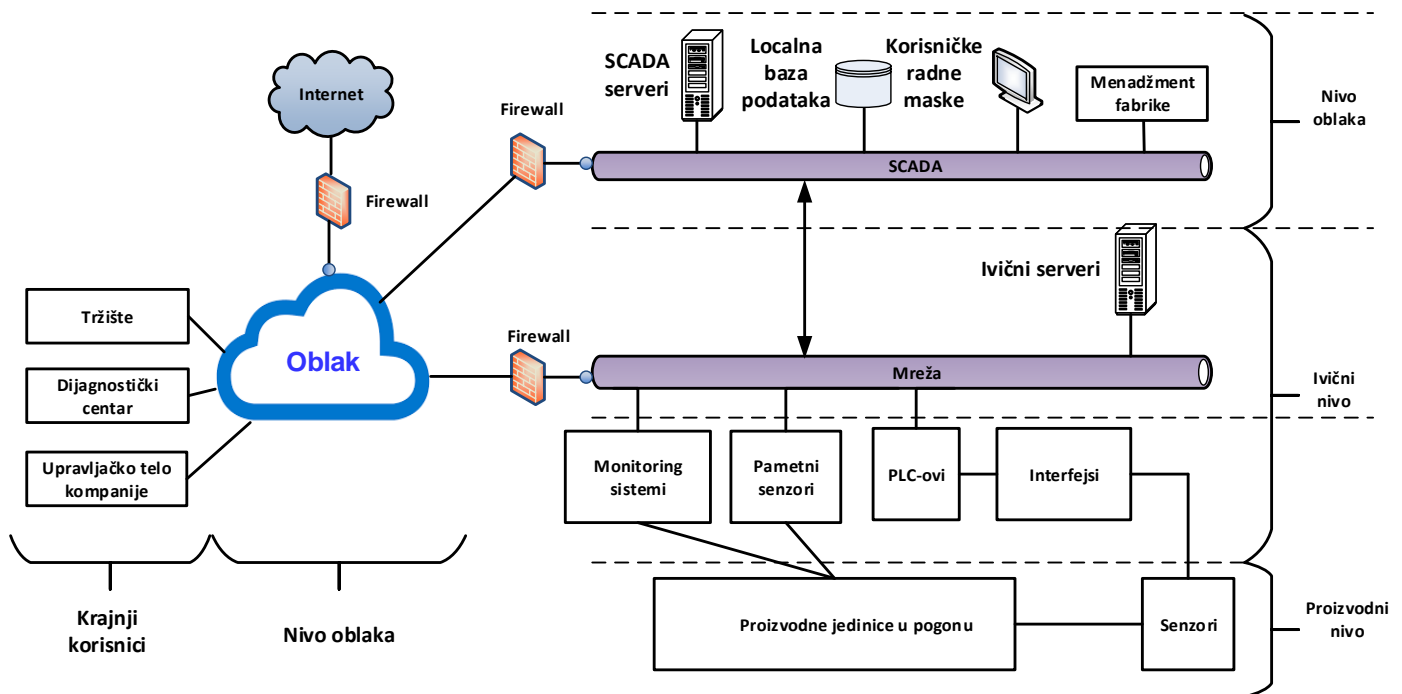
Postoje velika očekivanja od praktične primene IIoT koncepcija u sve grane industrije, energetike i saobraćaja. IIoT ima potpuno integrisane informacione tehnologije (IT) i operativne tehnologije (OT). Ovo objedinjavanje nije revolucionarno jer već dugo postoje sistemi, poput SCADA sistema, koji omogućavaju ovu integraciju na proizvodnom hijerarhijskom nivou upravljanja i kontrole. IIoT je mnoge procese industrijskog odlučivanja prebacio sa operativnog nivoa na nivo oblaka. Primena IIoT upravljačko-kontrolne koncepcije značajno smanjuje operativne troškove i skraćuje vreme obrade podataka i analize. Jedna od ključnih prednosti je transparentnost industrijskih procesa koji sa sobom nosi sledeće benefite [9]:

1. Skalabilnost.
2. Daljinski pristup i zaštita podataka.
3. Daljinska kontrola procesa.
4. Složene višeparametarske analize u realnom vremenu.
5. Nadzor procesa i predviđanje kvarova u realnom vremenu.

6. Procena zastarelosti opreme i predviđanja njenog životnog ciklusa.
7. Donošenje odluka na različitim hijerarhijskim nivoima magle i oblaka.

Održivi ciljevi za razvoj IIoT strategije kontrole i upravljanja su efikasniji nadzor i kontrola tehničkih sistema i uređaja, kao i industrijskih procesa. Osnovni koncept IIoT-a se sastoji se od tri računarska nivoa: ivica, magla i oblak [2, 10-13]. Svi IIoT koncepti mogu se klasifikovati u tri kategorije [2, 12]: otvoreni (ravanski) koncept, poluvertikalni koncept i vertikalni koncept.

Na bazi analiza i zaključaka iznetih u prethodnom poglavlju, autori ovog rada smatraju da je jasno definisana vertikalna hijerarhijska IIoT koncepcija mnogo bliža primeni u praksi. Međutim, uvažavajući prednosti ivičnog računanja i prateći najnovije koncepcije koje ga favorizuju (Sl. 2 i Sl. 3), razvijena je pluo tvorena koncepcija (Sl. 4) koja se sastoji od tri potpuno definisana nivoa: ivični nivo, nivo magle i nivo oblaka (cloud level). Međutim, ova koncepcija, za razliku od dosadašnjih (standardnih) vertikalnih koncepcija poseduje direktnu vezu (link) između oblaka i ivice. Tačno je da je na taj način delimično ugrožena strategija zaštite po dubini, ali to jeste kompromis koji uvažava snagu i benefite ivičnog računanja.



Slika 4. Industrijski internet stvari (IIoT) - poluvertikalni koncept

Kao što je već pomenuto, autori ovog rada predlažu poluvertikalni koncept sa naglašenom ulogom ivičnog računanja (Sl. 4). Ovo je kompromis između strogo vertikalnog i otvorenog koncepta. Vertikalni deo IIoT koncepta (desni deo Sl. 4) prikazuje koncept upravljanja većinom industrijskih postrojenja. Nivo magle predstavlja SCADA sistem. Računanje

na nivou magle (fog computing) predstavlja izvršavanje SCADA aplikacija, vizualizaciju procesa, lokalno skladištenje podataka, upozorenja i alarme. Levi deo Sl. 4 predstavlja nivo oblaka. Može se videti da je oblak povezan sa oba niža nivoa (nivo magle i ivica). Na ovaj način se istovremeno koriste prednosti računanja magle i ivica. Druga prednost

poluvertikalnog koncepta je njegova primenljivost u postrojenjima sa postojećim konceptima vertikalnog upravljanja, jer ne zahteva skupe rekonstrukcije, ali zadržava postojeće SCADA sisteme. Za implementaciju poluvertikalnog IIoT koncepta je potrebno izvršiti relativno male (uglavnom mrežne) rekonstrukcije na nivoima ivice i oblaka.

#### IV. 5G MREŽA I IIVIČNO RAČUNANJE

Nagli razvoj IIoT koncepta sa snažnim računarskim potencijalima na ivičnom nivou je posledica pojave novih mobilnih telekomunikacionih sistema kao što je 5G mreža [12]. 5G mreža ima softverski definisanu arhitekturu koja omogućava dinamičko programiranje na različitim slojevima aplikacija [14]. 5G mreža uspešno ispunjava IoT zahteve za integrisanje bežičnih senzorskih mreža, mreža mobilne komunikacije (3G i 4G) i *ad hoc* mreža i za umrežavanje pametnih senzora i uređaja [15]. Ova komunikaciona mreža se u osnovi ne razlikuje mnogo od 3G i 4G mreža. 5G mreža ima veći opseg radne frekvencije (3,4-3,8 GHz) i mnogo veće brzine prenosa podataka (10Gb/s) u odnosu na 4G mrežu. Takođe podržava video aplikacije ultra visoke rezolucije sa malim kašnjenjem (manje od 1ms). Zahvaljujući velikoj brzini, maloj latenciji i razmeni velike količine podataka, ova mreža je značajno doprinela brzom razvoju ivičnog računanja u IoT i IIoT konceptima. Za razliku od IoT koncepta i oblasti primene, bežična senzorska mreža na rubnom nivou, kao nosilac IIoT koncepta, ima tri glavna nedostatka:

- 1) Manje je otporna na elektromagnetne smetnje koje su česte u industrijskom okruženju, naročito na proizvodnom nivou.
- 2) Veća ranjivost na hakerske napade i namerna ometanja.
- 3) Praktična primena IIoT strategija sa jakim računarskim potencijalima na ivičnom nivou u složenim industrijskim pogonima i objektima zahteva skupe rekonstrukcije i duge zastoje.

Navedeni nedostaci otvorenog IIoT koncepta sa snažnim računarskim potencijalom na ivičnom nivou može biti dovoljan razlog za odabir vertikalnog ili poluvertikalnog IIoT koncepta.

#### V. ZAKLJUČAK

U cilju praćenja savremenih trendova i sa namerom stalnog i neprekidnog inoviranja industrije i energetike, rad se bavi prikazom i analizom modernih koncepcija upravljana baziranih na „internetu stvari - IoT“ i „industrijskom internetu stvari - IIoT“. Pojava 5G telekomunikacione mreže sa svojim visokim radnim frekvencijama, malim vremenskim kašnjenjima i mogućnosti transfera velikih količina podataka je pružila velike mogućnosti za brzi razvoj računanja na nivou ivice.

U radu su navedene osnovne karakteristike otvorenih, poluvertikalnih i vertikalnih koncepcija IoT i IIoT. Da bi se usvojile dobre osobine ivičnog računanja, a pri tome delimično zadržala strategija zaštite *po dubini* od hakerskih napada, predložena je praktično primenljiva kombinovana poluvertikalna IIoT koncepcija. Ova koncepcija je detaljno opisana i trebalo bi da predstavlja osnovu razvoja budućih IIoT koncepcija koje se pre svega odnose na velike i složene industrijske pogone i sisteme kao što su fabrike, elektrane i sl.

Nastavak istraživanja će se kretati u dva pravca. Prvi pravac razvoja bi se odnosio na rad na usaglašavanju postojećih industrijskih komunikacionih protokola. Radilo bi se na predlogu za izbor jednog (ili po potrebi više) protokola koji bi bili referentni za industrijske primene. Drugi pravac istraživanja bi se odnosio na razvoj i usavršavanje složenih IIoT upravljačkih arhitektura koje bi na najbolji način odgovorile zahtevima za unapređenje procesa monitoringa, detekcije i predikcije kvarova i smanjenje troškova i skraćivanje vremena neplaniranih zastoja.

#### LITERATURA

- [1] H. Lasi, P. Fettke, H.-G. Kemper, T. Feld, and M. Hoffmann, „Industry 4.0“, *Business & Information Systems Engineering*, vol. 6, no. 4, pp. 239-242, 2014.
- [2] S. D. Milić, S. Veinović, M. Ponjavić, „Industrial Internet of Things (IIoT) – Strategies and Concepts“, *Proceedings of XIX International Symposium Infotech-Jahorina 2020*, Vol.19, KST-4, Jahorina, Republic of Srpska, pp. 81-85, March 18-20, 2020.
- [3] C. R. Srinivasan, B. Rajesh, P. Saikalyan, K. Premeasgar, E. S. Yadav, „A review on the different types of internet of things (IoT)“, *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*, vol. 11, no. 1, pp. 154-158, Jan. 2019.
- [4] T. Qiu, J. Chi, X. Zhou, Z. Ning, M. Atiquzzaman, D. O. Wu, „Edge Computing in Industrial Internet of Things: Architecture, Advances and Challenges“, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 22, no. 4, pp. 2462-2488, July 2020.
- [5] K. Kaur, S. Garg, G. S. Aujla, N. Kumar, J. J. P. C. Rodrigues, M. Guizani, „Edge Computing in the Industrial Internet of Things Environment: Software-Defined-Networks-Based Edge-Cloud Interplay“, *IEEE Communications Magazine*, vol. 56, no. 2, pp. 44-51, Feb. 2018.
- [6] NIST Cloud Computing Standards Roadmap Working Group, *NIST Cloud Computing Standards Roadmap*, NIST SP 500-291 ver.2, July 2013.
- [7] K. Cao, Y. Liu, G. Meng, Q. Sun, „An Overview on Edge Computing Research“, *IEEE Access*, vol. 8, pp. 85714-85728, May 2020.
- [8] Industrial internet consortium, Edge Computing Task Group, „Introduction to Edge Computing in IIoT“. [Online] Available: [https://www.iiconsortium.org/pdf/Introduction\\_to\\_Edge\\_Computing\\_in\\_IIoT\\_2018-06-18.pdf](https://www.iiconsortium.org/pdf/Introduction_to_Edge_Computing_in_IIoT_2018-06-18.pdf)
- [9] G. S. S. Chalapathi, V. Chamola, A. Vaish, R. Buyya, chapter: „Industrial Internet of Things (IIoT) Applications of Edge and Fog Computing: A Review and Future Directions“, in book: „Fog/Edge Computing For Security, Privacy, and Applications“, ISBN: 978-3-030-57328-7, 2021.
- [10] S. D. Milić, B. M. Babić, „Towards the Future - Upgrading Existing Remote Monitoring Concepts to IIoT Concepts“, *IEEE Internet of Things Journal, Electronic*, DOI: 10.1109/JIOT.2020.2999196, vol. 7, no. 12, pp. 11693-11700, December 2020.
- [11] S. D. Milić, N. M. Miladinović, A. Rakić, „A wayside hotbox system with fuzzy and fault detection algorithms in IIoT environment“, *Control Engineering Practice*, vol. 104, DOI: 10.1016/j.conengprac.2020.104624, pp. 1-7, November 2020.
- [12] S. D. Milić, D. Misović, „Detekcija kvarova i donošenje odluka na FOG i CLOUD nivoima industrijskog interneta stvari“, *Zbornik radova 19. Simpozijuma CIGRE Srbija – Upravljanje, telekomunikacije i zaštita u elektroenergetskom sistemu - STK C2, D2 i B5*, Videokonferencija, ISBN: 978-86-82317-86-9, Oznaka rada R D2 11, Strane: 1-8, 21 - 23, oktobar 2020, Srbija.
- [13] M. Aazam, S. Zeadally, K. A. Harras, „Deploying Fog Computing in Industrial Internet of Things and Industry 4.0“, *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 14, no. 10, pp. 4674-4682, 2018.
- [14] S. D. Rao, R. Prasad, „Impact of 5G Technologies on Industry 4.0“, *Wireless Personal Communications*, vol. 100, no. 1, pp. 145-159, 2018.
- [15] S. Mumtaz, A. Bo, A. Al-Dulaimi, K. F. Tsang, „Guest Editorial 5G and Beyond Mobile Technologies and Applications for Industrial IoT (IIoT)“,

ABSTRACT

The Industrial Internet of Things (IIoT) is a fusion of the physical and virtual worlds in an industrial environment. The paper deals with real IIoT concepts in the industrial plants where IIoT should network all capital equipment with associated monitoring, measurement and expert systems and smart sensors with the aim of cost reduction, enhance productivity and

improving maintenance. The paper presents a framework for the gradual transition from traditional to smart management strategies, as well as the introduction of edge computing on the production and transmission levels. The semi-vertical IIoT concept has been proposed as a compromise solution between flat and vertical IIoT concepts.

**EDGE COMPUTING IN INDUSTRIAL INTERNET OF THINGS**

Saša D. Milić, Slavko Veinović, Milan Ponjavić