

Fuzzy regulátory Mamdaniho a Takagi-Sugenova typu

Návrh fuzzy regulátorů:

- Fuzzifikace, (fuzzyfikace), (**F**)
- Inference, (**I**),
- Agregace, (**A**),
- Defuzzifikace (defuzzyfikace) (**D**).

F-I-A-D v regulátorech Mamdaniho typu

Fuzzifikace

Operací fuzzifikace se získávají hodnoty funkce příslušnosti ke vstupním hodnotám. Pro podmínky demonstračního příkladu je tato operace naznačena na obr.23.2. Kdyby fuzzy výroky premisy některého pravidla byly ještě hlouběji strukturované, např.

$\langle \text{Jesliže}(((e(k) = A_1) \text{OR}(e(k)=A_2)) \text{AND}(\Delta e(k)= B)) \rangle \Rightarrow \langle \text{Pak } (u(k) = C) \rangle,$

bylo by nutno, pro část vázanou spojkou OR, uplatnit ještě operátor konzistence:

$$\mu_A(x_{10}) = \max \{ \mu_{A_1}(x_{10}), \mu_{A_2}(x_{10}) \}.$$

Inference

Viz. obr.

Agregace

Výsledkem operace inference je obecně několik fuzzy množin, které představují fuzzy množiny důsledků aktivovaných pravidel. Každé z těchto pravidel "doporučuje" jinou fuzzy množinu akční veličiny. Výsledkem operace agregace je jediná fuzzy množina pro akční veličinu (vzniklá z fuzzy množin důsledků aktivovaných pravidel). Technicky se agregace provádí operací sjednocení příslušných fuzzy množin

$$C(x_{10}, x_{20}) = C_1(x_{10}, x_{20}) \cup C_2(x_{10}, x_{20}),$$

Defuzzifikace

Viz. obr.

F-I-A-D v regulátorech Takagiho - Sugenoova typu

Sugenovské modely fuzzy regulátorů se odlišují především v typu důsledků pravidel a v jejich použití při inferenci. V důsledku toho se pak poněkud zužuje interpretace pojmů agregace a defuzzifikace.

Pravidla mají premisy stejného typu jako pravidla v modelech Mamdaniho, ale místo fuzzy množiny důsledku je na pravé straně pravidla reálná funkce.

Typ pravidel:

<Jesliže ((e(k) = A) AND (Δe(k) = B))> ⇒ <Pak (u(k) = f(e(k), Δe(k)))> ,

např.:

<Jesliže ((e(k) = A) AND (Δe(k) = B))> ⇒ <Pak (u(k) = e(k) + 2 Δe(k))> ,

<Jesliže ((e(k) = A1)> ⇒ <Pak (u(k) = 0.4 e(k))> ,

kde e(k), Δe(k), A, B, A1 mají stejný význam, jak u Mamdaniho modelů a reálné funkce na pravých stranách pravidel jsou

$$f_1(e(k), \Delta e(k)) = e(k) + 2 \Delta e(k),$$

$$f_2(e(k), \Delta e(k)) = 0.4 e(k) + 0 \Delta e(k) .$$

Hodnota u(k), která reprezentuje aktivovaná pravidla se vypočítává jako střední hodnota

$$u = \frac{\sum_{j=1}^m w_j u_j}{\sum_{j=1}^m w_j} ,$$

kde w_j jsou stupně příslušnosti hodnot $u_j(k)$ vypočítaných podle jednotlivých pravidel a m je počet pravidel. Hodnoty se vypočítávají jako minima z hodnot funkcí příslušnosti proměnných v premisách pravidel při vstupech ostrých hodnot.

Tak např. v pravidlech výše se tyto hodnoty pro vstupy

$e(k) = x_{10}$ $\Delta e(k) = x_{20}$ vypočtou následovně

$$w_1 = \min \{ \mu_A(x_{10}), \mu_B(x_{20}) \} , w_2 = \mu_{A1}(x_{10}) .$$

Příklad : Uvažujme Sugenovský model se dvěma pravidly a s fuzzy množinami zadanými ve formě fuzzy čísel

$$A = [5.0, 6.0, 2.0, 1], B = [0.5, 0.6, 0.2, 0.1],$$

$$A1 = [0.1, 3.0, 0, 1.0] .$$

Vypočtete hodnotu akční veličiny pro vstupy ostrých veličin

$$e(k) = 3.5 \text{ a } \Delta e(k) = 0.6.$$

$$\mu_A(3.5) = 0.25, \mu_B(0.6) = 1.0, \mu_{A1}(3.5) = 0.5,$$

$$w_1 = \min \{ 0.25, 1.0 \} = 0.25, w_2 = 0.5,$$

$$u_1 = 3.5 + 2 * 0.6 = 4.7, u_2 = 0.4 * 3.5 = 1.4.$$

Výsledná hodnota akční veličiny

$$u(k) = (0.25 * 4.7 + 0.5 * 1.4) / (0.25 + 0.5) = 2.5.$$

Pozn.: Pokud jsme přijali výklad konceptů agregace a defuzzifikace u regulátorů Mamdaniho typu, je vhodné poznamenat, že u Sugenovských modelů regulátorů nedochází doslova k agregaci fuzzy množin (jak je jistě zřejmé), zejména proto, že výsledkem vyhodnocení každého pravidla je jednoprvková fuzzy množina {hodnota $u(k)$, hodnota funkce příslušnosti $u(k)$ }.

Podobně speciální význam má postup defuzzifikace. Do výpočtu vstupují jednoprvkové fuzzy množiny a forma výpočtu má nejbližší k metodě zobecněné střední hodnoty.

2.4.2. Základní kroky při návrhu fuzzy regulátorů

V tomto odstavci se budou opět vyskytovat termíny fuzzifikace, inference, agregace, defuzzifikace. Zpravidla je vhodné rozlišovat jejich význam v kontextu *funkce* fuzzy regulátoru (jak to bylo v předchozím odstavci) a v kontextu fáze *návrhu* fuzzy regulátoru (jak to bude v tomto odstavci), kterou chápáme jako fázi přípravou.

Návrh fuzzy regulátoru sestává z následujících kroků :

KFR1.: Určení typu a odvození obecné formy fuzzy regulátoru.

KFR2.: Přiřazení jazykových proměnných vybraným systémovým proměnným (tj. vstupům, výstupům, akčním zásahům, ev. stavům - řízeného systému), vymezení univerz jazykových proměnných, rozdělení obsahu jazykových proměnných do vhodných jazykových hodnot (granulace) a návrh funkcí příslušnosti těchto jazykových hodnot.

KFR3.: Syntéza pravidel regulátoru.

KFR4.: Výběr inferenční metody - syntéza algoritmu inference.

KFR5.: Rozhodnutí o použití ev. o podobě agregace fuzzy množin výstupů pravidel.

KRF6.: Výběr metody defuzzifikace výstupů pravidel (algoritmus výpočtu hodnoty akční veličiny).

KRF7.: Implementace fuzzy regulátoru a jeho ladění.

Poznámka:

Postupně s prohlubováním teorie fuzzy regulátorů a s jejich aplikacemi se stále více ukazuje, že jde o velmi tvárné nelineární regulátory adaptovatelné k nejrůznějším řízeným systémům, spíše než o modifikace odvozené z univerzálních klasických regulátorů P, PI, PID, apod. Koncept "fuzzy regulátor" představuje tedy víceméně prostor pro syntézu speciálního nelineárního regulátoru "na tělo" k řízenému systému.

Základní typy pravidel a fuzzy regulátorů

Původní obecné formy fuzzy regulátorů byly "odvozovány" z představ klasických lineárních regulátorů a ještě dnes se setkáme s následující klasifikací podle typu pravidel :

P-regulátor :

$$\langle \text{Jesliže } (e(k) = A) \rangle \Rightarrow \langle \text{Pak } (u(k) = B) \rangle \quad (82.2)$$

Fuzzy PD- regulátor :

$$\langle \text{Jesliže } ((e(k) = A) \text{ AND } (\Delta e(k) = B)) \rangle \Rightarrow \langle \text{Pak } (u(k) = C) \rangle \quad (83.2)$$

Fuzzy PI-regulátor :

$\langle \text{Jestliže } ((e(k) = A) \text{ AND } (\Delta e(k) = B)) \rangle \Rightarrow \langle \text{Pak } (\Delta u(k) = C) \rangle$
(84.2)

Fuzzy PID-regulátor :

$\langle \text{Jestliže } ((e(k)=A)\text{AND}(\Delta e(k)=B)\text{AND}(\Delta\Delta e(k)=C)) \rangle \Rightarrow \langle \text{Pak } (\Delta u(k)=D) \rangle$,
(85.2)

kde $e(k)$ je regulační odchylka v k -tém intervalu vzorkování, $\Delta e(k)$ je její první diference, $\Delta\Delta e(k)$ je druhá diference regulační odchylky, $u(k)$ je akční veličina a $\Delta u(k)$ je její první diference. Symboly A, B, C, D zastupují jazykové hodnoty (tj. fuzzy množiny) příslušných jazykových proměnných .

To je samozřejmě velmi hrubá klasifikace. Není tím řečeno, že všechna pravidla např. fuzzy PD regulátoru musí mít tvar (83.2). Jestliže např. jazyková proměnná regulační odchylky i jazyková proměnná její první diference byly granulovány do sedmi jazykových hodnot (Záporná velká, Záporná střední, Záporná nízká, Nula, Kladná nízká, Kladná střední a Kladná vysoká) je možno pro fuzzy PD regulátor napsat základních 49 pravidel typu (83.2).

Při implementaci regulátoru a při ověřování jeho funkce může vyjít najevo, že některá pravidla jsou v průměrném "provozu" aktivována velmi zřídka, výstup jiných pravidel závisí jen na $e(k)$ a v některých pravidlech ještě něco chybí.

Po úspěšných úpravách získáme fuzzy regulátor, který má sice většinu pravidel typu (83.2), ale 6 pravidel je typu (82.2) a ve dvou pravidlech je premisa strukturována složitěji (např. obsahuje další podmínky vázané spojkou OR vyžadující nasazení operátoru konzistence (73.2)). Je to stále ještě fuzzy PD regulátor ? Zcela jistě ano, ale cítíme, že odpověď ztrácí důležitost. Zároveň si uvědomíme, jak mnoho nečekaných

regulátorů s mnohdy možná překvapivou funkcí můžeme sestrojít z původního skeletu (83.2).

Výstupy fuzzy regulátorů PI a PID jsou difference hodnoty akční veličiny $\Delta u(k)$ a jejich účinek je třeba "integrovat". U většině těchto fuzzy regulátorů se "integrace" realizuje "načítáním" přírůstků $\Delta u(k)$. To je samozřejmě velmi hrubá aproximace.

Shrneme-li dosavadní poznámky k typu a k odvození formy fuzzy regulátoru, lze říci, že v nejvolnějším pojetí je typ regulátoru dán typem pravidel a jeho forma je určena systémem pravidel, které (podle odhadu návrháře) naplňují očekávanou funkci regulátoru.