

Sistem za praćenje proizvodnih procesa zasnovan na tehnologiji interneta stvari

Nenad Jovičić, Nemanja Janković

Apstrakt—U radu je opisana realizacija sistema za praćenje proizvodnog procesa zasnovanog na konceptu i tehnologijama Interneta stvari (*Internet of Thing* – IoT). Analizirana je motivacija za realizaciju ovakvog sistema sa aspekta modernih trendova u okviru Industrije 4.0. Dat je opšti prikaz arhitekture sistema sa softverskog i hardverskog stanovišta. Opisani su hardver i firmver univerzalnog senzorsko-aktuatorskog čvora i softver serverskih aplikacija koje se bave obradom, čuvanjem i prezentacijom podataka. Prikazana je konkretna primena sistema u proizvodnom procesu u drvenoj industriji. Diskutovane se prednosti i mane rešenja i dat je osvrt na buduća unapređenja.

Ključne reči—IoT, proizvodni procesi, produktivnost.

I. UVOD

Industrija 4.0, takođe poznata kao četvrta industrijska revolucija, uključuje integraciju naprednih tehnologija poput veštačke inteligencije, Interneta stvari, računarstva u oblaku, analize velikih količina podataka i robotike u stvaranju "pametnih fabrika" koje mogu da funkcionišu sa većom efikasnošću, fleksibilnošću i autonomijom [1]. Industriju 4.0 karakteriše digitalizacija fizičkih sredstava i procesa, korišćenje podataka u realnom vremenu za optimizaciju operacija i razvoj novih poslovnih modela koji koriste mogućnosti ovih tehnologija. Ona transformiše način poslovanja i stvara nove mogućnosti za rast i inovacije.

Prvi korak u razvoju predstavljenih standarda je digitalizacija proizvodnih procesa. Koncept digitalnog blizanca (*Digital Twin*) uveden početkom ovog veka [2], podrazumeva prikupljanje svih značajnih podataka iz realnog proizvodnog procesa u cilju pravljenja virtualne replike procesa na udaljenom računaru [3]. U poslednje vreme postoji sve veća tendencija da se kompleksne analize pa čak i upravljanja procesima poveravaju algoritmima veštačke inteligencije [4].

Istraživanja pokazuju da osim praćenja i upravljanja postojećim procesima integracija podataka primenom metoda digitalizacije može na razne načine i u raznim industrijama da doprinese i stvaranju novih prilika što uvodi koncept inteligentne proizvodnje [5].

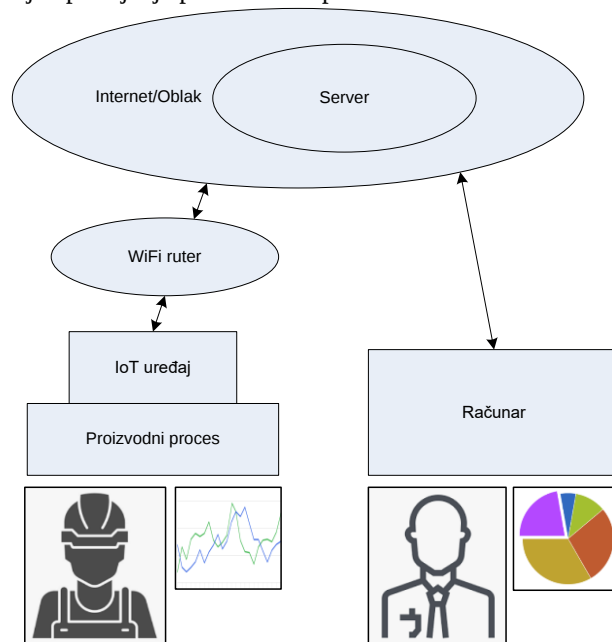
Iako je jasno kako bi trebalo da izgleda fabrika budućnosti, migracija se mora odvijati postepeno, što stvara potrebu za digitalizacijom tradicionalnih industrija koje se odlikuju

raznolikošću tehnologija i opreme. Nezanemarljiv broj proizvodnih procesa u većini tradicionalnih i značajnom broju modernih industrijskih pogona počiva na poluautomatskom ili ručnom radu, što nameće potrebu da se i ti procesi digitalizuju. Gledano sa ekonomskog stanovišta, stalno se teži povećavanju ukupne efikasnosti i dosta istraživanja se bavi tom problematikom [6].

U radu je predstavljena koncept i implementacija sistema za praćenje i kontrolu proizvodnje u drvenoj industriji korišćenjem tehnologija Interneta stvari. Karakteristika drvene industrije je velika raznolikost i nestandardizovanost opreme i značajan udeo ljudskog rada u poluautomatskoj i ručnoj proizvodnji. Iz toga je i proistekla motivacija da se osmisli jednostavan ali univerzalan sistem koji se može povezati praktično na svaku mašinu, bez obzira na njen stepen automatizacije, i preko kojeg se istovremeno može pratiti i aktivnost rukovaoca.

II. ARHITEKTURA SISTEMA

Opšta arhitektura sistema za praćenje proizvodnih procesa je prikazana na slici 1. IoT terminalni uređaji poseduju standardne digitalne i analogne interfejsa koji omogućavaju očitavanje informacija o stanjima i zadavanje parametara ili akcija upravljanja proizvodnim procesom.



Sl. 1. Opšta arhitektura sistema. Terminalni uređaji prate stanja i kontrolišu proizvodni proces. Preko odgovarajućeg interfejsa su povezani na internet tj. na server u kome se vrši obrada podataka. Sa druge strane korisnici podataka pristupaju informacijama.

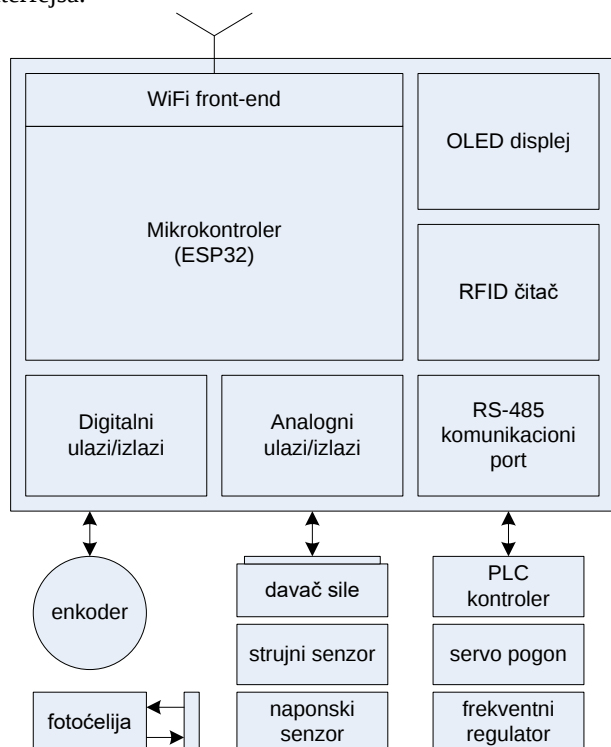
Nenad Jovičić – Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Bulevar Kralja Aleksandra 73, 11020 Beograd, Srbija (e-mail: nenad@etf.bg.ac.rs).

Nemanja Janković – Microsoft Development Center Serbia, Španskih boraca 3, 11070 Beograd, Srbija (e-mail: jjankovicnemanja@gmail.com).

Informacije se preko odgovarajuće pristupne tačke, u ovom slučaju WiFi rutera, razmenjuju sa centrom za obradu podataka koji se nalazi negde u Oblaku. Sa druge strane, obrađenim podacima se pristupa preko korisničkih računara, putem web pristupa ili korišćenjem specijalizovanih aplikacija.

III. HARDVER

Na slici 2 prikazana je blok šema hardvera terminalnog uređaja. Centralna kontrola poverena je mikrokontroleru ESP32 serije, koji je izabran jer inherentno podržava bežični prenos podataka posredstvom WiFi mreže. Pristup proizvodnom procesu obezbeđen je preko industrijskih interfejsa.



Sl. 2. Blok šema hardvera sa istaknutim industrijskim interfejsima i tipičnim senzorima i aktuatorima.

Digitalni ulazi se koriste za očitavanje prekidačkih signala, kao što su mehanički prekidači, induktivni prekidači, fotočelije ali i kompleksniji uređaji kao što su inkrementalni enkodери.

Digitalni izlazi mogu da imaju funkciju daljinskog uključivanja prekidačkih aktuatora, signalih lampi i sl.

Analogni ulazi su realizovani u formi čitača strujnog signala 4-20 mA, i pogodni su za očitavanje raznih tipova davača sile, struje, napona, pritiska i slično.

RS-485 komunikacioni port omogućava da se terminalni uređaj ponaša ili kao master ili kao slejv na magistrali po kojoj se komunicira preko MODBUS-RTU protokola. Ovaj interfejs se može koristiti za povezivanje na postojeće PLC kontrolere, ali i za direktno upravljanje pametnim uređajima kao što su frekventni regulatori, servo pogoni ili korisnički

paneli osetljivi na dodir.

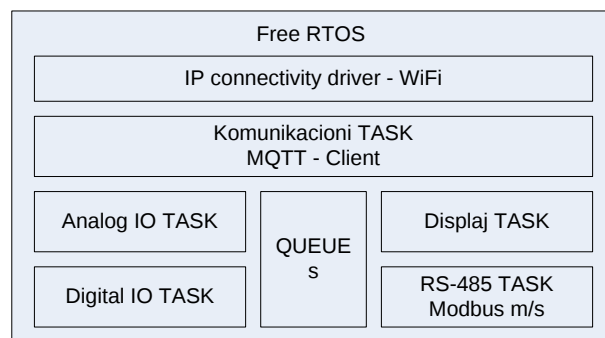
Pored osnovne funkcija povezivanja na industrijski proces, terminalni uređaj poseduje i minijaturni korisnički interfejs. OLED displej dimenzija 128x64 piksela služi za ispisivanje najosnovnijih podataka o statusima rada mašine, ali se na njemu mogu ispisivati i poruke primljene sa servera. RFID čitač se koristi za očitavanje identifikacionih kartica zaposlenih, na osnovu čega se unakrsno može povezivati rad mašine sa trenutno prisutnim operaterima.

IV. FIRMVER

Blok dijagram softvera terminalnog uređaja prikazan je na slici 3. Softver je zasnovan na *Free-RTOS* operativnom sistemu za rad u realnom vremenu i organizovan je u procese (Taskove), tako da njihova struktura oponaša strukturu hardvera.

Osnovni proces je komunikacioni proces koji se oslanja na već obezbeđeni komunikacioni drajver. Kao protokol komunikacije između terminalnog uređaja i servera izabran je MQTT protokol, opšteprihvaćeno IoT rešenje koji se koristi za razmenu malih količina podataka [7].

Svaki od interfejsa, digitalni, analogni, serijski i korisnički podržan je preko dodeljenog procesa.



Sl. 3. Blok šema firmvera realizovanog u *Free-RTOS*-u sa istaknutim glavnim procesima.

V. SOFTVER

Arhitektura softvera u Oblaku je prikazana na slici 4. Nastala je modifikacijom poznate Lambda arhitekture koja je jedan od standarda u današnjem Internetu stvari [8].

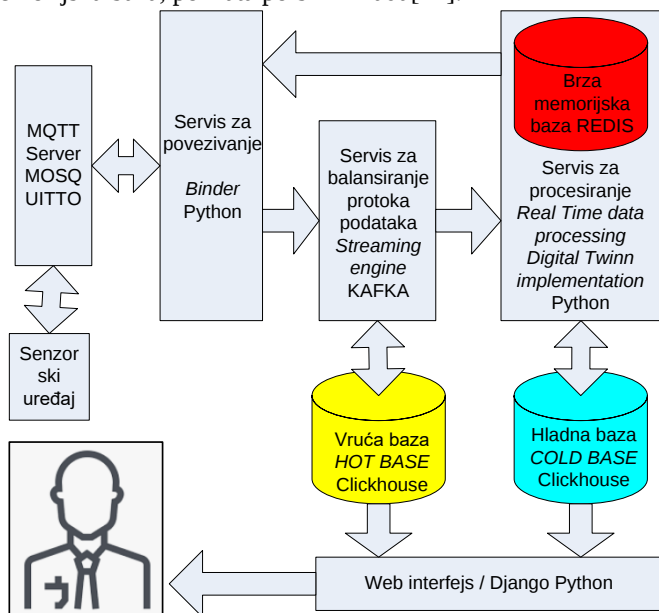
Implementacija MQTT komunikacije na serveru poverena je softveru otvorenog koda pod nazivom *Eclipse Mosquitto* [9].

Glavna korisnička aplikacija koja komunicira sa MQTT serverom je takozvani *Binder* (povezivač), pisan u programskom jeziku *Python*. *Binder* je zadužen za preuzimanje poruka poslatih od strane terminalnih uređaja, njihovo dešifrovanje, razlučivanje adresa i upisivanje poruka i servis za tok podataka (striming servis).

Kao striming servis koristi se *Apache Kafka* [10], koja funkcioniše kao privremena baza podataka i služi za balansiranje opterećenja u slučaju sistema koji poseduju veliki broj terminalnih uređaja. Ovde se vidi glavna karakteristika *Lambda* arhitekture po kojoj se direktan tok podataka kroz jednu granu preusmerava direktno u takozvanu vruću bazu

(baza neobrađenih podataka u realnom vremenu), dok se drugi tok preusmerava na servis za obradu podataka. Prednost striming servisa je što se već upisani podaci iz vruće baze u bilo kom momentu mogu ponovo preusmeriti na obradu kao da stižu sa terminalnih uređaja.

Servis za obradu podataka je pisan u programskom jeziku *Python*. U njemu se izvršavaju procesi i funkcije koje implementiraju Digitalne blizance. S obzirom da te implementacije zahtevaju veliki broj trenutnih i istorijskih podataka, kao medijum za skladištenje se koristi *REDIS* memorijska baza, poznata po brzini rada[11].



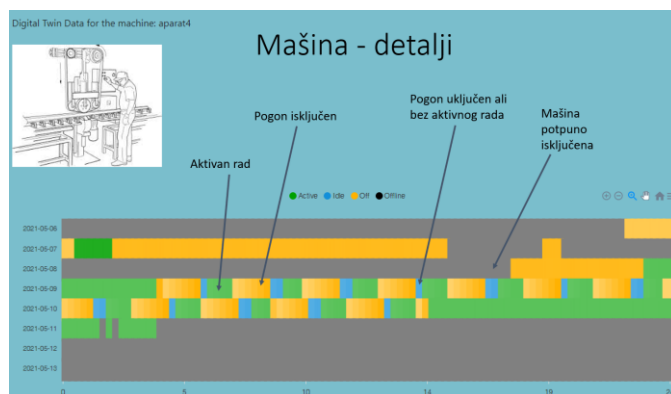
Sl. 4. Arhitektura softvera na serveru.

Izlaz obrađenih podataka se preusmerava u takozvanu hladnu bazu (baza obrađenih podataka koji ne moraju pristizati u realnom vremenu). I vruća i hladna baza su realizovane korišćenjem *ClickHouse* baze otvorenog koda, poznate po svojoj brzini rada [12].

Pristup podacima od strane korisnika realizovan je preko *Web* interfejsa, a implementacija je izvedena u *Django Python* softveru otvorenog koda [13]. Pristup vrućoj bazi je potreban radi prikazivanja trenutnih podataka o stanjima uređaja, dok se pristupom hladnoj bazi dolazi do raznih vrsta izveštaja, obično potrebnih za periodičnu analitiku.

VI. REZULTATI

Opisani sistem je u implementiran u više pogona drvne industrije i pokazao se kao korisno i stabilno rešenje. Na slici 5 je prikazan jedan primer *Web* interfejsa, sa Gantovim dijagramom za izabranu mašinu sa prikazom poslednjih 7 dana u nedelji, 00-24h.



Sl. 5. Primer jednog ekrana korisničkog interfejsa sa Gantovim dijagramom.

VII. ZAKLJUČAK

Sistem je uspešno implementiran i pokazao je dobre rezultate. Testiran je rad sa nekoliko desetina terminalnih uređaja koji su slali podatke u minutnim. Opterećenje servera koji radi na učestanosti 1GHz i raspolaže sa 1Gb RAM memorije je dostizalo nivo od 12% punog opterećenja. Dodatno opterećenje je stvarano prilikom upita na *Web* server, ali intenzitet tog opterećenja nije svrsishodno porediti jer nivo opterećenja direktno zavisi od tipa zahtevane obrade podataka.

Jedna od glavnih arhitekturnih osobina sistema je komunikacija preko WiFi mreže. Sa jedne strane to znatno olakšava instalaciju celog sistema, jer nije potrebno provlačiti bilo kakve komunikacione provodnike, ali istovremeno može da se protumači i kao ograničenje, ili bar nedovoljno dobar bežični interfejs.

Buduća unapređenja sistema bi mogla da uključe dodavanje dodatnih komunikacionih kanala kao što su NB-IoT konektivnost, što bi omogućilo i da mašine koje se nalaze van dometa WiFi infrastrukture budu povezane na internet.

LITERATURA

- [1] Lasi, Heiner, et al. "Industry 4.0." *Business & information systems engineering* 6 (2014): 239-242.
- [2] Tao, Fei, et al. "Digital twin in industry: State-of-the-art." *IEEE Transactions on industrial informatics* 15.4 (2018): 2405-2415.
- [3] Chabanet, Sylvain, et al. "Toward digital twins for sawmill production planning and control: benefits, opportunities, and challenges." *International Journal of Production Research* (2022): 1-24.
- [4] Liu, Yuehua, et al. "Empowering IoT predictive maintenance solutions with AI: A distributed system for manufacturing plant-wide monitoring." *IEEE Transactions on Industrial Informatics* 18.2 (2021): 1345-1354.
- [5] Zhong, Ray Y., et al. "Intelligent manufacturing in the context of industry 4.0: a review." *Engineering* 3.5 (2017): 616-630.
- [6] Fekri Sari, Mahsa, and Soroush Avakh Darestani. "Fuzzy overall equipment effectiveness and line performance measurement using artificial neural network." *Journal of quality in maintenance engineering* 25.2 (2019): 340-354.
- [7] Hunkeler, Urs, Hong Linh Truong, and Andy Stanford-Clark. "MQTT-S—A publish/subscribe protocol for Wireless Sensor Networks." 2008 3rd International Conference on Communication Systems Software and Middleware and Workshops (COMSWARE'08). IEEE, 2008.
- [8] Warren, James, and Nathan Marz. *Big Data: Principles and best practices of scalable realtime data systems*. Simon and Schuster, 2015.
- [9] <https://mosquitto.org/> pristupano marta 2023.

- [10] <https://kafka.apache.org/> pristupano marta 2023.
- [11] <https://redis.io/> pristupano marta 2023.
- [12] <https://clickhouse.com/> pristupano marta 2023.
- [13] <https://www.djangoproject.com/> pristupano marta 2023.

ABSTRACT

The paper describes the implementation of a system for monitoring the production process based on the concept and technologies of the Internet of Things (IoT). The motivation for implementing such a system was analyzed from the aspect of modern trends within Industry 4.0. A general view of the system architecture from the software and hardware point of view is given. The hardware

and firmware of the universal sensor-actuator node and the software of server applications dealing with data processing, storage and presentation are described. The concrete application of the system in the production process in the wood industry is presented. The advantages and disadvantages of the solution are discussed and an overview of future improvements is given.

A system for monitoring production processes based on Internet of Things technology

Nenad Jovicic, Nemanja Jankovic