

KONCEPT ADAPTIVNOG UPRAVLJANJA PROCESA U AUTONOMNIM PROIZVODNIM SISTEMIMA KOJI SAMI UČE

Seid Žapčević¹, Peter Butala²

¹Univerzitet u Bihaću, Tehnički fakultet, Dr. I. Ljubljankića bb, 77000 Bihać, Bosna i Hercegovina
zapcevic.seid@gmail.com

²Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Aškerčeva 6, 1000 Ljubljana, Slovenija
peter.butala@fs.uni-lj.si

Ključne riječi: Proizvodni sistem, Samo-učenje, Adaptivno upravljanje

SAŽETAK:

Važan preduvjet za prilagođavanje proizvodnih sistema je sposobnost učenja, proces baziran na otkrivanju i rastu znanja. Cilj ovog istraživanja je da se otkrije znanje ispitivanjem velike količine proizvodnih podataka, skupljenih u realnom vremenu, za vrijeme proizvodnih operacija i da se dobivene spoznaje upotrijebe za podršku odlučivanja i adaptivnog upravljanja procesa.

Rad predstavlja koncept adaptivnog upravljanja procesa baziran na mehanizmu samo-učenja u autonomnim proizvodnim sistemima. Koncept samo-učenja uvodi petlju za učenje u proizvodni sistem sastavljenu od prikupljanja podataka, kopanja podataka, i modela za izgradnju znanja. Demonstracija koncepta adaptivnog upravljanja procesom bazirana je na industrijskim podacima skupljenim za vrijeme operacija lijevanja pod visokim pritiskom. Koncept je generičan i može se primjeniti na sve industrijske procese kao što su: tokarenje, glodanje, brušenje, zavarivanje i drugi.

1. UVOD

Istraživanje u adaptivnom upravljanju počinje u 50-tim godinama 20. stoljeća [1], koje je bilo motivirano problemima u projektiranju autopilota za avione koji operiraju u širokom obimu brzina i visina. Od tada pa dalje imamo energičan razvoj adaptivnog upravljanja [2], koje se primjenjuje u: naprednim sistemima upravljanja za letenje za avione ili svemirske letjelice, robotske manipulatore, upravljanje procesima, elektroenergetskim sistemima i drugo. Intenzivan razvoj u području adaptivnog upravljanja za procese mašinske obrade javlja se u 1960-tim, nakon ogromnog rasta broja kompjuteriziranih numeričko upravljanjih (CNC) sistema u svim poljima proizvodnje. Uobičajena merna ovih sistema je da su varijable za upravljanje mašinskom obradom, takve kao brzine ili posmaci, propisane od strane programera obratka i zbog toga zavise o njegovom ili njenom iskustvu i znanju [3,4]. Cilj adaptivnih sistema upravljanja u proizvodnji je poboljšati porast proizvodnje ili kvalitetu radnog komada postavljajući u realnom vremenu optimalne varijable mašinske obrade, bazirane na mjerenjima drugih varijabli procesa.

2. KONCEPT AUTONOMNOG RADNOG SISTEMA KOJI SAM UČI

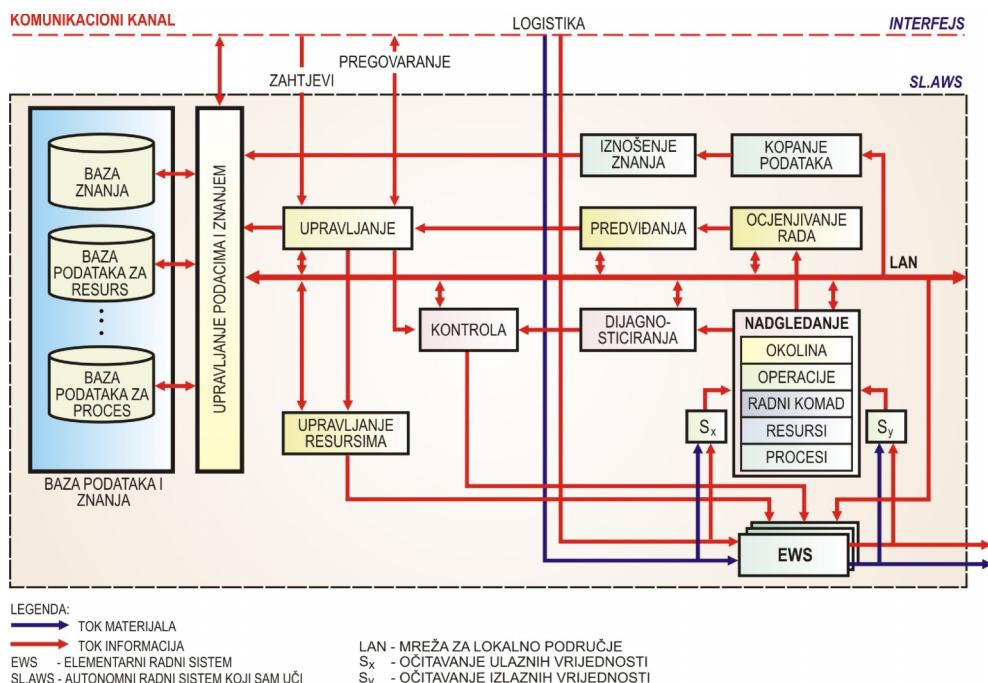
Cilj ovog istraživanja je podrška donošenju odluka na različitim nivoima proizvodnih sistema sa specifičnim znanjem u području stečenim iz historijskog iskustva i spoznaja izvedenih iz operacijskih

S. Žapčević , P.Butala - Koncept adaptivnog upravljanja procesa u autonomnim proizvodnim sistemima koji sami uče

podataka. Očekuje se da će novo znanje doprinijeti u poboljšanju upravljanja i kontrole proizvodnih sistema. Koncept adaptivnog upravljanja u autonomnim radnim sistemima koji sami uče se temelji na mehanizmu samo-učenja. Mehanizam samo-učenja je detaljno objašnjen u radovima [5-8]. Struktura autonomnog radnog sistema koji sam uči (SL.AWS – Self-learning Autonomous Work System) otkrivena je na slici 1. SL.AWS temelji na autonomnom radnom sistemu (AWS). U [9] uveden je autonomni radni sistem (AWS) i definisan je kao proizvodni sistem sa zaokruženom tehnološkom funkcionalnošću i odgovarajućom funkcionalnošću upravljanja koja je sposobna i kompetentna u obavljanju određenih proizvodnih procesa. Kao takav, on je autonomne i vitke proizvodne strukture sa podesnim blokovima za izgradnju unutar- i/ili između -proizvodnih mreža preduzeća.

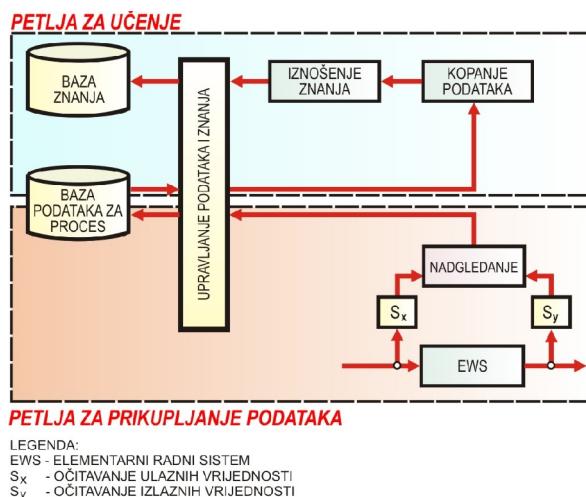
AWS se sastoji od entiteta za upravljanje, osnovnih radnih entiteta (tj., elementarnih radnih sistema ili EWS), i entiteta za nadgledanje. Entiteti su strukturirani u dvije upravljačke petlje za upravljanje i kontrolu operacija. Unutarnja upravljačka petlja omogućava upravljanje operacija u realnom vremenu i sastoji se od planiranja i kontrole od strane kontrolora uz praćenje povratne informacije od senzora. Vanjska upravljačka petlja omogućava performansom bazirano upravljanje preko upravljanja resursima i ocjenjivanjem performase putem povratne informacije. Osnovna struktura također uključuje bazu podataka i znanja (D&K) i komunikacionu infrastrukturu LAN [9]. Upravljačke petlje i baza D&K formiraju nezavisni informacioni sistem AWS, koji odgovara sistemu za izvršavanje proizvodnje (MES) [10] i omogućava autonomiju AWS kao i komunikaciju sa drugim sistemima u mreži.

Struktura SL.AWS, osim osnovne strukture AWS, koja je strukturirana u upravljačkoj petlji realnog vremena i petlji za upravljanje performansom (kako je gore opisano), posjeduje petlju za učenje, koja je dodana na vrh strukture.



Slika 1: Model autonomnog radnog sistema koji sam uči – SL.AWS

Slika 2 fokusira isključivo na petlje za prikupljanje podataka i učenje. Petlja za učenje je zasnovana na bazi podataka gdje su uskladišteni podaci koji su skupljeni u petlji realnog vremena za vrijeme proizvodnih operacija. Baza podataka sadrži podatke o procesima (parametri procesa), resursima (ljudski subjekti, mašine, alati, itd.), radni komandi (parametri za kvalitetu ulaznog materijala i izlaznih komponenti), operacije (radni nalozi, količine, proizvodnost, dospjeća, itd.) i okolina (temperatura zraka, relativna vlažnost i pritisak, zagadenost, prašina, buka, osvjetljenje, itd.). Ova baza podataka predstavlja ulaz za kopanje podataka. Rezultati kopanja podataka se koriste za iznošenje znanja. Novo otkriveno znanje se onda uskladištava u obliku modela znanja u bazu znanja i upravlja za dalju upotrebu. Novo znanje može se upotrijebiti za adaptivno upravljanje procesa kao i za interaktivnu podršku odlučivanju za vrijeme procesa i planiranja operacija, procedura postavljanja, upravljanja kvalitetom, prognoziranja kvarova, dijagnostiku nedostataka, i planiranje održavanja, između drugih. Ono se može također koristiti za otkrivanje skrivenih odnosa (na primjer između parametara za kvalitet procesa i okoline), koji mogu onda doprinijeti boljem razumijevanju procesa. Znanju se može također pristupiti od strane funkcije za upravljanje znanjem za druge sisteme u mreži. Ova novo uvedena petlja za učenje omogućava autonomnim radnim sistemima koji sami uče da neprekidno uče iz iskustava u pogledu operacija koje se izvode u sistemu i konstantno poboljšavaju i napreduju na ovoj osnovi.



Slika 2: Petlja za prikupljanje podataka i petlja za učenje

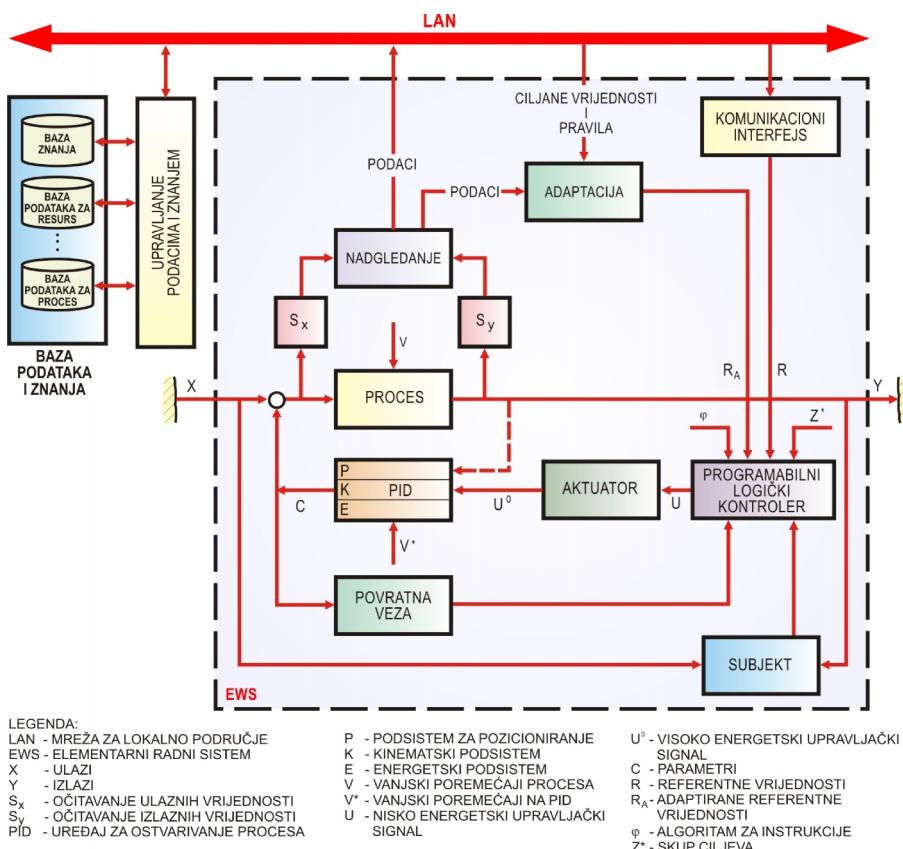
Usljed širokog opsega pitanja, u ovom istraživanju, samo-učenje je ograničeno na otkrivanje znanja na proizvodnim podacima procesa. Moguća primjena novog znanja o procesu u adaptivnom upravljanju procesa je diskutirana u sljedećem odjeljku.

3. KONCEPT ADAPTIVNOG UPRAVLJANJA PROCESA U AUTONOMNIM PROIZVODNIM SISTEMIMA KOJI SAMI UČE

Opća ideja je opisana na slici 3 a prilagodena je iz [11]. Jezgro slike 3 predstavlja tako nazvan elementarni radni sistem (EWS - Elementary work system) sastavljen od tri vitalna elementa: proces, uređaj za ostvarivanje procesa i ljudski subjekt. Detaljniji opis EWS može se naći u [11]. U EWS postoji upravljačka petlja PID u kojoj logički kontroler kontrolira uređaj za ostvarivanje procesa (npr. alatnu mašinu) preko energetskih elemenata (aktuatora). Druga upravljačka petlja primjenjuje se za

adaptivno upravljanje procesa kako je pokazano u gornjem dijelu slike 3. Ovdje se moraju nadgledati odabrani ulazni i izlazni parametri procesa. Nadgledani podaci se koriste za (1) kontinuirano stjecanje podataka u petlji za prikupljanje podataka (prema slici 2) i (2) identifikaciju stanja procesa u svakom ciklusu procesa kao osnova za adaptivno upravljanje procesa (kako je prikazano na slici 3).

Mi sada objašnjavamo kako djeluje petlja za adaptivno upravljanje procesa. Cilj je tačno postizanje ciljanih vrijednosti izlaznih parametara procesa i održavanje stabilnog procesa, tj., minimizacija odstupanja izlaznih parametara procesa.

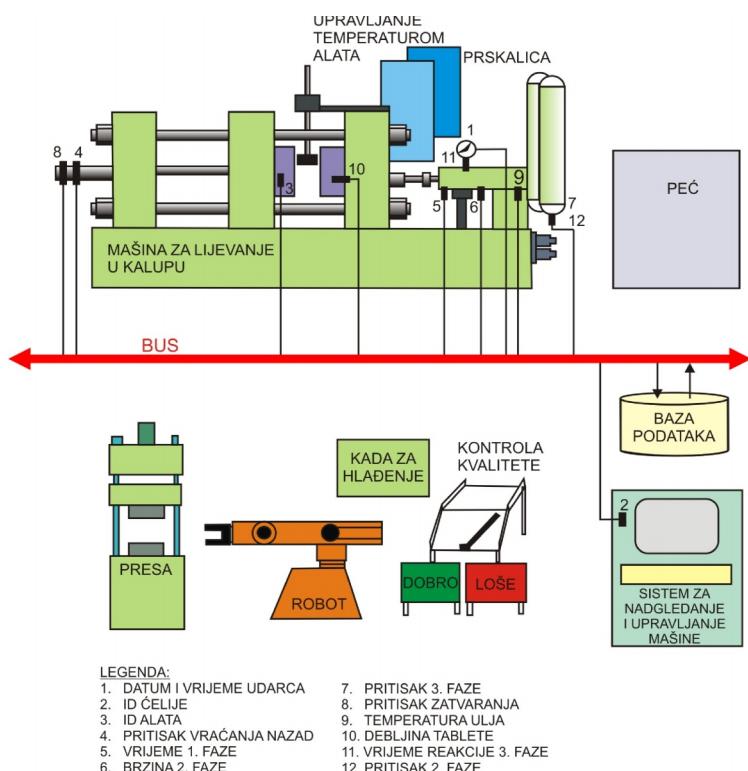


Slika 3: Koncept adaptivnog upravljanja procesa

Na početku rada, kada nije na raspolaganju određeni model znanja, početne referentne vrijednosti (**R**) za upravljačku petlju PID su preuzete, koje su odredene od strane planera procesa ili snimljene kao iskusne postavke iz prethodnih operacija i postavljene na logički kontroler preko komunikacionog interfejsa (vidi sliku 3). Ciklus procesa može sada početi na ovoj osnovi. Bez znanja unaprijed, izlazni podaci parametara procesa obično značajno variraju uslijed ograničenog upravljanja nad procesom i brojnih nekontrolisanih poremećaja koje utiču na stabilnost procesa. Međutim, u slučaju gdje se proces već bio izvodio i odgovarajući skup podataka je bio analiziran od strane centroidom baziranog grupiranja, onda su klasteri i odgovarajući centroidi prepoznati i uskladišteni u bazu znanja. U ovom slučaju, ekspert može odlučiti proizvoljno koji centroid on ili ona bi željela postaviti za izlazne

parametre procesa definišući vrijednosti atributa koji pripadaju odabranom centroidu kao ciljane vrijednosti za upravljanje procesa.

U sljedećem koraku moraju biti odabrana podesna pravila koja formiraju dio baze znanja za predviđanje. Za ovu svrhu mora se razmatrati vektor podaci (**PODACI**) iz posljednjeg ciklusa procesa. Ovi podaci se uspoređuju sa uvjetnim dijelovima pravila da bi odabrali podesno pravilo za svaki tip klase. Uvrštavajući ciljane vrijednosti u odabrana pravila (matematičke modeli u obliku jednačina), dobivaju se prilagođene referentne vrijednosti (**R_A**), koje se postavljaju na logički kontroler kao nove reference za sljedeći ciklus procesa (vidi sliku 3). Ova procedura se ponavlja u svakom ciklusu procesa.



Slika 4: Mjerne tačke za ulazne i izlazne parametre procesa u čeliji za lijevanje u kalupu

Za implementaciju autonomnog radnog sistema koji sam uči – SL.AWS i adaptivno upravljanje procesa odabrana je moderna i široko korištena tehnologija u sektoru visoke tehnologije kao što je to lijevanje u kalupu pod visokim pritiskom. Na slici 4 prikazana je čelija za lijevanje pod visokim pritiskom sa postavljenim senzorima koji predstavljaju mjerne tačke za ulazne i izlazne parametre procesa.

Dozvolite nam kratko objasniti kako se koncept adaptivnog upravljanja može primjeniti u sistemu za lijevanje u kalupu. Glavni element sistema je proces lijevanja koji transformiše rastopljeni metal u odljevak. Drugi ulazi procesa su generirani mašinom za lijevanje u kalupu (položaj, kinematika i energija), koji su pokrenuti klipom hidrauličkog motora. Interakcije između mašine, rastopljenog metala, kalupa (alata) i njegove šupljine konstituišu proces lijevanja u kalupu, koji rezultira u

odljevku (sa tabletom), topotom, i drugim efektima kao izlazima. Mašina se upravlja programabilnim logičkim kontrolorem. Kontroler pretvara ulazne referentne vrijednosti u signale za upravljanje koji se provode na mašini gdje oni pokreću izlaze procesa. Prema ovom opisu, jasno je da kontroler manipuliše mašinom a ne samim procesom. Dakle, uslijed različitih efekata i poremećaja koji se dogadaju u sistemu, proces nije tako stabilan kako bi trebao biti. Da bi dobili bolje upravljanje nad procesom lijevanja, adaptivno upravljanje procesa će biti uvedeno, kako je prikazano u gornjem dijelu slike 3. On-line mjerjenje određenih ulaznih i izlaznih parametara i njihovo povezivanje sa uvjetnim dijelom pravila omogućava izbor podesnog pravila iz skupa pravila za svaki parametar procesa prema modelu znanja predstavljenog jednačinama. Onda, odgovarajuće pravilo omogućava izračun prilagođenih ulaznih parametara procesa prema konkretnom cilju, koji može biti određen oblikom ciljanog centroida. Prema tome, očekuje se da će proces lijevanja biti bolje upravljan i rezultirati će u manjim odstupanjima izlaznih parametara procesa.

4. ZAKLJUČAK

Cilj adaptivnog upravljanja procesa, koji se ostvaruje kroz petlju za adaptivno upravljanje u realnom vremenu, je tačno postizanje ciljanih vrijednosti izlaznih parametara procesa i održavanje stabilnog procesa, tj. minimizacija odstupanja izlaznih parametara procesa. Koncept adaptivnog upravljanja procesa u SL.AWS je generičan i može se primjeniti u proizvodnim procesima oblikovanja, mašinske obrade i sklapanja.

5. LITERATURA

- [1] Sastry, S., Bodson, M., 1989. Adaptive control: stability, convergence, and robustness. New Jersey: Prentice-Hall
- [2] Landau, I.D., Lozano, R., M'Saad, M., Karini, A., 2011. Adaptive control, Algorithms, Analysis and Applications. London: Springer-Verlag. Second edition.
- [3] Koren, Y., 1989. Adaptive control systems for machining. Manufacturing Review, 2 (1), 6-15, American Society of Mechanical Engineers.
- [4] Ulsoy, A.G., 2006. Monitoring and control of machining. In: L. Wang, R.X. Gao (Eds.), Condition monitoring and control for intelligent manufacturing, London: Springer-Verlag, 1-32.
- [5] Žapčević, S., Butala, P., 2009. Towards self-learning autonomous work systems. In: Karabegović, I., Jurković, M., Določek, V. (Eds.), Proceedings of the 7th International Scientific Conference Development and Modernization of Production. Cairo, Egypt, September 26th-October 3rd 2009.
- [6] Žapčević, S., Butala, P., 2011. Otkrivanje znanja u procesu lijevanja: pregled stanja razvoja. In: A. Hodžić, M. Jurković, I. Bišćević, (Eds.), Proceedings of the 8th International Scientific Conference Development and Modernization of Production. V. Kladuša, BiH, September 29th-October 1rd 2011.
- [7] Žapčević, S., Butala, P., 2013. Adaptive process control based on a self-learning mechanism in autonomous manufacturing systems. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 66, 1725-1743, doi: [10.1007/s00170-012-4453-0](https://doi.org/10.1007/s00170-012-4453-0).
- [8] Žapčević, S., 2013. Model samoučećega proizvodnega delovnega sistema, Doktorsko delo, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo.
- [9] Butala, P., Sluga, A., 2006. Autonomous work systems in manufacturing networks. CIRP Annals - Manufacturing Technology, 55 (1), 521-524.
- [10] Sluga, A., Jenkole, J., Butala, P., 2005. Web-based shop-floor monitoring and control for new manufacturing structures. CIRP Journal of Manufacturing Systems, 34 (6), 589-597.
- [11] Peklenik, J. 1988. Fertigungsskybernetik, Eine neue wissenschaftliche Disziplin für die Produktionstechnik, Festvortrag analässlich der Verleihung des Georg-Schlesinger Preises 1988 des Landes Berlin, TU-Berlin.