

Fuzzy prediktor pro kinematicko silové řízení kráčejícího robota

Ing. Jan Kauler, Ph.D.
Ing. Miroslav UHER

VA Brno
Katedra technické kybernetiky a vojenské robotiky,
Kounicova 65, 612 00 Brno, Česká republika

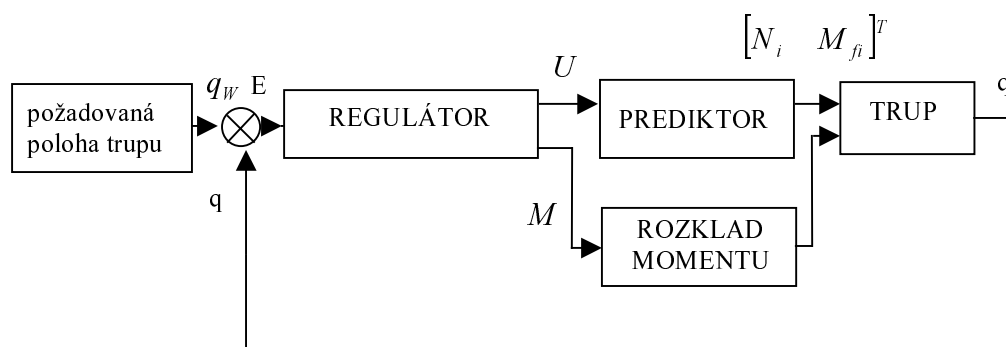
Abstrakt:

V tomto článku je řešen problém výpočtu silových účinků v došlapech noh kráčejícího podvozku, přičemž silové účinky v nohách vytvářejí požadovaný translační a rotační pohyb trupu. Cílem je navržení prediktoru silových účinků pomocí fuzzy logického systému, který je pro svou výpočetní rychlost vhodnější než klasický algoritmický přístup.

1. Úvod

Tento článek se zabývá návrhem fuzzy logického systému (dále jen FLS) jako struktury, která se učí a je schopna plnit úlohou prediktoru silových reakcí v došlapech při tvorbě akčního zásahu, který zabezpečí požadovanou translaci kráčejícího podvozku (KP).

Použití prediktoru silových reakcí vyplývá z vlastní struktury řídicího systému obr.1 a z požadavku urychlit výpočetní proces silových reakcí realizujících translační pohyb trupu. Jedná se o následující **iterační proces** : výpočet odchylky E polohy trupu KP (translační), výpočet řídicí síly U působící v těžišti KP, prediktorem realizovaný silový rozklad do oporných noh na složky N_i (oporné reakce noh), oporné reakce svým působením zpět na trup KP vyvedí translační pohyb.



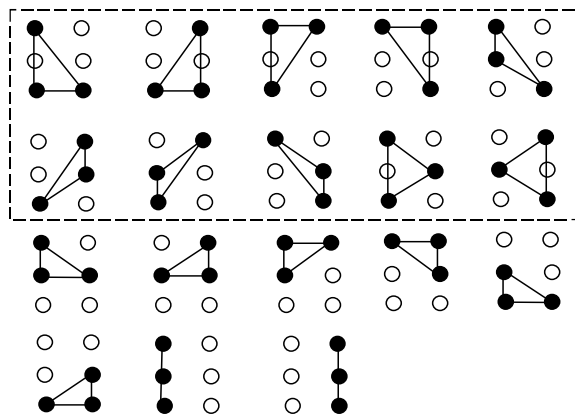
Obr.1. Prediktor v regulační smyčce.

Prediktor sil generuje síly v nohách, jejichž složky plní následující úlohy vzhledem ke krácejícímu podvozku : **kompence statických sil, vytváření řídicích sil, kompenzace sil vyplývajících z konstrukce.**

Prediktor sil využívá tedy pouze první dvě složky sil, podílející se na pohybu KP. Pro urychlení výpočtů oporných sil v nohách realizujících pohyb KP, je využít *FLS ve funkci prediktoru*, vycházející z funkčního analytického prediktoru silových reakcí. Trénovací množina pro *fuzzy prediktor*, je získávána jako odezva na konkrétní vstupy od analytického prediktoru.

2. Konstrukce trénovací množiny pro realizaci fuzzy prediktorů oporných reakcí.

Jak již název napovídá, zvolil jsem cestu konstrukce více fuzzy prediktorů, pro každou trojici noh v došlapu. Tímto jsem snížil mohutnost trénovací množiny na úkor nárůstu počtu prediktorů. Samozřejmě, uvažuji jen ty trojice noh v opoře (obr.2), které mají smysl z hlediska stability KP. Počet prediktorů je tedy 10.



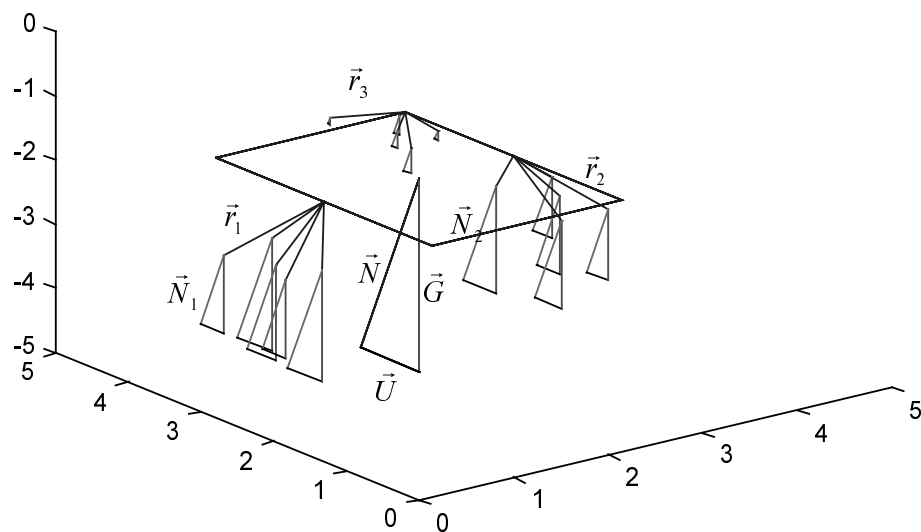
Obr. 2. Kombinace noh v došlapu staticky stabilní.

Konstrukce trénovací množiny pro každý prediktor závisí na zobrazení (funkci), které má, jakožto univerzální adaptivní aproximátor provádět. *Fuzzy prediktor* řeší zobrazení (funkce)

$$\vec{X} \rightarrow \vec{Y},$$

kde $\vec{X} = [\vec{r}_1 \quad \vec{r}_2 \quad \vec{r}_3 \quad \vec{U}]^T,$

$$\vec{Y} = [\vec{N}_1 \quad \vec{N}_2 \quad \vec{N}_3]^T.$$



Obr. 3. : Průměty sil v obrazové roviny KP.

Vyšel jsem z předpokladu využití adaptivní fuzzy struktury, která je v prostředí MATLAB již předzpracována pomocí funkcí v knihovnách. Adaptace FLS je zabezpečena zpětným šířením chyby „back propagation“. Konstrukce vlastní trénovací množiny je patrná z Obr. 3. a následujících rovnic:

$$\vec{N}_i = \left(\frac{P_i}{P} \right) \cdot \vec{N} \quad ,$$

kde \vec{N}_i jsou reakční síly v nohách vytvářející žádaný translační pohyb,

$$P_1 = \frac{1}{2} \cdot (\vec{r}_2 \times \vec{r}_3) \cdot \vec{e}_n \quad ,$$

kde P_1 je skalár představující velikost plochy úměrnou vektorovému součinu, analogický vztah platí i pro P_2 a P_3 , \vec{e}_n je směrový vektor hlavní síly na KP.

Trénovací množina je tvořena **dvojcemi (vstup-výstup) vektorů**:

$$\begin{aligned} \vec{X} &= [\vec{r}_1 \quad \vec{r}_2 \quad \vec{r}_3 \quad \vec{U}]^T \\ \vec{Y} &= [\vec{N}_1 \quad \vec{N}_2 \quad \vec{N}_3]^T \end{aligned} \quad (1.1)$$

Musíme ovšem tyto dvojice vektorů volit vhodným způsobem tak, aby dostatečně reprezentovaly stavový prostor, ve kterém se prediktor jako systém může ocitnout. Volba počtu trénovacích dvojic a jejich rozmístění ve stavovém prostoru prediktoru je většinou heuristická. Způsob konstrukce trénovací množiny jsem volil podle možné řídicí síly \vec{U} , působící na trup KP a

podle okolí došlapů \vec{r}_i noh v opoře. Protože jsem použil pro inferenční mechanismus funkci **evalfis**, která neumožňuje pracovat s dvojrozměrným argumentem (dotazem), vycházejí nám pro predikci silové reakce pro jednu nohu tři *fuzzy prediktory*. Fuzzy prediktor bude tedy řešit následující zobrazení:

$$\vec{X} \rightarrow \vec{Y} \quad (1.2)$$

kde $\vec{X} = [\vec{r}_1 \quad \vec{r}_2 \quad \vec{r}_3 \quad \vec{U}]$,
 $\vec{Y} = [N_{1x} \quad N_{1y} \quad N_{1z}]$

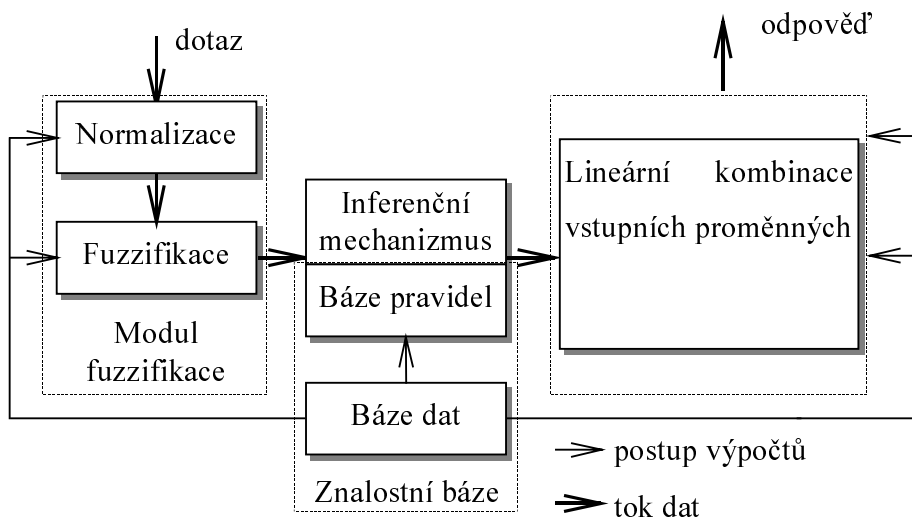
Takto počet fuzzy prediktorů vzroste, ale mohutnost trénovací množiny klesne.

3. Syntéza fuzzy prediktoru oporných reakcí.

Před syntézou fuzzy prediktoru je třeba uvažovat apriorní informace, které nám pomohou určit paradigma FLS realizující požadované zobrazení. Výchozí informace jsou především rozsahy univerz jednotlivých veličin, nad kterými volíme tvar a počet fuzzy množin. Z počtu fuzzy množin vyplývá mohutnost báze znalostí. Dále volíme typ inferenčního mechanismu (neboli druh fuzzy implikace). V prostředí MATLAB tedy:

```
trnData = [x y]; % definování ostrých „crisp“ hodnot
numMFs = 5; % počet fuzzy množin na univerzu X a Y
mfType = 'gbellmf'; % tvar fuzzy množin (gaussovy zvony)
epoch_n = 500; % počet učebních cyklů
in_fismat = genfis2(x,y,1/30); % generování prvotní fuzzy pravidlové
% báze
out_fismat = anfis(trnData,in_fismat,epoch_n); % adaptace fuzzy prav báze
outC = evalfis(x,out_fismat) % inferenční mechanismus, odpověď na
% dotaz
```

V soulase s použitými funkcemi je tato struktura vidět na obr. 5.

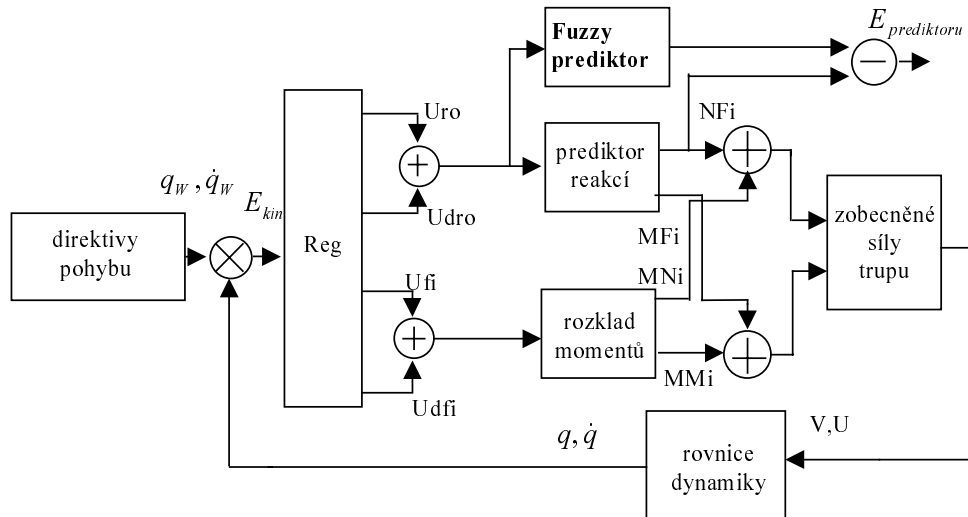


Obr. 5. Struktura FLS sugenova typu.

Konečné ověření správnosti využití FLS ve funkci prediktoru silových reakcí lze provést až při paralelním srovnání s odpovídajícím analytickým výpočtem a to podle odchylek mezi nimi. Jen tak ověříme skutečnost, že byla správně zvolena reprezentativní trénovací množina. Použitím trénovací množiny získané z reálných průběhů, nám odpadá konstrukce testovací množiny, která by ověřila schopnost FLS reagovat správně na vzory, se kterými se FLS dosud nesešel.

4. Ověření funkčnosti prediktoru v rámci navrhovaného řídicího systému

Funkčnost prediktoru lze nejlépe ověřit jeho začleněním paralelně s analytickým modelem, řešícím shodnou úlohu. Odchylna, získaná rozdílem výstupů analytického modelu a fuzzy prediktoru, je nepřímou úměrná míře shodnosti obou přístupů. Následující obrázek ukazuje zapojení analytického modelu spolu s fuzzy prediktorem silových reakcí.



Obr. 9 : Schéma porovnání fuzzy prediktoru s analytickým modelem prediktoru.

Zde uvádím program pro klasický výpočet oporných reakcí :

```
function reakce = vypocet(vektor)
global m0

G=m0*[0 0 9.81]';
U=vektor(1:3); % řídící síla v těžišti
N=-U+G;

% polohy noh v opoře
r1=vektor(4:6);
r2=vektor(7:9);
r3=vektor(10:12);

Nmod=sqrt((N(1)^2)+(N(2)^2)+(N(3)^2));
en=N/Nmod;

% vektorové součiny
r1p=vectmul(r1,en);
r1pr=vectmul(en,r1p);
r2p=vectmul(r2,en);
r2pr=vectmul(en,r2p);
r3p=vectmul(r3,en);
r3pr=vectmul(en,r3p);

% plochy trojúhelníků
P1=0.5*(vectmul(r2pr,r3pr))*en;
P2=0.5*(vectmul(r3pr,r1pr))*en;
P3=0.5*(vectmul(r1pr,r2pr))*en;
P=(P1+P2+P3);

% oporné silové reakce
N1=(P1/P)*N;
N2=(P2/P)*N;
N3=(P3/P)*N;
N=N1+N2+N3;
```

```

modvect (N1);
modvect (N2);
modvect (N3);
NNN=modvect (N);

M1=vectmul (N1,r1);
M2=vectmul (N2,r2);
M3=vectmul (N3,r3);
M=M1+M2+M3;

% výstupní síly a momenty v nohách
reakce=[N1' N2' N3' M1 M2 M3];

end

```

Zde uvádím výpis programu pro adaptaci FLS :

```

load sugenobjk r1 r2 r3 F NFi MFi

for i=1:51
    x(i,:)=[F(i,2) F(i,3) F(i,4)];
end

for i=1:51
    y(i)=[NFi(i,2)];
    c=y'
end

for i=1:51
    y(i)=[NFi(i,3)];
    d=y'
end

for i=1:51
    y(i)=[NFi(i,4)];
    e=y'
end

trnDataC = [x c]; % def trén množiny
numMFs = 5; % 5 počet fuzzy množ na univerzu X a Y
mfType = 'gbellmf'; % tvar fuzzy množin
epoch_n = 500; % počet učebních metod
in_fismatC = genfis2(x,c,1/30); % gener prvotní fuz pra baze
out_fismatC = anfis(trnDataC,in_fismatC,epoch_n); % adaptace fuzzy prav baze

trnDataD = [x d];
numMFs = 5;
mfType = 'gbellmf';
epoch_n = 500;
in_fismatD = genfis2(x,d,1/30);
out_fismatD = anfis(trnDataD,in_fismatD,epoch_n);

trnDataE = [x e];
numMFs = 5;
mfType = 'gbellmf';
epoch_n = 500;
in_fismatE = genfis2(x,e,1/30);

```

```

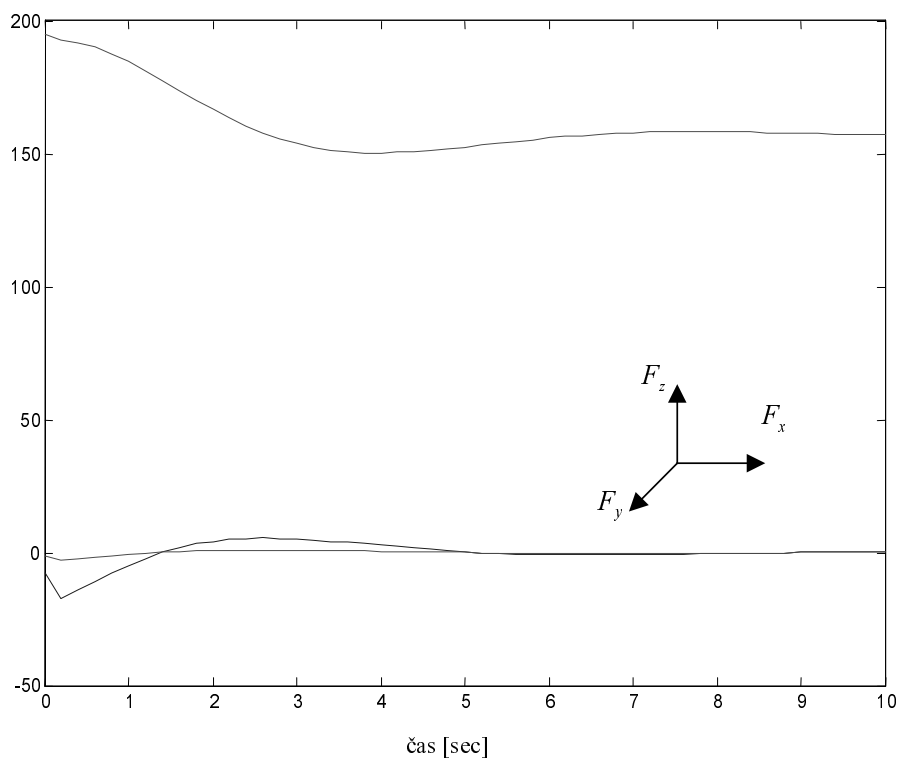
out_fismatE = anfis(trnDataE,in_fismatE,epoch_n);

% vyvození na konkrétní vstup
outC = evalfis(x,out_fismatC)
outD = evalfis(x,out_fismatD)
outE = evalfis(x,out_fismatE)

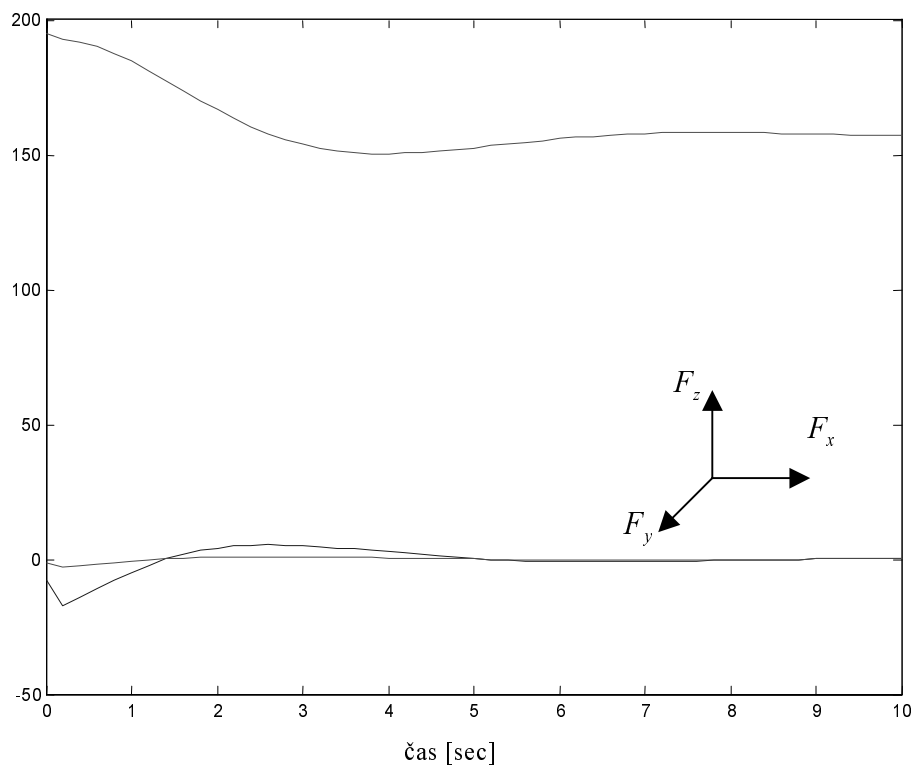
save sugvys in_fismatC in_fismatD in_fismatE out_fismatC out_fismatD out_fismatE

```

Na základě průběhu oporných silových reakcí pro první nohu, získaných od fuzzy prediktoru a od analytického prediktoru, vyslovíme soud o správné funkci fuzzy prediktoru. Průběhy obou silových reakcí pro první nohu jsou na obr. 10 a 11.



Obr. 10 : Průběhy silových reakcí pro analytický prediktor



Obr. 11 : Průběhy silových reakcí pro fuzzy prediktor.

Jak je vidět z obr. 10 a 11., jsou průběhy oporných reakcí, získané analytickým modelem, blízké průběhům získaných z neuronového prediktoru. Jestliže je odchylka průběhů malá, je ověřeno správné naučení FLS podle reprezentující trénovací množiny.

5. Závěr

Přínosem uvedeného řešení je vhodné použití FLS, začleněných do řídicího systému, kde efektivně snižují výpočetní náročnost a také vhodná dekompozice úloh řešených neuronovými sítěmi tak, aby jejich odezvy odpovídaly analytickému modelu. Přínosem je také možnost využití otevřenosti FLS pro eventuální doučení v praxi.

Literatura

- [1] Řeřucha V.: Inteligentní řízení krácejícího robota, Docentská habilitační práce, Vojenská akademie v Brně, Brno 1997.

- [2] Kauler, J.: Neuronový prediktor pro kinematicko silové řízení kráčejičího robota, Matlab 2000, 8. ročník konference.
- [3] Kacer, J.: Znalostní přístup k návrhu senzoričkého systému pro robotické odminování, Doktorská disertační práce, Katedra technické kybernetiky a vojenské robotiky, VA v Brně, Brno, 2000.
- [4] Krupka, Z., Řeřucha, V., Štefek, A.: Automatické řízení, 1.díl, vysokoškolská učebnice, VA, Brno 2001.