

NADZOR DISTRIBUIRANIH PROIZVODNIH VOZLIŠČ

Miha PIPAN, Hugo ZUPAN, Jernej PROTNER, Niko HERAKOVIČ

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Lasim

POVZETEK

V prispevku predstavljamo nov pristop za izvedbo nadzora in krmiljenja proizvodnih vozlišč v pametni tovarni, kjer sistem namesto z MES nadziramo z digitalnimi dvojčki in digitalnimi agenti. Standardni MES in ERP sistemi temeljijo na centralizaciji vseh podatkov in izvajanju odločitvenih algoritmov v oblacnem strežniku. Vendar najnovejši IT trendi uporabljajo nove decentralizirane sisteme upravljanja za shranjevanje podatkov in izvajanje odločitvenih algoritmov z namenom skrajšati odzivnih časov ter povečave varnost.

1. UVOD

Pametna tovarna, ki vključuje smernice industrije 4.0 temelji na naslednjih konceptih: Internet stvari (IoT), industrijski internet stvari (IIoT), pametna proizvodnja in proizvodnja v oblaku. Posamezni segmenti pametne tovarne so [1]: vodoravna in vertikalna sistemska integracija, vele / pametni podatki (Big/Smart Data) in njihova analitika, kolaborativni in avtonomni roboti, simulacijski modeli in digitalni dvojčki, kibernetika varnost, 3D tisk, industrijski IoT (IIoT) in razširjena resničnost.

Cilj pametne tovarne ne sme biti samo prilagodljiva proizvodnja (variantnost izdelka), temveč tudi prilagodljiv proizvodni proces (proizvodni proces, ki ga je mogoče nadgraditi in tudi spremeniti) [2].

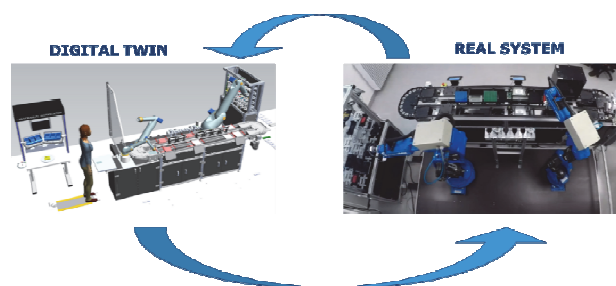
2. PAMETNA TOVARNA

Predstavljen koncept pametne tovarne ima distribuirano hierarhično strukturo, ki omogoča prilagodljiv proizvodni proces [3]. Distribuirana proizvodna vozlišča omogočajo splošno povezljivost / funkcionalnost in hitrejše odzivne čase, saj se sprejemanje odločitev, optimizacija procesov, preverjanje kakovosti ter reševanje napak izvaja lokalno brez komunikacijskih zamud. Vozlišča lahko komunicirajo medsebojno ter z digitalnim dvojčkom z namenom optimizacije proizvodnega procesa.

2.1 PAMETNA TOVARNA IN DIGITALNI DVOJČEK

Osnova predlaganega koncepta pametne tovarne, je digitalni dvojček vse logistike in procesov, nadgrajen z digitalnimi agenti (umetna inteligenca). Digitalni dvojček je povezan z vsakim proizvodnim vozliščem v pametni tovarni in s tem s celotnim proizvodnim procesom (Slika 1). Tako je možno optimizirati globalne procese (odločitve glede vrstnega reda naročil glede na čas proizvodnje, stanje skladišča in trenutno proizvodno stanje).

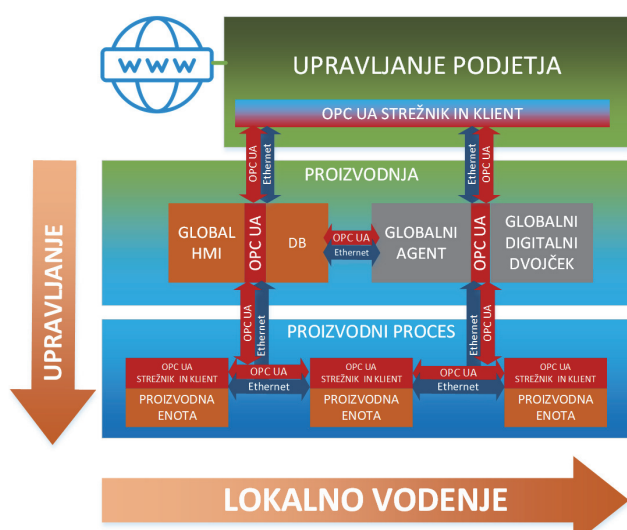
Digitalni dvojček in digitalni agenti za optimizacijo, uporabljajo t.i. »black box« in »white box« metode in tako omogočajo lokalno optimizacijo.



Slika 1: Komunikacija v realnem času med digitalnim dvojčkom in realnim sistemom je temelj vsake pametne tovarne.

2.2 DIGITALNI DVOJČEK KOT MES SISTEM

Digitalni dvojček lahko nadomesti klasični MES sistem v kolikor vključuje podatke o celotni logistiki in vseh procesih, ter je vključen v proizvodno IT strukturo za zbiranje podatkov iz ERP sistema (naročila, stanje skladišča, delavci in njihov urnik,...) ter proizvodnih vozlišč (stanje povezanih proizvodnih enot, status proizvodnje, enote za samodejno preverjanje...), kot je prikazano na Sliki 2.

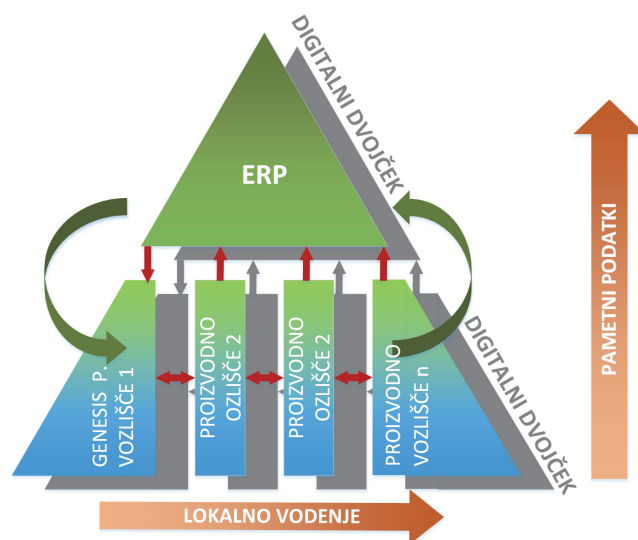


Slika 2: Predlagana distribuirana proizvodna struktura v povezavi z digitalnim dvojčkom.

2.3 IZMENJAVA PODATKOV MED VOZLIŠČI

Predlagani model (Slika 3) uporablja usmerjeno komunikacijo med sistemi upravljanja podjetja in proizvodnimi / montažnimi vozlišči. Vsa naročila so strukturirana na podlagi trenutne strukture proizvodne mreže in optimalnega vrstnega reda naročil, pridobljenega s pomočjo digitalnega dvojčka opremljenega z digitalnimi agenti. Naročila so poslana v t.i »genesis« proizvodno vozlišče, ki omogoča začetek proizvodnega procesa. To vozlišče šifrira proizvodna / montažna navodila za vsa vozlišča, ki so del posameznega naročila / proizvodnega procesa. Podatki o proizvodnji se nahajajo na vsakem izdelku (oznaka RFID, mikročip...).

Podatkovni moduli na izdelku služijo tudi za izvajanje komunikacijskega protokola, s katerim se izvede prenos podatkov med proizvodnimi vozlišči, za lokalno krmiljenje proizvodnega procesa.



Slika 3: Proizvodna vozlišča, 'genesis' vozlišče in digitalni dvojček kot digitalna senca celotnega procesa.

Med proizvodnim procesom so izbrani podatki (pametni podatki) poslani po lokalnem omrežju v ERP sistem. S tem se omogoči sledenje naročilom in stanju vseh proizvodnih vozlišč. Pametni podatki predstavljajo podatke, filtrirane z lokalnim agentom. Napake v proizvodnji / montaži se odpravljajo lokalno pri manjših motnjah in globalno v proizvodnih vozliščih s pomočjo digitalnega dvojčka za reševanje logističnih motenj. Digitalni dvojček tako ob nastali motnji optimizira vrstni red in lokacijo izvajanje naročil.

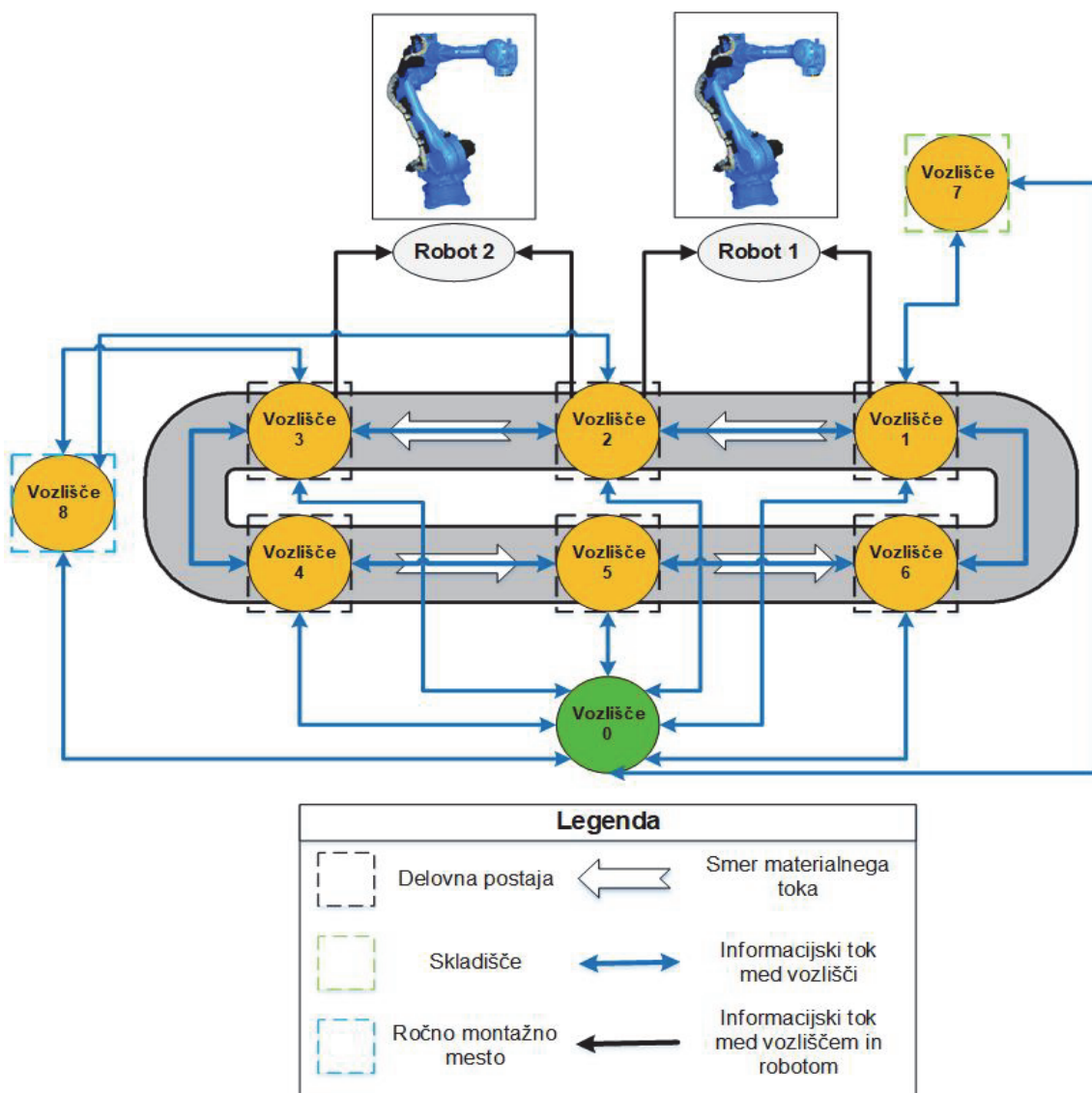
3. IMPLEMENTACIJA KONCEPTA

Za prikaz in potrditev predlaganega koncepta nadzorne strukture je bila izvedena eksperimentalna študija primera. Študija zajema proizvodno linijo, ki je shematično prikazana na Sliki 4. Sestavljena je iz transportne linije, dveh industrijskih robotov, skladišča baznih delov in končanih izdelkov, šestih avtomatiziranih delovnih postaj ter pametnega ročnega

montažnega mesta. Na testni liniji se izvaja montaža dveh tipov izdelkov. Bazni deli so locirani v skladišču in jih industrijski robot transportira na transportni sistem. Po krožnem tračnem transporterju se palete transportirajo od prve delovne postaje do zadnje. Operacije se izvajajo z dvema industrijskima robotoma, na šestih delovnih mestih in po potrebi na sedmem delovnem mestu – ročno montažno mesto. Kolaborativni robot služi kot povezava med avtomatizirano proizvodno linijo in pametnim ročnim montažnim mestom. Za predstavitev

predlagane nadzorne strukture je uporabljenih devet vozlišč:

- šest vozlišč predstavlja avtomatizirane delovne postaje (vozlišča 1 do 6),
- eno vozlišče predstavlja skladišče (vozlišče 7) in
- eno vozlišče predstavlja pametno ročno delovno mesto (vozlišče 8).



Slika 4: Predlagana distribuirana proizvodna struktura v povezavi z digitalnim dvojčkom.

Zadnji del predlagane nadzorne strukture je vozlišče 0 z globalnim digitalnim dvojčkom, ki koordinira celotni proizvodni proces. Vozlišče 0

služi kot neposredna komunikacijska povezava od uporabnika do preostalega sistema. Različne barve puščic na Sliki 4 predstavljajo možne

komunikacijske tokove med vozlišči za dinamično planiranje, načrtovanje in izvedbo proizvodnega procesa, ki jih digitalni agenti in lokalni digitalni dvojčki lahko izvajajo v koordinaciji z globalnim digitalnim dvojčkom.

3.1 PRENOS KRMILNIH PODATKOV

Proces v pametni tovarni se začne tako, da uporabnik potrdi naročila prek uporabniškega vmesnika na vozlišču 0. Le-to z uporabo senzorjev, kamer itd. zajame trenutno stanje vmesnih zalogovnikov ob transportni liniji, stanje orodij ter pridobi informacijo o razpoložljivosti baznih delov izdelka od vozlišča 7 (skladišče) in sproži pretok informacij med vozlišči. Globalni digitalni dvojček (na vozlišču 0) na podlagi informacij iz zajetega stanja sistema, generira načrt celotnega proizvodnega procesa. Nato počaka na zahtevo po lokalnih informacijah o procesu od vozlišča 1, ki sporoči, da je prosto in pripravljeno na obdelavo novega naročila. Vozlišče 0 se odzove tako, da pošlje informacije o lokalnih operacijah, ki jih je potrebno izvesti na delovni postaji vozlišča 1. Vozlišče 1 vzpostavi komunikacijo z vozliščem 7 in robotom 1, da pridobi potrebne sestavne dele. Glede na to, ali bo izdelek procesiran na delovni postaji dve ali tri (vozlišče 2 ali 3) ali na obeh, se tam nadaljuje pretok informacij, kar pomeni, da vozlišča, ki niso del proizvodnega načrta za posamezno naročilo, ne sodelujejo v komunikaciji za to naročilo.

Ko je polizdelek transportiran na ustrezno delovno postajo, njegovo vozlišče sproži komunikacijo z vozliščem 0 in zahteva informacije o svojem lokalnem proizvodnem procesu. Obe vozlišči 2 in 3 komunicirata z robotom 2 za izvajanje potrebnih operacij. Odvisno od vrste izdelka bodisi vozlišče 2 ali vozlišče 3 vzpostavi komunikacijo z vozliščem 8 (ročna delovna postaja), ki po prenosu polizdeyka tja (z uporabo kolaborativnega robota) zahteva ustrezne informacije o postopku od vozlišča 0. Po koncu operacij na ročnem delovnem mestu je polizdelek transportiran do vozlišča 4, kjer se opravi analiza kakovosti s strojnim vidom.

Rezultat analize se lokalno primerja z dejanskimi podatki (prej pridobljenimi iz vozlišča 0).

Ne glede na to, ali je izdelek uspešno končan ali pa je potrebno popravilo izdelka, je informacija o statusu izdelka posredovana do vozlišča 1 preko komunikacije z vozliščem 0. Globalni digitalni dvojček (na vozlišču 0) opremljenem z digitalnimi agenti, na podlagi rezultata analize s strojnim vidom, presodi ali je potrebno proizvodni načrt prilagoditi (spremeniti) ali ne. Vozlišča 5 in 6 izmenjujeta podoben pretok informacij z vozliščem 0, kot vozlišča 1, 2 in 3.

Potrebno je izpostaviti, da je pretok informacij (komunikacija) med posameznimi vozlišči ter vozliščem 0 dvosmerna. To pomeni, da se zahtevane informacije o postopku izdelave obdelujejo lokalno na vseh vozliščih, ki nato nazaj na vozlišče 0 pošljejo lokalno pridobljene nove informacije, tj. začetne in končne čase izvedenih operacij, informacije o napakah itd.

4. ZAKLJUČEK

Če so hierarhija in komunikacijski kanali pravilno definirani in organizirani, lahko distribuirana vozlišča z digitalnim dvojčkom predstavljajo temelj pametne tovarne. Tako lahko dosežemo sledljivost izdelka in minimiziramo potrebno komunikacijo ter s tem količino podatkov v nadzorni strukturi. Tako lahko namesto z vele podatki (Big Data) operiramo z t.i. pametnimi podatki (Smart Data).

Literatura

- [1] Vaidya, S., Ambad, P. and Bhosle, S. (2018). *Industry 4.0 – A Glimpse. Procedia Manufacturing*, 20, 233 – 238.
- [2] Fernández-Miranda, S.S., Marcos, M., Peralta, M.E. and Aguayo, F. (2017). *The challenge of integrating Industry 4.0 in the degree of Mechanical Engineering. Procedia Manufacturing*, 13, 1229 – 1236.
- [3] Thames, L. and Schaefer, D. (2016). *Software-defined cloud manufacturing for Industry 4.0. Procedia CIRP*, 52, 12 – 17.
- [4] Schleipen, M., Gilani, S-S., Bischoff, T. and Pfrommer, J. (2016). *OPC UA & Industry 4.0 – enabling technology with high diversity and variability. Procedia CIRP*, 57, 315 – 320.