

POREĐENJE EDGE I CLOUD RAČUNARSTVA ZA MAŠINSKO UČENJE U PROIZVODNIM PROCESIMA

COMPARISON OF EDGE AND CLOUD COMPUTING FOR MACHINE LEARNING IN PRODUCTION PROCESSES

prof.dr. Samir Lemeš
Politehnički fakultet Univerziteta u Zenici
Zenica

Kemal Arifović, bsc. inf.
Mašinski fakultet Univerziteta u Zenici
Zenica

REZIME

S razvojem informacionih tehnologija i upotrebom Internet of Things(IoT) uređaja sve je veći broj umreženih uređaja, a samim tim i količina podataka koje ti uređaji generišu. Velike količine podataka omogućile su razvoj i sve veću primjenu vještačke inteligencije i mašinskog učenja. Sve to posebno je izraženo i u proizvodnim procesima gdje se dešava četvrta industrijska revolucija, odnosno tranzicija u inteligentnu industriju ili Industriju 4.0. Stoga rastu i potrebe za računarskim resursima za njihovu obradu i analizu, što se pokušalo riješiti primjenom računarstva u oblaku (Cloud computing). Međutim, pojavljuju se novi izazovi vezani za privatnost podataka ili povećano vrijeme odziva aplikacija, što je posebno bitno za tehnologije kao što je vještačka inteligencija. Iz tog razloga, sve veća je primjena tehnologija Edge computinga, gdje se obrada podataka približava samom izvoru podataka i na taj način uklanjaju neki od nedostataka računarstva u oblaku. U radu je izvršeno poređenje edge i cloud računarstva, s posebnim naglaskom na primjenu mašinskog učenja u proizvodnim procesima.

Ključne riječi: Internet of Things u industriji (IIoT), edge računarstvo, mašinsko učenje

ABSTRACT

With the development of information technologies and the use of Internet of Things (IoT) devices, the number of networked devices is increasing, and thus the amount of data generated by these devices. Large amounts of data have enabled the development and increasing application of artificial intelligence and machine learning. All this is especially expressed in production processes where the fourth industrial revolution is taking place, i.e. the transition to intelligent industry or Industry 4.0. Therefore, the need for computer resources for their processing and analysis is also growing, which was tried to be solved by applying cloud computing (Cloud computing). However, new challenges are emerging related to data privacy or increased application response time, which is especially important for technologies such as artificial intelligence. For this reason, the application of Edge computing technologies is increasing, where data processing is brought closer to the data source itself, thus removing some of the disadvantages of cloud computing. The paper compares edge and cloud computing, with special emphasis on the application of machine learning in production processes..

Keywords: Industrial Internet of Things (IIoT), edge computing, machine learning

1. UVOD

Primjena *Internet of Things* (IoT) uređaja u industriji, najčešće u obliku senzora za mjerenje fizičkih veličina ili pametnih uređaja koji omogućavaju automatizaciju procesa, omogućila je poboljšanje efikasnosti u industrijskim procesima, ali i potpuno nova rješenja koja prije nisu bila moguća. Svi ovi uređaji generišu ogromne količine podataka koji se zatim obrađuju na udaljenim lokacijama i na osnovu njih se generišu nova znanja koja unapređuju industriju i omogućavaju joj tranziciju ka inteligentnoj industriji, tzv. Industrij 4.0 [1]. Prije pojave paradigme *Edge* računarstva podaci su obično zbog svoje obimnosti bili spremni na udaljena *Cloud* rješenja gdje su se ujedno i obrađivali jer su za njihovu obradu bili potrebni računarski resursi koji su nadilazili mogućnosti lokalno dostupnih računara. Ovakav smještaj i obrada podataka na udaljenim lokacijama donosi sa sobom i neke nedostatke, posebno sa stanovišta obrade IoT podataka u industrijskoj primjeni, gdje se određeni procesi moraju odvijati u realnom vremenu [2]. Za razliku od računarstva u oblaku, gdje se obrada podataka odvija na velikoj udaljenosti od izvora podataka, pojavljuje se koncept *Edge* računarstva koji nastoji da otkloni nedostatke koje takva udaljena obrada sa sobom donosi [3]. *Edge* računarstvo osim lokalnih procesa obrade podataka omogućava i lokalno smještanje kritičnih podataka, čime smanjuje troškove prenosa podataka, ali osim toga omogućava poboljšanje sigurnosti podataka.

2. IOT U INDUSTRIJI

Industrija 4.0 ili tzv. četvrta industrijska revolucija zasniva se na nastojanju kreiranja industrijskog okruženja koje integrira savremene informacione tehnologije kako bi obezbijedila inteligentne proizvodne sisteme koji mogu samostalno donositi odluke u realnom vremenu [4]. Osnovu tog okruženja čine inovativne tehnologije kao što su *Internet of Things* i računarstvo u oblaku (*Cloud Computing*).

Internet of Things možemo posmatrati kao interakciju i komunikaciju između uređaja koji generišu i razmjenjuju podatke o stvarima ili objektima u stvarnom svijetu. Osnovne karakteristike IoT-a su: heterogenost uređaja i mreža i veliki broj događaja koje generišu ti uređaji. Heterogenost se ogleda u međusobnoj integraciji velikog mnoštva različitih senzora, aktuatora, panela za interakciju sa korisnicima, mašina i robota, dok se međusobna komunikacija odvija putem različitih mrežnih tehnologija, kao što su mreže pete generacije (5G), Wi-Fi, direktna komunikacija mašina-mašina (M2M) i cloud tehnologije (*Cloud, Fog, Edge*) [5]. Velike količine podataka (*Big Data*) generisane na ovaj način mogu poslužiti za prepoznavanje oštećenih ili neispravnih proizvoda, tačniju procjenu stanja mašina, detekciju kvarova i pravilnije planiranje preventivnog održavanja. Ovo posebno dolazi do izražaja ukoliko se ovi podaci iskoriste za mašinsko učenje koje često može prepoznati bitne uzorke u naizgled nepovezanim podacima.

3. MAŠINSKO UČENJE

Mašinsko učenje je u posljednjih nekoliko godina dovelo do velikog napretka u mnogim oblastima primjene, a sve zahvaljujući dostupnosti većih količina podataka i napretku računarske tehnologije koja je omogućila obradu podataka u sve složenijim modelima mašinskog učenja. Mašinsko učenje je podblast vještačke inteligencije gdje se primjenom informacionih tehnologija na postojećim podacima, koji su naizgled nepovezani, i odgovarajućih algoritama nastoji otkriti novo znanje koje bi onda moglo poslužiti za rješavanje novih problema. Algoritmi mašinskog učenja mogu se podijeliti u nekoliko kategorija zavisno od načina učenja:

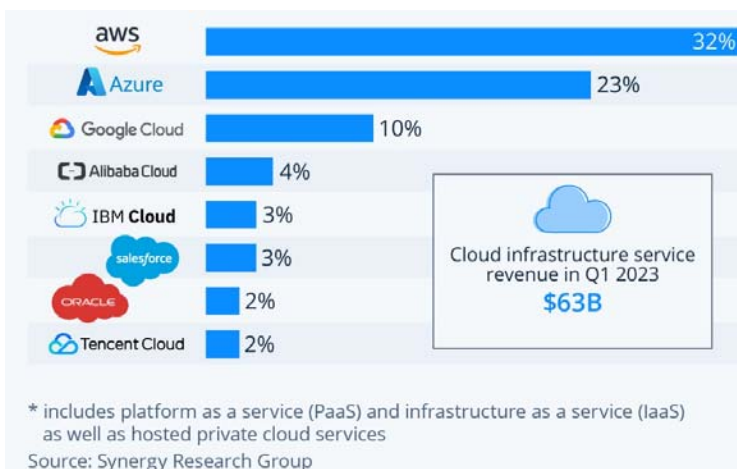
- ... nadgledano učenje,
- ... nenadgledano učenje,
- ... potpomognuto učenje, i
- ... duboko učenje.

Nadgledano učenje podrazumjeva da je za svaku instancu iz trening skupa poznata i klasa kojoj pripada, tj. potrebno je trening podatke ručno klasificirati da bi algoritam mogao naučiti da to sam radi na novim podacima [5, 9]. Najčešće se primjenjuje u slučajevima klasifikacije i regresije. Nenadgledano učenje ne zahtjeva ljudsku intervenciju i algoritam sam prepoznaje uzorke u trening podacima. Potpomognuto učenje podrazumjeva učenje gdje se performanse modela potpomažu odgovarajućom nagradom i kaznom zavisno od toga kakve rezultate model daje. Kod dubokog učenja imamo modele sa više slojeva vještačkih neuronskih mreža koji mogu da donose inteligentne odluke na osnovu velikih količina podataka.

4. RAČUNARSTVO U OBLAKU

Računarstvo u oblaku je pristup računarstvu gdje se računarski resursi velikog broja računara objedinjuju u jedinstveni računarski sistem koji onda te računarske resurse nudi korisnicima kroz različite usluge dostupne putem Interneta. Glavne prednosti ovakvog pristupa su snižavanje cijene kroz objedinjavanje usluga i pristup velikim količinama računarskih resursa, gotovo trenutni pristup dodatnim računarskim resursima bez prethodnih kapitalnih ulaganja, dinamičko skaliranje usluge i druge [6]. Osim prednosti, ova usluga ima i neke nedostatke. Obzirom da su usluge u oblaku u većini slučajeva udaljene od korisnika, mogu imati problema sa latencijom i propusnosti konekcije na relaciji korisnik - oblak. Uslugama u oblaku pristupaju mnogi korisnici, što podrazumjeva da više korisnika koristi isti hardver. Primjena usluga u oblaku može dovesti u pitanje sigurnost podataka, a također mora se obezbjediti i usklađenost sa regulatornim standardima vezanim za lokaciju i način smještaja podataka [7]. Iako računarstvo u oblaku posjeduje računarske resurse sposobne da na efikasan način smjeste i obrade velike količine podataka koji se generišu kroz primjenu IoT-a u industriji, zbog navedenih nedostataka u nekim slučajevima postoji potreba da se obrada podataka približi izvoru podataka.

Na slici 1. prikazan je udio u tržištu vodećih provajdera usluga računarstva u oblaku. Prva tri mjesta zauzimaju Amazon, Microsoft i Google.



Slika 1. Udio u tržištu vodećih provajdera računarstva u oblaku početkom 2023 [10]

Većina usluga računarstva u oblaku spada u četiri kategorije: infrastruktura kao usluga (*IaaS – Infrastructure as a Service*), platforma kao usluga (*PaaS – Platform as a Service*) i softver kao usluga (*SaaS – Software as a Service*) [11].

Infrastruktura kao usluga (IaaS) najosnovnija je kategorija usluga u oblaku. IT infrastruktura - serveri i virtualne mašine (VM), skladišta podataka, mreže, operativni sistemi - iznajmljuje se od provajdera u oblaku po principu "plati dok se koristi" [11].

Platforma kao usluga (PaaS) odnosi se na usluge računarstva u oblaku koje pružaju okruženje na zahtjev koje se koristi za razvoj, testiranje, isporuku i upravljanje softverskim aplikacijama. PaaS je dizajniran da olakša programerima da brzo kreiraju web ili mobilne aplikacije, bez brige o postavljanju ili upravljanju osnovnom infrastrukturuom servera, mreže i baza podataka potrebnih za razvoj [11].

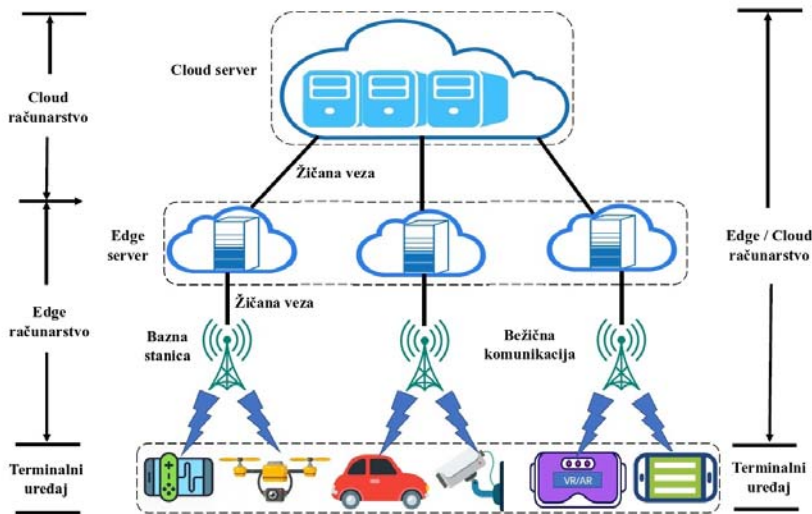
Softver kao usluga (SaaS) je metoda za isporuku softverskih aplikacija preko Interneta, na zahtjev i obično na bazi pretplate. Sa SaaS-om, provajderi u oblaku hostuju i upravljaju softverskom aplikacijom i osnovnom infrastrukturuom i rukovode bilo kojim održavanjem, poput nadogradnje softvera i sigurnosnih zakrpa. Korisnici se povezuju na aplikaciju preko interneta, obično preko browsera sa svog telefona, tableta ili računara [11].

Tabela 1. Razlike između kategorija računarstva u oblaku (sivo su obojene komponente kojima upravlja korisnik)

Lokalno (vlastiti server)	IaaS (virtualne mašine)	PaaS (app servisi)	SaaS (npr. Office 365)
Aplikacije	Aplikacije	Aplikacije	Aplikacije
Podaci	Podaci	Podaci	Podaci
Izvršenje	Izvršenje	Izvršenje	Izvršenje
<i>Middleware</i>	<i>Middleware</i>	<i>Middleware</i>	<i>Middleware</i>
Operativni sistem	Operativni sistem	Operativni sistem	Operativni sistem
Virtualizacija	Virtualizacija	Virtualizacija	Virtualizacija
Serveri	Serveri	Serveri	Serveri
Pohranjivanje	Pohranjivanje	Pohranjivanje	Pohranjivanje
Mreža	Mreža	Mreža	Mreža

5. EDGE RAČUNARSTVO

Internet of Things uređaji nalaze sve veću primjenu u industriji a samim tim povećava se i količina podataka koje oni generišu. U slučaju obrade podataka u cloudu, podaci se prvo moraju prebaciti putem Internet konekcije, proći obradu pa tek onda vratiti kao rezultat do IoT uređaja ili nekog drugog terminalnog uređaja [4]. Ovo osim što povećava vrijeme odziva aplikacije predstavlja sve veći izazov i za propusnosti Internet konekcija zbog povećanog obima podataka. Ovo je posebno izraženo u slučajevima kada se mašinsko učenje primjenjuje u aplikacijama kompjuterskog vida. Iz tog razloga, prethodna istraživanja predlažu upotrebu Edge računarstva kako bi se kreirala rješenja koja odgovaraju primjeni sa IoT uređajima kako bi se njihovi potencijali mogli najbolje iskoristiti. Za razliku od cloud pristupa gdje se računarski resursi centraliziraju na jednoj udaljenoj lokaciji, kod edge računarstva se obrada podataka približava samom izvoru podataka [6, 8]. Ovdje se mora voditi računa o činjenici da edge uređaji obično imaju slabije računarske resurse i u pogledu smještaja kao i mogućnosti obrade podataka. Iz tog razloga najčešće se pribjegava kombinovanju cloud i edge računarstva gdje se zahtjevniji zadaci kao što je proces mašinskog učenja odvija u oblaku koji raspolaže mnogo većim resursima prilagođenim za tu namjenu, dok se istrenirani modeli mogu prilagoditi ograničenim edge resursima i na taj način obezbjediti funkcionisanje procesa zaključivanja blizu izvora podataka. Edge tehnologija je relativno nova tehnologija tako da još uvijek nije standardizirana, još uvijek postoji više različitih platformi koje funkcionišu preko nekompatibilnih protokola što predstavlja ograničenje prilikom implementacije [7].



Slika 2. Šematski prikaz cloud / edge računarstva

Iako mašinsko učenje u *Edge* računarstvu ima određene prednosti u odnosu na računarstvo u oblaku, nužni su određeni kompromisi koji obuhvataju troškove, pouzdanost, mrežnu infrastrukturu, privatnost podataka i prostora za skladištenje. materijalni troškovi rastu kako bi se podržalo mašinsko učenje u *Edge* računarstvu, ali s velikim količinama transakcija u oblaku, povećavaju se i troškovi komunikacije u oblaku za uređaj. Pouzdanost značajno zavisi od brzine pristupa internetu. *Edge* računarstvo otklanja kašnjenja povezana s mrežnim resursima. Kako neke aplikacije zahtijevaju da se podaci pohranjuju na licu mjesta, držanje određenih podataka u potpunosti na uređaju može unaprijediti privatnost podataka. IoT uređaji na kojima se zasniva *Edge* računarstvo općenito nemaju dovoljno prostora za pohranu podataka, što uvodi novi izazov pred resurse za skladištenje podataka.

Web 3.0 je novi koncept koji koristi blockchain tehnologije za decentralizaciju Interneta [13]. Zasnovan je na nekoliko principa: decentralizacija, ne postoje dozvole, plaćanje je isključivo kriptovalutama i ne koristi posrednike za uspostavljanje povjerenja među korisnicima nego se oslanja na distribuirani sistem *blockchaina*. *Blockchain* stvara brže i sigurnije računarsko okruženje, dok *Edge* računarstvo pruža infrastrukturu podrške koja omogućava brze i pouzdane transakcije - posebno uz napredne implementacije blockchain *proof of stake* (PoS) [14].

6. ZAKLJUČAK

Kontinuirani razvoj industrije i njena tranzicija ka inteligentnoj industriji dobrim dijelom zasnovan je na dostupnosti novih tehnologija kao što su senzori, inteligentni uređaji, tableti, telefoni, kompjuteri i sl. Velike količine podataka koje ovi uređaji generišu navele su privredu da primjeni nove tehnologije i pristupe obradi i smještaju podataka. U radu su poređene tehnologije *Edge* i *Cloud* računarstva sa posebnim naglaskom na mašinsko učenje i njegovu primjenu u industriji. Ovdje su uočene glavne prednosti i nedostaci pomenutih tehnologija, a na osnovu toga bi se mogle definisati i dimenzije poređenja: količina smještajnog prostora, mogućnosti računarske obrade, vrijeme obrade i odziva, sigurnost mreže i podataka, godišnji troškovi i standardizacija.

Kada uzmemo u obzir navedene dimenzije poređenja, možemo zaključiti da u određenim dimenzijama prednost ima *Cloud* računarstvo, a u drugim *Edge* računarstvo. Tako npr. računarstvo u oblaku posjeduje veće kapacitete za smještaj i obradu podataka, dok *Edge*

računarstvo posjeduje veoma ograničene mogućnosti u tom pogledu. Za razliku od te dimenzije, ukoliko gledamo vrijeme odziva, računarstvo u oblaku je udaljeno što sa sobom nosi veće vrijeme odziva, dok je *Edge* računarstvo puno bliže izvoru podataka pa je samim time i vrijeme odziva bolje. Udaljenost sa sobom nosi i probleme sigurnosti podataka, jer kod *Cloud* rješenja imamo mogućnosti presretanja podataka ili nesigurnosti podataka u samom oblaku, za razliku od *edge* uređaja gdje podaci ne izlaze izvan korisničke mreže. Kod obje tehnologije javlja se nedostatak u vidu manjka standardizacije koja može dovesti do ograničenja u implementaciji. Na osnovu svega ovoga, može se zaključiti da ne postoji jedinstveni pobjednik, već da pomenute tehnologije nadopunjuju jedna drugu.

Ograničenje ovog rada je da se zasniva na teorijskim informacijama dostupnim u literaturi, bez praktične primjene pomenutih tehnologija. Dalji pravci istraživanja biće usmjereni na poređenje *Edge* i *Cloud* računarstva kroz praktičnu implementaciju na primjeru koji bi odgovarao primjeni u industriji.

7. REFERENCE

- [1] Sittón-Candanedo, I. et al. (2020). Edge Computing Architectures in Industry 4.0: A General Survey and Comparison. In: Martínez Álvarez, F., Troncoso Lora, A., Sáez Muñoz, J., Quintián, H., Corchado, E. (eds) 14th International Conference on Soft Computing Models in Industrial and Environmental Applications (SOCO 2019). SOCO 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 950. Springer, Cham.
- [2] Pan, J., & McElhannon, J. (2017). Future edge cloud and edge computing for internet of things applications. IEEE Internet of Things Journal, 5(1), 439-449.
- [3] Kaur, K., Garg, S., Aujla, G. S., Kumar, N., Rodrigues, J. J., & Guizani, M. (2018). Edge computing in the industrial internet of things environment: Software-defined-networks-based edge-cloud interplay. IEEE communications magazine, 56(2), 44-51.
- [4] Georgakopoulos, D. et al. (2016). Internet of Things and edge cloud computing roadmap for manufacturing. IEEE Cloud Computing, 3(4), 66-73.
- [5] Angelopoulos, A. et al. (2020). Tackling Faults in the Industry 4.0 Era—A Survey of Machine-Learning Solutions and Key Aspects. *Sensors* **2020**, 20, 109.
- [6] Cao, K. et al. (2021). A survey on edge and edge-cloud computing assisted cyber-physical systems. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 17(11), 7806-7819.
- [7] Bajic, B. et al. (2019). Edge computing vs. cloud computing: challenges and opportunities in Industry 4.0. Annals of DAAAM & Proceedings, 30.
- [8] Zhihan Lv, Dongliang Chen, Ranran Lou, Qingjun Wang, (2021), Intelligent edge computing based on machine learning for smart city, Future Generation Computer Systems, Vol. 115, 2021, 90-99.
- [9] Schmitt, J., Bönig, J., Borggräfe, T., Beiting, G., & Deuse, J. (2020). Predictive model-based quality inspection using Machine Learning and Edge Cloud Computing. Advanced engineering informatics, 45, 101101.
- [10] Richter, F. (2023) Big Three Dominate the Global Cloud Market, <https://www.statista.com/chart/18819/worldwide-market-share-of-leading-cloud-infrastructure-service-providers/> (dostupno 10.5.2023)
- [11] Microsoft Azure: What is cloud computing? A beginner's guide, <https://azure.microsoft.com/en-us/overview/what-is-cloud-computing/> (dostupno 10.5.2023)
- [12] Yismaw N. (2021) At the Edge Vs. In the Cloud: Artificial Intelligence and Machine Learning, <https://www.cardinalpeak.com/blog/at-the-edge-vs-in-the-cloud-artificial-intelligence-and-machine-learning> (dostupno 10.5.2023)
- [13] Wood G. (2023) Introduction to Web3, <https://ethereum.org/en/web3/> (dostupno 10.5.2023)
- [14] Zenlayer (2022) Why Web 3.0's Future Builds on Edge Computing & Blockchain Technology, <https://www.zenlayer.com/blog/web-3-edge-computing-blockchain/> (dostupno 10.5.2023)