Dr Svetomir Minić,
potpukovnik, dipl. inž.

Dr Živan Arsenić,
profesor, dipl. inž.

PRIMENA FUZZY LOGIKE U UPRAVLJANJU PROCESOM PREVENTIVNOG ODRŽAVANJA TEHNIČKIH SISTEMA PREMA STANJU

Predložena je primena FUZZY logike za upravljanje procesom preventivnog održavanja tehničkih sistema prema stanju u uslovima neizvesnosti i subjektivnosti. Odluke o sprovođenju postupaka održavanja donose se na osnovu operacionih karakteristika modela EKRAN i razvijenog algoritma aproksimativnog rezonovanja.

Uvod

Proces POPS-preventivnog održavanja prema stanju (On-Condition Based Maintenance) zasniva se na pregledu stanja, odnosno na diskretnom ili kontinualnom praćenju promene parametra stanja koji jednoznačno i sigurno opisuje stanje sastavnog elementa tehničkog sistema.

Prema rezultatima izvršenog pregleda i konstatovanog stanja elementa, donose se odluke o sprovođenju postupaka POPS ili se nastavlja korišćenje sistema do sledeće provere stanja.

Zbog neizvesnosti podataka i subjektivnih procena donosioca odluke, proces POPS se može opisati kao fuzzy-problem. Kriterijumi za donošenje odluka o sprovođenju postupaka POPS, na osnovu rezultata »provere stanja« elementa (odnos izmerene i dozvoljene vrednosti posmatranog parametra stanja, prognozirano vreme do sledeće provere stanja i »stanje« sistema), transformisani su u fuzzy promenljive veličine i tretiraju se kao fuzzy skupovi za koje se definišu njihove funkcije pripadnosti. Na ovoj osnovi, i koristeći izlazne operacione karakteristike simuliranog modela EKRAN [1,5], razvijen

je algoritam aproksimativnog rezonovanja u vidu skupa pravila za odlučivanje u upravljanju procesom POPS.

Modeliranje procesa POPS

Proces POPS ilustrovan je na slici 1 na kojoj se vidi mogući slučaj zakonitosti promene parametra stanja $x(t)$ s dinamikom provere stanja, gde su definisani: nominalna vrednost parametra (x_n), dozvoljena vrednost parametra (x_d), granična vrednost parametra (x_g) i interval provere stanja (i_p). Dozvoljena vrednost parametra stanja određuje se kao operaciona karakteristika modela POPS, a označava stanje posle koga treba sprovesti odgovarajuće postupke POPS kako bi se sprečila pojava stanja sistema »u otkazu«. Granice upozorenja i otkaza definišu signalizacionu toleranciju parametra stanja (Δx), koja obezbeđuje vreme (Δt) za preduzimanje postupaka POPS.

Model EKRAN uspostavlja direktne odnose između zakona pouzdanosti posmatranog elementa sistema, odnosno objekta održavanja i zakona promene odgovarajućeg parametra stanja. Modelom se određuje dozvoljena vred-

nost parametra stanja (x_d) i definiše se signalizaciona tolerancija (sa stano-
višta zadovoljenja funkcije cilja), od-

Konstruisanje fuzzy upravljačkog sistema za upravljanje procesom POPS

Predlaže se algoritam aproksimativnog rezonovanja za upravljanje procesom POPS, koji se sastoji od sledećih algoritamskih koraka:

KORAK 1: Definisanje fuzzy promenljivih

Kriterijumi odlučivanja o trenutku sprovođenja postupaka POPS mogu se iskazati u funkciji sledećih fuzzy promenljivih:

P — fuzzy promenljiva koja označava izmerenu vrednost parametra stanja u odnosu na dozvoljenu vrednost,

T — fuzzy promenljiva, koja označava vreme rada sistema do sledeće provere stanja,

X — fuzzy promenljiva koja predstavlja »stanje« sistema,

I — fuzzy promenljiva koja predstavlja jačinu (indeks) preferencije donosioca odluke o sprovođenju postupaka POPS.

Fuzzy promenljive P , T i X predstavljaju ulazne promenljive na osnovu čijih vrednosti treba doneti odluku o vrednosti izlazne promenljive I .

KORAK 2: Definisanje funkcija pripadnosti

Fuzzy promenljive se iskazuju lingvističkim promenljivima koje se izražavaju fuzzy (rasplinutim) skupovima, pa se za svaku fuzzy promenljivu definišu odgovarajuće funkcije pripadnosti.

Pretpostavimo da se fuzzy promenljiva P može iskazati fuzzy skupovima kao »mnogo manja«, »manja«, »ista« i »veća«. Ove lingvističke promenljive su respektivno prikazane fuzzy skupovima P_1 , P_2 , P_3 i P_4 .

Fuzzy promenljivoj T bilo je moguće dodeliti vrednosti »malo«, »sred-

Sl. 1 — Proces POPS sa proverom parametra stanja

nosno dozvoljeno odstupanje u izlaznim performansama sistema, u iznosu $x = x_g - x_d$, što predstavlja područje u kome treba, u intervalu $t = t_2 - t_1$, sprovesti postupke POPS, kako bi se sistem ponovo vratio u stanje ispravnosti (tako da merodavni parametar stanja ima vrednost ispod dozvoljene vrednosti, odnosno $x < x_d$).

U procesu primene modela EKRAN obavlja se merenje parametra stanja i izmerena vrednost parametra upoređuje sa dozvoljenom vrednošću. Ukoliko je izmerena vrednost parametra stanja (x_i) u trenutku »prve« provere stanja (t_1), veća od dozvoljene vrednosti (x_d), tj. $x_i(t_1) > x_d$, pristupa se sprovođenju postupaka POPS, kako bi se element ponovo vratio u stanje ispravnosti. Ako je izmerena vrednost parametra manja od dozvoljene vrednosti, tj. $x_i(t_1) < x_d$, onda se nastavlja korišćenje sistema i određuje se trenutak sledeće, odnosno »druge« provere stanja (t_2). U trenutku t_2 ponavlja se isti postupak, kao i u trenutku t_1 .

nje» i »veliko«. Ove kategorije su respektivno prikazane fuzzy skupovima T_1 , T_2 i T_3 . Pretpostavimo da se »stanje« sistema kod kontinualne promene parametra stanja može iskazati fuzzy skupovima »stanje u radu«, »međustanje« i »stanje u otkazu«. Ove kategorije prikazane su fuzzy skupovima X_1 , X_2 i X_3 .

Izlazna promenljiva I , koja označava jačinu preferencije donosioca od-

P_1 - mnogo manja	P_2 - manja
P_3 - ista	P_4 - veća

Sl. 2 — Funkcija pripadnosti fuzzy skupova P_1 , P_2 , P_3 i P_4

T_1 - malo	T_2 - srednje	T_3 - veliko
--------------	-----------------	----------------

Sl. 3 — Funkcija pripadnosti fuzzy skupova T_1 , T_2 i T_3

X_1 - stanje "U RADU"
X_2 - MEĐUSTANJE
X_3 - stanje "U OTKAZU"

Sl. 4 — Funkcija pripadnosti fuzzy skupova X_1 , X_2 i X_3

luke, može da bude iskazana indeksom preferencije (I) čija je vrednost između 0 i 1. U slučaju kada je vrednost indeksa preferencije jednaka 1, donosioc odluke želi (bez ikakve dileme) da sprovede postupke POPS u datom trenutku »provere stanja«. Sa opadanjem vrednosti indeksa preferencije opada i »jačina« želje donosioca odluke o sprovođenju postupaka POPS. Pretpostavimo da jačina preferencije može da bude predstavljena fuzzy skupovi-

I_1 - vrlo jaka	I_2 - jaka	I_3 - srednja
I_4 - vrlo slaba	I_5 - slaba	

Sl. 5 — Funkcija pripadnosti fuzzy skupova I_1 , I_2 , I_3 , I_4 i I_5

ma »vrlo jaka«, »jaka«, »srednja«, »slaba« i »vrlo slaba«. Ove lingvističke promenljive predstavljene su respektivno fuzzy skupovima I_1, I_2, I_3, I_4 i I_5 .

Funkcije pripadnosti definisanih fuzzy skupova grafički su prikazane na slikama 2, 3, 4 i 5.

KORAK 3: Definisanje pravila aproksimativnog rezonovanja

Predlažu se sledeća pravila aproksimativnog rezonovanja za određivanje jačine preferencije donosioca odluke o sprovođenju postupaka POPS:

Pravilo 1: IF P mnogo manje, T malo, X u radu, THEN I srednja ELSE

Pravilo 2: IF P mnogo manje, T srednje, X u radu, THEN I slaba ELSE

Pravilo 3: IF P mnogo manje, T veliko, X u radu, THEN I vrlo slaba ELSE

Pravilo 4: IF P manje, T malo, X u radu, THEN I jaka ELSE

Pravilo 5: IF P manje, T srednje, X u radu, THEN I srednja ELSE

Pravilo 6: IF P manje, T veliko, X u radu, THEN I slaba ELSE

Pravilo 7: IF P isto, T malo, X međustanje, THEN I vrlo jaka ELSE

Pravilo 8: IF P isto, T srednje, X međustanje, THEN I jaka ELSE

Pravilo 9: IF P isto, T veliko, X međustanje, THEN I srednja ELSE

Pravilo 10: IF P veće, T malo, X međustanje, THEN I vrlo jaka ELSE

Pravilo 11: IF P veće, T srednje, X međustanje, THEN I jaka ELSE

Pravilo 12: IF P veće, T veliko, X međustanje, THEN I srednja ELSE

Pravilo 13: IF P veće, T malo, X u otkazu, THEN I vrlo jaka.

Uočimo, na primer, pravilo 10: IF P veće, T malo, X međustanje, THEN I vrlo jaka.

Ovo pravilo predstavlja fuzzy relaciju između P, T, X i I.

Izraz »IF P veće, T malo, X međustanje« predstavlja fuzzy frazu definisanu na skupu čiji su elementi $P \cdot T \cdot X$. Označimo ovu fuzzy frazu sa F. Funkcija pripadnosti fuzzy fraze F opisana je kao:

$$\mu_F(p, t, x) = \min \{ \mu_{\text{veće}}(p), \mu_{\text{malo}}(t), \mu_{\text{međustanje}}(x) \} \quad (1)$$

Implikacija »IF F, THEN I vrlo jaka« takođe je fuzzy fraza. Označimo ovu fuzzy frazu sa N. Fuzzy fraza N definisana je na skupu čiji su elementi $P \cdot T \cdot X \cdot I$. Funkcija pripadnosti fuzzy fraze N je:

$$\mu_N(p, t, x, i) = \min \{ \mu_F(p, t, x), \mu_{\text{vrlo jaka}}(i) \} \quad (2)$$

Dve ili više fuzzy fraza povezane rečju »ELSE« čine fuzzy rečenicu. Označimo respektivno sa $N_1, N_2, \dots, N_{13}$ fuzzy fraze koje predstavljaju prethodno definisana pravila. Fuzzy fraze $N_1, N_2, \dots, N_{13}$ čine fuzzy rečenicu (R). Funkcija pripadnosti fuzzy rečenice R je:

$$\mu_R = \max \{ \mu_{N_1}(p, t, x, i), \mu_{N_2}(p, t, x, i), \dots, \mu_{N_{13}}(p, t, x, i) \} \quad (3)$$

Za unapred zadate vrednosti fuzzy promenljivih P, T, X primenom definisanog algoritma aproksimativnog rezonovanja svakoj od mogućih vrednosti indeksa preferencije I dodeljuje se odgovarajući stepen pripadnosti. U sledećem koraku neophodno je izvršiti tzv. *defazifikaciju*, odnosno neophodno je izabrati jednu vrednost indeksa preferencije.

Konačni izbor vrednosti indeksa preferencije vrši se primenom metoda centra gravitacije ($\bar{i}$) koji se izračunava pomoću sledeće formule [2]:

$$\bar{i} = \frac{\sum_{n=0}^{13} i_n \mu(i_n)}{\sum_n \mu(i_n)} \quad (4)$$

Zaključak

Odluke o sprovođenju postupaka POPS treba zasnivati na bazi koncepta fuzzy logike. Na taj način uzimaju se u obzir inženjerske nedoumice i subjektivizam u vezi sa prisutnim neizvesnim ili nepreciznim veličinama koje

klasični model za upravljanje procesom POPS ne uzima u obzir.

Izloženi algoritam aproksimativnog rezonovanja omogućava utvrđivanje jačine (indeksa) preferencije koju ima donosilac odluke u pogledu sprovođenja postupaka POPS u datom trenutku »provere stanja« tehničkog sistema.

Literatura:

- [1] Todorović, J.: Inženjerstvo održavanja tehničkih sistema-Maintainability Engineering, JUMV, Beograd, 1993.
- [2] Teodorović, D., Kikuchi, S.: Fuzzy skupovi i primene u saobraćaju, Saobraćajni fakultet, Beograd, 1993.
- [3] Onisawa, T.: An Application of Fuzzy Concepts to Modeling of Reliability Analysis, Fuzzy Sets and Systems, 37, 1990.
- [4] Vasić, B., Todorović, J.: Primena teorije fuzzy skupova u upravljanju održavanjem, SYMOPIS 94, Kotor, 1994.
- [5] Minić, S.: Dinamički model preventivnog održavanja prema stanju motornih vozila, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Beograd, 1993.
- [6] Todorović, J.: Održavanje tehničkih sistema-Nauka ili veština?, SYMOPIS 94, Kotor, 1994.