

# VEŠTAČKA INTELIGENCIJA U PAMETNIM SREDINAMA

## ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE SMART ENVIRONMENTS

SAŠA MILIĆ<sup>1</sup>

Pregledni rad  
DOI: 10.5937/VI24009M

**Rezime:** Veštačka inteligencija i mašinsko učenje postali su ključni faktori u razvoju pametnih industrijskih pogona i Industrijskog Interneta stvari (IIoT) u industrijskim revolucijama 4.0 i 5.0, trasirajući razvojni put budućih pametnih sredina. Njihova primena omogućava efikasniju obradu podataka, klasterizaciju i klasifikaciju, regresionu analizu i predikciju, prediktivno održavanje i optimizaciju industrijskih procesa. U ovom radu razmatramo upotrebu različitih algoritama i modela mašinskog učenja, poput rekurentnih neuronskih mreža (RNN, LSTM i GRU) i konvolucijskih neuronskih mreža. Poseban fokus je stavljen na prikaz naprednih modela autoenkodera, uključujući konvolucijske autoenkodere i varijacione autoenkodere.

**Cljučne reči:** mašinsko učenje, Industrijski Internet stvari (IIoT), rekurentne neuronske mreže, konvolucijski autoenkoder, varijacioni autoenkoder

**Abstract:** Artificial intelligence (AI) and machine learning (ML) have become key factors in the development of smart industrial plants and the Industrial Internet of Things (IIoT) in the context of the 4.0 and 5.0 industrial revolutions, paving the way for future smart environments. Their application enables more efficient data processing, clustering and classification, regression analysis and prediction, predictive maintenance, and optimization of industrial processes. In the paper, we consider the use of a few machine learning algorithms and models, such as recurrent neural networks (RNN, LSTM, and GRU) and convolutional neural networks (CNN). Special focus is placed on advanced autoencoder models, including convolutional and variational autoencoders

**Key Words:** Machine learning, Industrial Internet of Things (IIoT), recurrent neural networks, convolutional autoencoder, variational autoencoder

---

<sup>1</sup> Saša Milić, Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički institut „Nikola Tesla“, Koste Glavinića 8a, Beograd, s-milic@ieent.org, ORCID: 0000-0001-5757-3430

## 1. Uvod

Industrijske revolucije su svojevrsan pokazatelj razvoja ljudskog društva (slika 1) [1]. Industrija 4.0 era je započela sredinom 2010-ih, odnosi se na digitalizaciju i automatizaciju proizvodnih procesa kroz primenu novih tehnologija kao što su veštačka inteligencija (AI), Internet stvari (IoT), robotika, Big Data, simulacije, autonomni sistemi i pametne fabrike. Njena suština je integracija fizičkog i digitalnog sveta, omogućavajući efikasnije i fleksibilnije proizvodne procese. Težište Industrije 4.0 je na digitalizaciji i primeni veštačke inteligencije u skoro svim tehnološkim oblastima sa ciljem povećanja efikasnosti proizvodnje. Početkom 2021. godine, Evropska komisija je predložila koncept „Industrije 5.0“, koji dopunjuje postojeću paradigmu „Industrije 4.0“. Cilj Industrije 5.0 je uspostavljanje harmonične saradnje između ljudi i mašina, koristeći prednosti tehnologije da bi se povećala kreativnost i dodala vrednost ljudskom radu.



Slika 1. Industrijske revolucije

Industrije 4.0 i 5.0 dele zajedničku viziju – unapređenje proizvodnih procesa i poboljšanje kvaliteta proizvoda uz korišćenje tehnologije. Međutim, dok se Industrija 4.0 fokusira na autonomne sisteme i efikasnost, Industrija 5.0 vraća čoveka u središte procesa i promoviše sinergiju između tehnologije i ljudskog doprinosa.

Današnja industrija se, u svim svojim granama, sve više oslanja na primenu veštačke inteligencije (AI) kako bi unapredila efikasnost, smanjila troškove i povećala produktivnost. Pametni industrijski pogoni kombinuju napredne tehnologije poput Industrijskog Interneta stvari (Industrial Internet of Things - IIoT), veštačke inteligencije (Artificial Intelligence - AI), mašinskog učenja (Machine Learning - ML) i automatike i robotike, kako bi stvorili pametne sisteme koji mogu da samostalno donose odluke. Ovi pogoni transformišu tradicionalne industrijske procese, omogućavajući preduzećima da optimizuju proizvodnju, predvide kvarove i donose brze odluke zasnovane na podacima, u realnom ili kvazi-realnom vremenu.

## **2. Industrijski internet stvari (IIoT)**

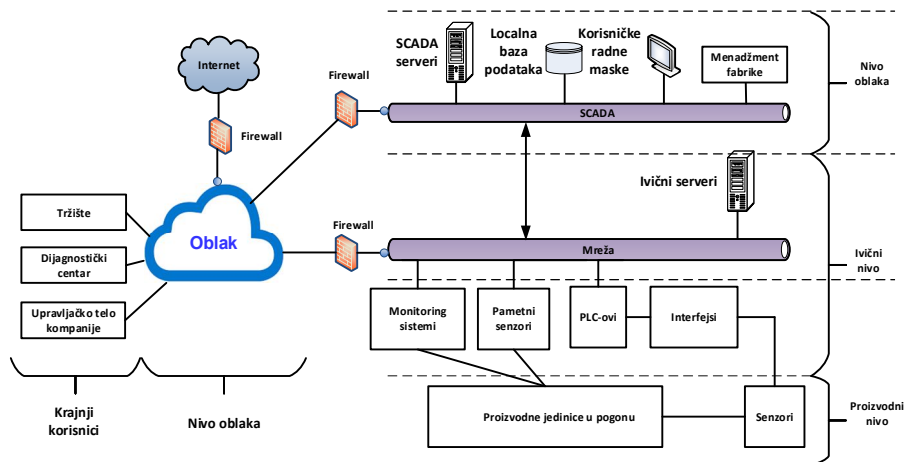
Internet stvari (engl. *Internet of Things* - IoT) je spoj virtuelnog i fizičkog prostora gde se izvodi veliki broj merenja, a zatim se ovi rezultati merenja obrađuju u računarskim aplikacijama i čuvaju u bazama podataka. Cilj IoT-a je unapređenje postojećih i pružanje novih usluga u različitim oblastima života, kako bi se poboljšao kvalitet života i smanjili troškovi. IoT se može opisati kao mreža uređaja povezanih na Internet, koja omogućava veliki protok podataka između senzora, aplikacija i korisnika. [2].

Industrijski internet stvari (engl. *Industrial Internet of Things* – IIoT) je upotreba IoT tehnologije u proizvodnji. Danas se IoT i IIoT ubrzano razvijaju kao dva odvojena naučno-tehnološka pravca, iako će njihova međupovezanost ostati osnova razvoja budućeg sveprisutnog pametnog okruženja (engl. *Smart Environments*).

IIoT ima potpuno integrisane informacione tehnologije (IT) i operativne tehnologije (OT). Svi IIoT koncepti mogu se klasifikovati u tri kategorije [3]: otvoreni (ravanski) koncept, hibridni (poluvertikalni) koncept i vertikalni koncept.

Otvorena (ravanska) arhitektura podrazumeva direktnu komunikaciju IoT uređaja sa ivičnog nivoa sa centralnim serverom ili oblakom (engl. *Cloud*), gde se svi podaci prikupljaju i obrađuju u oblaku. Ova arhitektura smanjuje kašnjenje, omogućava brže donošenje odluka i poboljšava efikasnost mrežnih resursa.

Vertikalna arhitektura industrijskog IoT sastoji se od tri ključna nivoa - ivica (engl. *Edge*), magla (engl. *Fog*) i oblak (engl. *Cloud*) - koji zajedno omogućavaju efikasno prikupljanje, obradu i analizu podataka u industrijskim okruženjima. Ova trodelna arhitektura omogućava hijerarhijsku obradu podataka i informacija, fleksibilnost i efikasnost u upravljanju, omogućavajući relativno brze odluke, dok istovremeno koristi snagu oblaka za dugoročne i složene analize i predikcije.



*Slika 2. Hibridni (poluvertikalni) IIoT koncept [6]*

Hibridna višeslojna IIoT koncepcija (slika 2) integriše ravansku i vertikalnu koncepciju pokušavajući da smanji kašnjenja, ali da istovremeno zadrži delimičnu hijerarhijsku obradu podataka i upravljanje [3-5]. Između svakog od navedenih hijerarhijskih nivoa se najčešće nalaze komunikacioni i mrežni zaštitni slojevi sa odgovarajućim softverskim i hardverskim zaštitama.

Na nivou oblaka se vrši centralizovana obrada i skladištenje podataka. Oblak omogućava pristup moćnim resursima za analitiku, mašinsko učenje i dugoročno skladištenje, pružajući globalni pregled podataka i podršku za napredne analize i prediktivne modele.

### 3. Veštačka inteligencija i mašinsko učenje

Veštačka inteligencija (AI) je oblast računarskih nauka koja se bavi razvojem sistema i algoritama koji mogu izvršavati zadatke na način sličan ljudskoj inteligenciji. Mašinsko učenje (ML) je podgrupa veštačke inteligencije koja se fokusira na razvoj algoritama i modela koji omogućavaju sistemima da „uče“ iz podataka i iskustava, umesto da se direktno programiraju za svaki pojedinačni zadatak.

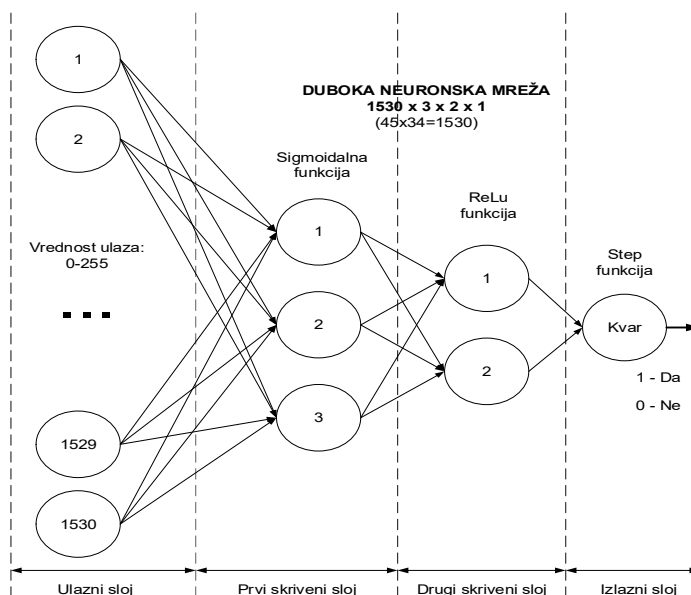
Postoje tri glavna tipa mašinskog učenja:

- **Nadzirano učenje:** Algoritmi se treniraju na označenim podacima, gde su ulazne vrednosti uparene sa odgovarajućim izlazima. Cilj je da model nauči pravila koja povezuju ulaze i izlaze kako bi mogao da pravilno predviđa izlaze za nove, nepoznate ulazne podatke.
- **Nenadzirano učenje:** Algoritmi rade sa neoznačenim podacima i pokušavaju da otkriju skrivene strukture ili obrasce u tim podacima.

- Učenje putem potkrepljenja: Algoritmi uče kroz interakciju sa okruženjem, gde se nagrađuju ili kažnjavaju na osnovu svojih odluka.

### Neuronske mreže

U savremenom svetu, neuronske mreže se široko primenjuju u različitim oblastima nauke i tehnike, gde god se koristi veštačka inteligencija. Duboke neuronske mreže (slika 3) su vrsta veštačkih neuronskih mreža koje se sastoje od više skrivenih slojeva između ulaznog i izlaznog sloja.



Slika 3. Duboka neuronska mreža sa dva skrivena sloja [1]

Ključna karakteristika dubokih neuronskih mreža je njihova sposobnost da modeliraju nelinearne odnose u podacima kroz višeslojnu arhitekturu i nelinearne aktivacione funkcije.

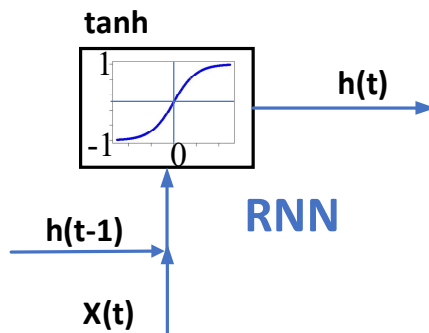
### Rekurentne neuronske mreže

Rekurentne neuronske mreže (RNN), Long Short-Term Memory (LSTM) i Gated Recurrent Unit (GRU) su tri glavne arhitekture u dubokom učenju koje se koriste za obradu sekvencijalnih podataka i vremenskih serija podataka. Svaka od ovih arhitektura ima svoje karakteristike i specifične primene.

#### RNN (Recurrent Neural Networks) rekurentne neuronske mreže

Rekurentne neuronske mreže (RNN, slika 4) su kreirane za obradu sekvencijalnih podataka i vremenskih serija koristeći povratne veze, što omogućava da trenutni izlaz zavisi od izlaza iz prethodnog vremenskog trenutka, čime mreža

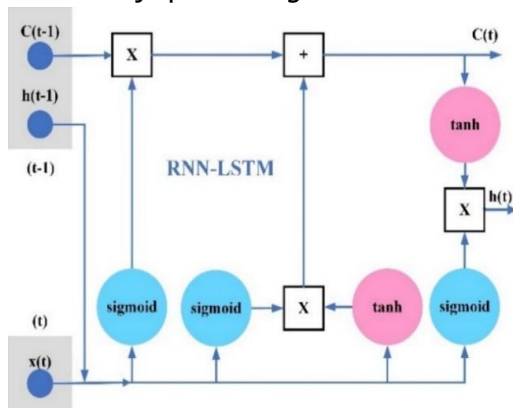
„pamti“ informacije iz ranijih koraka. Međutim, glavna mana standardnih RNN mreža je problem nestajućeg i eksplodirajućeg gradijenata, što otežava učenje dugoročnih zavisnosti u podacima.



Slika 4. RNN rekurentna mreža [7]

*LSTM (Long Short-Term Memory) rekurentne neuronske mreže*

LSTM rekurentne neuronske mreže (slika 5) su unapređene verzije RNN mreža, dizajnirane da efikasnije pamte dugoročne zavisnosti u podacima.



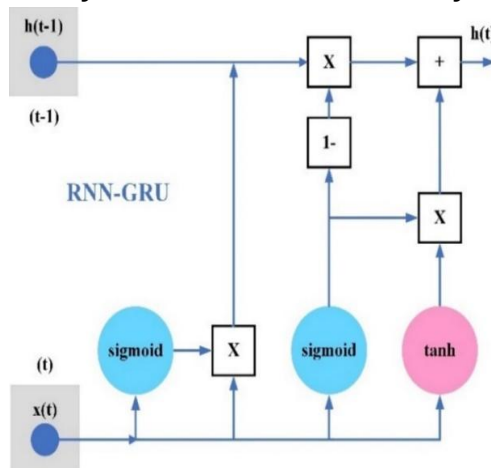
Slika 5. LSTM rekurentna mreža [7]

Ove mreže koriste tri glavne kapije – ulazna, zaboravna i izlazna – koje kontroliraju protok informacija kroz mrežu, omogućavajući bolju regulaciju i očuvanje relevantnih podataka tokom dužih vremenskih sekvenci.

LSTM mreže imaju dodatno stanje ćelije koje omogućava dugoročno pamćenje informacija, čime se rešava problem nestajućeg gradijenta. Zbog toga su veoma korisne za analizu i predikciju sekvencijalnih podataka, poput vremenskih serija, jezika, audio i video sekvenci. Koriste se u različitim oblastima, uključujući prevođenje jezika, analizu sentimenta i generisanje teksta.

### GRU (Gated Recurrent Unit) rekurentne neuronske mreže

GRU rekurentne neuronske mreže (slika 6) su pojednostavljena verzija LSTM-a, sa dva kapije – *Reset* i *Update*. Za razliku od LSTM-a, nemaju odvojeno stanje ćelije, što ih čini manje složenim i bržim za treniranje.

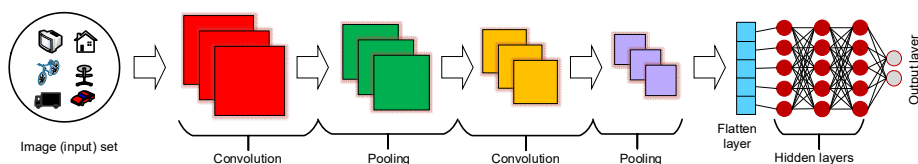


Slika 6. GRU rekurentna mreža [7]

GRU mreže često postižu slične performanse kao LSTM, ali koriste manje parametara, što može rezultirati bržim treniranjem. Koriste se za slične zadatke kao LSTM, poput obrade prirodnog jezika i predikcije vremenskih serija. Zbog svoje efikasnosti, GRU su posebno pogodne za aplikacije koje zahtevaju brzu obradu podataka u realnom vremenu.

## 4. Konvolucijske neuronske mreže (*Convolutional Neural Network*)

Konvolucijske neuronske mreže (CNN) su specijalizovane za obradu strukturiranih i višedimenzionalnih podataka kao što su slike i multivarijantne vremenske serije. CNN (slika 7) se sastoje od različitih slojeva, uključujući konvolucijske slojeve koji koriste filtere za prepoznavanje lokalnih obrazaca poput ivica i tekstura u slikama.

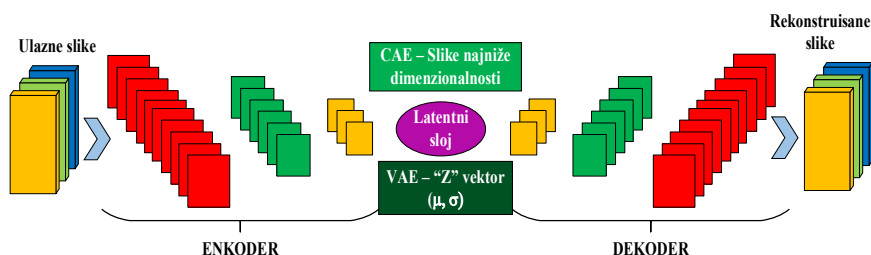


Slika 7. CNN konvolucijska neuronska mreža [8]

Filteri se pomeraju preko slike i primenjuju konvoluciju uz aktivacijske funkcije poput ReLU, koja pomaže u očuvanju pozitivnih vrednosti i ubrzava konvergenciju mreže. Puling sloj smanjuje dimenzije podataka kako bi se smanjilo računarsko opterećenje i broj parametara u mreži. Ravnajući sloj pretvara podatke u jednodimenzionalni niz koji se koristi kao ulaz za potpuno povezanu neuronsku mrežu za donošenje odluka. Izlazi CNN-a mogu biti klasifikacioni ili regresioni, zavisno od prirode problema.

## 5. Konvolucijski i varijacioni autoenkoderi

Autoenkoderi su posebna vrsta neuronskih mreža koja se koristi za generativno modeliranje i rekonstrukciju podataka. Ovo su nenadzirani modeli koji uče kako da komprimuju i rekonstruišu ulazne podatke tako što prolaze kroz latentni prostor ili sloj (slika 8).



*Slika 8. Arhitektura autoenkodera (CEA i VAE)*

Konvolucijski autoenkoderi (CAE) su specijalizovana verzija autoenkodera optimizovana za rad sa slikama. Umesto klasičnih potpuno povezanih slojeva, CAE koristi konvolucijske slojeve koji bolje prepoznaju prostorne odnose u slikama. Ovi slojevi pomažu mreži da efikasno komprimuje slike, zadržavajući ključne karakteristike. CAE se sastoji od dva glavna dela:

- **Encoder:** Ulazna slika prolazi kroz konvolucijske slojeve koji koriste aktivacijske funkcije (npr. ReLU) i smanjuju dimenzije slike putem max pooling-a, zadržavajući ključne informacije i uklanjajući suvišne.
- **Dekoder:** Podaci iz latentnog prostora, koji predstavlja komprimovanu sliku, prolaze kroz dekonvolucijske slojeve kako bi se rekonstruisala originalna slika.

Varijacioni autoenkoderi (VAE) su probabilistička verzija autoenkodera koja se fokusira na generisanje novih podataka sličnih ulaznim, ali ne identičnih, koristeći raspodelu u latentnom prostoru. VAE kombinuje principe autoenkodera sa probabilističkim modeliranjem, stvarajući latentni prostor sa raspodelom verovatnoće koja omogućava generisanje novih podataka.



## 6. Zaključak

Današnja tranzicija između industrijskih revolucija 4.0 i 5.0 je oslikana velikim promenama u strategijama i konceptima, kako upravljanja i odlučivanja, tako i procesima obrade podataka i automatizovanom donošenju odluka. Spoj fizičkog i virtualnog prostora, predstavljen u Internetu stvari, je od futurističke ideje, postao realnost. Sa druge strane, tehnike i tehnologije industrijskog koncepta Interneta stvari se svakim danom unapređuje snažnim i brzim uplivom tehnika i tehnologija oslonjenih na veštačku inteligenciju.

Veštačka inteligencija i mašinsko učenje donose revoluciju u pametnim industrijskim pogonima, omogućavajući naprednu analizu podataka, optimizaciju procesa i predikciju kvarova. Primena rekurentnih RNN, LSTM i GRU mreža u analizi vremenskih serija, kao i konvolucijskih CNN, CAE i VAE mreža i autoenkodera u obradi slika i generisanju podataka, postavlja temelje za budući razvoj pametnih industrijskih sistema. Prikazani modeli i algoritmi omogućavaju efikasnije korišćenje resursa, poboljšanje sigurnosti i smanjenje operativnih troškova, što doprinosi značajnom unapređenju modernih i budućih „pametnih“ industrijskih postrojenja.

Buduća istraživanja trebalo bi usmeriti na razvoj praktično primenljivih algoritama i modela mašinskog učenja sa ciljem njihove primene za unapređenje procesa predikcije, klasterizacije i klasifikacije u industrijskim i elektro-energetskim pogonima.

## 7. Literatura

- [1] Milić S, Primena veštačke inteligencije u industrijskom internetu stvari, *Seminar on Computer Science and Applied Mathematics*, Belgrade, Republic of Serbia, predavanje po pozivu u Matematičkom institutu SANU, pod pokroviteljstvom IEEE Chapter Computer Science (CO-16) Belgrade, Republic of Serbia, 29.11.2022.
- [2] Milić S, Veinović S, Ponjavić M, Industrial Internet of Things (IIoT) – Strategies and Concepts, *Proceedings of XIX International Symposium Infoteh-Jahorina 2020*, Vol.19, KST-4, pp. 81-85, Jahorina, Republic of Srpska, March 18-20, 2020.
- [3] Milić S, Kožićić M, Šiljkut V, Koncept *digitalnih blizanaca* u elektranama, *CIGRE - Srbija 35. Savetovanje*, Zbornik radova, rad D2-16, Zlatibor, Srbija, 22-26. maj 2023.
- [4] Milić S, Veinović S, Ponjavić M, Ivično računanje u industrijskom internetu stvari, Zbornik radova, *XX Međunarodni naučno-stručni simpozijum Infoteh-Jahorina 2021*, 20 (2021), oznaka rada O-1.2 (30). Jahorina, Republika Srpska, 17-19. mart 2021.

- [5] Chalapathi G. S. S, Chamola V, Vaish A, Buyya R, 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*, 2021.
- [6] Milić S, Stojadinović G, Tomić N, Prilagođenje postojećih sistema daljinskog nadzora IIoT konceptima sa hijerarhijski definisanim nivoima obrade podataka, *CIGRE - Srbija 35. Savetovanje*, Zbornik radova, rad R D2 - 09, Zlatibor, Srbija, 03-08. oktobar 2021.
- [7] Milić S, Kožićić M, AI-Based Temperature Monitoring System for Hydro Generators, *23<sup>rd</sup> International Symposium INFOTEH-JAHORINA*, 20-22 March 2024.
- [8] Lazić A, Milić S, Vukmirović D, The Future of Electronic Commerce in the IoT Environment, *Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research*. 19(1):172-187, 2024.