

Manuálny návrh bázy znalostí FR

1. Analýza vstupov a výstupov sústavy a regulátora.
2. Definovanie kritérií na posudzovanie kvality navrhnutej bázy pravidiel (napr. typ požadovaného procesu – aperiodický, kmitavý atď.; veľkosť prvého prekmitu; doba nábehu a pod.)
3. Návrh počtu a typov FP (trojuholníková, zvonovitá, a pod.) pre hodnoty lingvistických premenných.
4. Prvotný návrh, resp. modifikácia parametrov FP (*malé zmeny v správaní sa*).
5. Návrh prvotnej bázy pravidiel, resp. jej modifikácia (*veľké zmeny v správaní sa*).
6. Cyklické opakovanie bodov 4 a 5, až kým nie sú dostatočne dobre splnené kritériá z bodu 2.
7. Ak nie je možné splniť kritériá, treba zväčšiť počet lingvistických hodnôt.

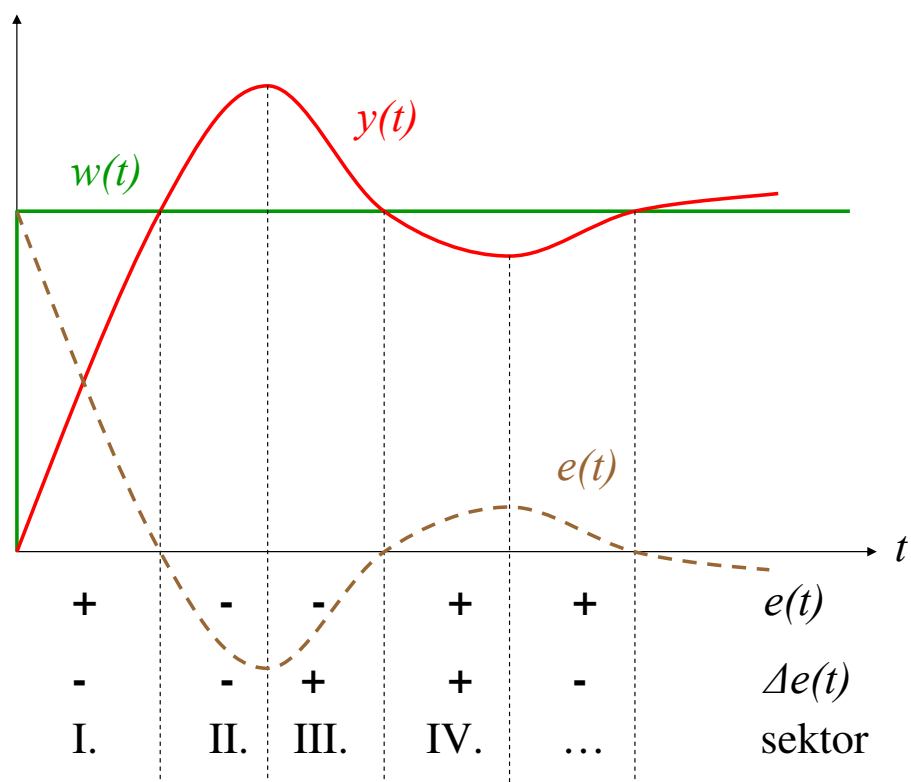
Špeciálne pre dva vstupy (e a Δe) a jeden výstup (Δu):

- e - poloha pracovného bodu v stavovom priestore
- Δe - smer (*znamienko*) a veľkosť zmeny (*absolútna hodnota*) polohy pracovného bodu
- Δu - smer (*znamienko*) a veľkosť zmeny (*absolútna hodnota*) akčnej veličiny



Všeobecné pravidlá pre definovanie bázy pravidiel

1. Ak e je nulová a Δe je tiež nulová, tak potom zmena výstupu z regulátora Δu nech je tiež nulová.
2. Ak e nie je síce nulová, ale Δe má správny smer a aj veľkosť (e nie je ani príliš pomalá kvôli požadovanej rýchlosti odozvy a ani príliš rýchla kvôli nebezpečeniu prekmitu), tak potom Δu nech je nulová.
3. V ostatných prípadoch Δu nie je nulová a závisí na absolútnej hodnote a znamienku e a Δe .



Priebeh výstupnej veličiny a určenie pravidiel.

| sektor | poloha $y(t)$ voči $w(t)$ | trend $y(t)$ | $e(t)$ | $\Delta e(t)$ | trend | $\Delta u(t)$ |
|--------|------------------------------|--------------|--------|---------------|------------|---------------|
| I. | ↓ | ↑ | + | - | konverguje | ≈ 0 |
| II. | ↑ | ↑ | - | - | diverguje | $\ll 0$ |
| III. | ↑ | ↓ | - | + | konverguje | ≈ 0 |
| IV. | ↓ | ↓ | + | + | diverguje | $\gg 0$ |

↓

$$\begin{array}{c}
 \Delta e(t) \\
 + \quad - \\
 e(t) \begin{array}{c} + \\ - \end{array} \begin{array}{|c|c|} \hline + & 0 \\ \hline 0 & - \\ \hline \end{array}
 \end{array}$$

Príklad postupu navrhovania bzy znalostí

- sčítava 2. rdu - jednosmern motor so zjednoduenm prířdovm obvodom

- typ riadiaceho systému: MIMO - multiple input & multiple output

- vstupy:

- e
- Δe

- vstupy:

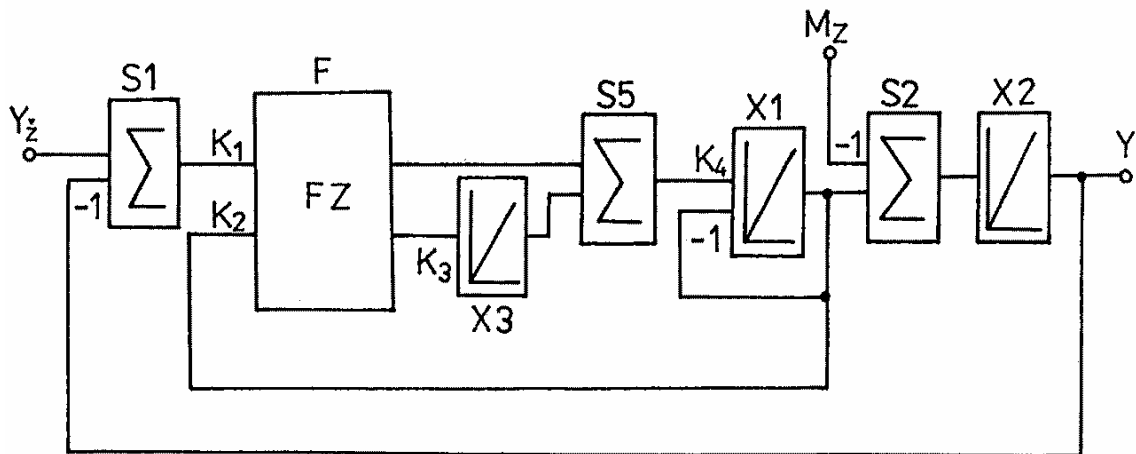
- u (celkov)
- F_P (proporcionlna zloka)
- F_I (integran zloka)

$$u_N(t) = F_P(t) + K_3 \int_0^t F_I(T).dT$$

- obor hodnôt: $\langle -10; +10 \rangle$

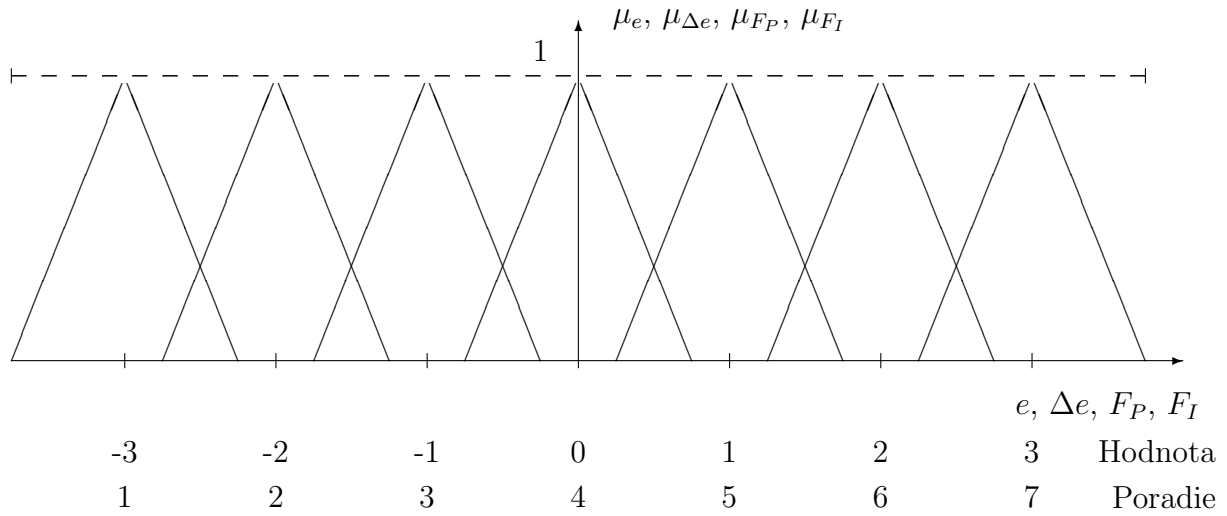
- normalizovan koeficienty: K_1, K_2, K_3 a K_4 (normalizovan na interval $\langle -3; +3 \rangle$)

$$e_N = K_1 \cdot e \quad \Delta e_N = K_2 \cdot \Delta e \quad u = K_4 \cdot u_N$$



Schma zapojenia fuzzy regultora s riadenou sčítavou (S - sumtory, K - normalizovan koeficienty, X - integrtory, FZ - fuzzy blok).

Kritrium - minimlna doba nbehu a nekmitav priebeh



Funkcie prislunosti lingvisticckch hodnôt - veobecn prïpad.

Poiaton informcie o riadenom systme - prvotn bza pravidiel:

- Ak je e kladn a Δe nulov, potom nech u je kladn.
- Ak je e kladn a Δe zporn, potom nech u je nulov.
- Ak je e zporn a Δe kladn (t.j. vstup kles), potom nech u je nulov.
- Ak je e zporn a Δe nulov, potom nech u je zporn.

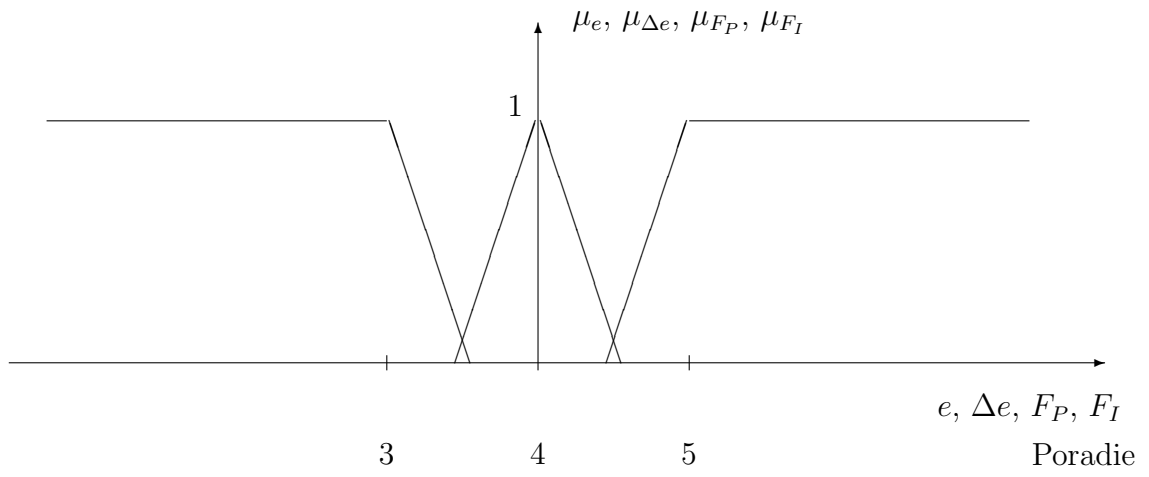
1. krok:

$$a = 1, 1 \quad K_1 = K_2 = 0, 5 \quad K_3 = 0, 3 \quad K_4 = 3$$

a – šírka rozpätia od vrcholu FP po hranicu jej nosiča

| | | | | |
|------------|---|---|---|---|
| e | 5 | 5 | 3 | 3 |
| Δe | 4 | 3 | 5 | 4 |
| F_P | 5 | 4 | 4 | 3 |
| F_I | 5 | 4 | 4 | 3 |

TabuĽka tartovacjch riadiacich pravidiel.



tartovacie funkcie prislunosti.

Odozva sľstavy pre poiaton parametre bzy znalostj.

2. krok:

Sľstava m dlhľ dobu nbehu znane kmit \Rightarrow oetrujme okolie nulovej regulanej odchlky doplnenjm bzy pravidiel o dve pravidl. Bude pracova len integran zloka.

$$K_1 = 0,4 \quad K_2 = 0,6 \quad K_3 = 0,3 \quad K_4 = 3 \quad a = 1,3$$

| | | | | | | |
|------------|---|---|---|---|---|---|
| e | 5 | 5 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| Δe | 4 | 3 | 5 | 4 | 5 | 3 |
| F_P | 5 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 |
| F_I | 5 | 4 | 4 | 3 | 5 | 3 |

TabuEka riadiacich pravidiel doplnen o pravidlá oetrujľce okolie nulovej regulanej odchlky pomocou integranej zloky.

Odozva sľstavy pri doplnenji o integranľ zloku v okolji nulovej regulanej odchlky.

3. krok:

Zmer sa sasti vydaril, ale v oblasti iadanej hodnoty je stle dos veEk kladn odchlka e , lebo brzdenie nastva a po zmene znamienka e , take dochdza k prekmitu \Rightarrow do brzdenia zapojjme aj proporcionlnu zloku u poslednych dvoch pravidiel.

| | | | | | | |
|------------|---|---|---|---|---|---|
| e | 5 | 5 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| Δe | 4 | 3 | 5 | 4 | 5 | 3 |
| F_P | 5 | 4 | 4 | 3 | 5 | 3 |
| F_I | 5 | 4 | 4 | 3 | 5 | 3 |

TabuEka riadiacich pravidiel doplnen aj o proporcionlnu zloku kvôli lepiemu brzdeniu v okolj iadanej hodnoty.

Odozva s£stavy pri doplnenj o integran£ a aj proporcionlnu zloku v okolj nulovej regulanej odchlky.

4. krok:

Z normalizovaných koeficientov sa podarilo dostať maximum \Rightarrow zostáva u len monosylabov a dvojsylabov poet lingvistických hodnôt vstupu e na pä (teda okrajové podmienky budú na FP . 2 a 6). Pridáme aj podmienky pre zvrátenie nárastu regulovanej veličiny (vstup z regulovanej sústavy). Predposledná dvojica pravidiel je pre kladný regulovaný odchýlku a posledná dvojica pre záporný odchýlku.

$$K_1 = 0,42 \quad K_2 = 0,62 \quad K_3 = 0,3 \quad K_4 = 3 \quad a = 1,3$$

| | | | | | | | | | | |
|------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| e | 6 | 6 | 2 | 2 | 4 | 4 | 6 | 6 | 2 | 2 |
| Δe | 4 | 3 | 5 | 4 | 5 | 3 | 4 | 3 | 4 | 5 |
| F_P | 5 | 4 | 4 | 3 | 5 | 3 | 7 | 4 | 1 | 4 |
| F_I | 5 | 4 | 4 | 3 | 5 | 3 | 6 | 4 | 2 | 4 |

Riadiace pravidlá doplnen o pravidlá pre pä lingvistických hodnôt vstupu e .

Odozva sústavy pri rozložení potu FP pre e na pä.

5. krok:

Prekmit je stále u menš a aj odozva rchlejšia, ale stále je to ešte malo \Rightarrow rozšírime poet FP na pä aj pre Δe a dodáme dve pravidlá pre nárast aknej veličiny, ak e m FP . 6. Symetricky k tomu sa pridá aj dvojica pravidiel pre pokles aknej veličiny, ak e m FP . 2.

| | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| e | 6 | 6 | 2 | 2 | 4 | 4 | 6 | 6 | 2 | 2 | 6 | 6 | 2 | 2 |
| Δe | 4 | 2 | 6 | 4 | 6 | 2 | 4 | 2 | 4 | 6 | 3 | 2 | 5 | 6 |
| F_P | 5 | 4 | 4 | 3 | 5 | 3 | 7 | 4 | 1 | 4 | 6 | 5 | 2 | 3 |
| F_I | 5 | 4 | 4 | 3 | 5 | 3 | 6 | 4 | 2 | 4 | 5 | 4 | 3 | 4 |

Riadiace pravidl rozřren o pravidl pre pä lingvisticckch hodnôt vstupu Δe .

Odozva sřstavý pri rozřrenj potu FP pre e a aj Δe na pä.

6. krok:

Je podstatn urchlenie regulcie, ale zväil sa prekmit \Rightarrow zavedieme pravidl zabezpeujce kvalitnejie brzdenie v oblasti nulovej regulanej odchylky.

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| e | 6 | 6 | 2 | 2 | 4 | 4 | 6 | 6 | 2 | 2 | 6 | 6 | 2 | 2 | 4 | 4 |
| Δe | 4 | 2 | 6 | 4 | 6 | 2 | 4 | 2 | 4 | 6 | 3 | 2 | 5 | 6 | 2 | 6 |
| F_P | 5 | 4 | 4 | 3 | 5 | 3 | 7 | 4 | 1 | 4 | 6 | 5 | 2 | 3 | 2 | 6 |
| F_I | 5 | 4 | 4 | 3 | 5 | 3 | 6 | 4 | 2 | 4 | 5 | 4 | 3 | 4 | 2 | 6 |

TabuEka riadiacich pravidiel doplnen o pravidlá zabezpeujce kvalitnejie brzdenie v oblasti iadanej hodnoty.

Odozva sEstavu na silnejie brzdenie v okolj iadanej hodnoty.

7. krok:

Dostali sme skoro aperiodick pribeh, ale sľstava je prjli ubrzdzen (ubrzdzenie pod iadanou hodnotou a len pomal doregulovanie) \Rightarrow posledn dve pravidl pozmenjme a pridme jednu dvojicu pravidiel na stlmenie brzdiaceho ťlinku.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| e | 6 | 6 | 2 | 2 | 4 | 4 | 6 | 6 | 2 | 2 | 6 | 6 | 2 | 2 | 4 | 4 | 5 | 3 |
| Δe | 4 | 2 | 6 | 4 | 6 | 2 | 4 | 2 | 4 | 6 | 3 | 2 | 5 | 6 | 2 | 6 | 2 | 6 |
| F_P | 5 | 4 | 4 | 3 | 5 | 3 | 7 | 4 | 1 | 4 | 6 | 5 | 2 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| F_I | 5 | 4 | 4 | 3 | 5 | 3 | 6 | 4 | 2 | 4 | 5 | 4 | 3 | 4 | 2 | 6 | 4 | 4 |

TabuEka riadiacich pravidiel doplnen o pravidlá tlnenia brzdiaceho ťlinku.

Odozva sľstavy na jemnejie brzdenie v okolí iadanej hodnoty.

8. krok:

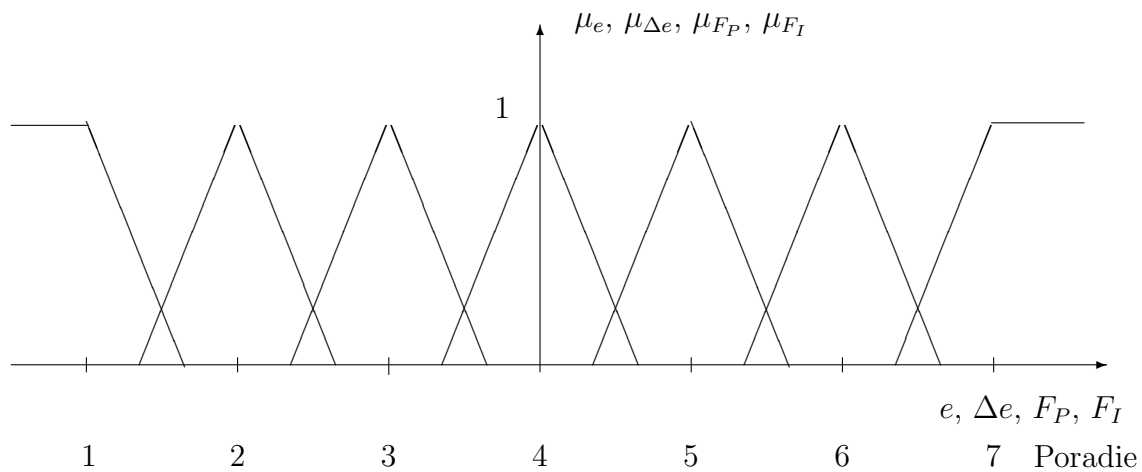
Priebeh je u takmer ideálny \Rightarrow na úplné odstránenie prekmitu zjemníme vstup Δe s využitím siedmych FP a zadaných dvoch pravidiel.

$$K_1 = 0,42 \quad K_2 = 0,63 \quad K_3 = 0,3 \quad K_4 = 3 \quad a = 1,3$$

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| e | 6 | 6 | 2 | 2 | 4 | 4 | 6 | 6 | 2 | 2 | 6 | 6 | 2 | 2 | 4 | 4 | 5 | 3 | 4 | 4 |
| Δe | 4 | 2 | 6 | 4 | 6 | 2 | 4 | 2 | 4 | 6 | 3 | 2 | 5 | 6 | 2 | 6 | 2 | 6 | 7 | 1 |
| F_P | 5 | 4 | 4 | 3 | 5 | 3 | 7 | 4 | 1 | 4 | 6 | 5 | 2 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| F_I | 5 | 4 | 4 | 3 | 5 | 3 | 6 | 4 | 2 | 4 | 5 | 4 | 3 | 4 | 2 | 6 | 4 | 4 | 7 | 1 |

Vsledn tabuľka riadiacich pravidiel.

Vsledn odozva sústavy s odladeným fuzzy regulátorom.



Vsledn funkcie prislunosti vstupov a vstupov odladenho fuzzy regultora.

Technick podpora pre fuzzy riadenie

- hardware
- software

Nroky fuzzy systmov na typy vpotovch procesov:

- Prca so znane zloitm algebraickmi truktúrami \Rightarrow potreba vytvrania zloitejich dtovch truktúr, ich uchovvanie v pamäti a spracovanie
- Vektorov a maticov reprezentcia dt \Rightarrow potreba efektívnosti maticovch opercií
- Reprezentcia funkcií príslunosti, ich uchovvanie v pamäti a vpoet stupa príslunosti
- Paralelizmy vo vpotoch, najmä v prípade inferencie podĎea jednotlivch pravidiel
- VeĎek poet asovo nronch opercií, napr. veĎek poet rozhodovaní

Fuzzy hardware

Genercie stavebnch prvkov pre fuzzy logiku:

- **Analogov ípy**
- **Digitlne fuzzy ípy** (*FC 110* Togai Infralogic, *FP 3 000* Omron)
- **Hybridn technolgie** (*Fuzzy 166* Siemens, *SLC-500* a *PLC-5* Allen-Bradley)

Vznamn firmy vyrbajúce produkty pre fuzzy logiku:

- Omron - prvenstvo vo vrobe fuzzy ípov
- Allen-Bradley
- Yokogawa
- Siemens
- Jumo
- Motorola
- Intel
- IBM
- Rosemount
- Honeywell
- NeuraLogix
- Teco - jedin firma v rmcí bvalho eskoslovenska

Skupiny hardwarovch produktov pre fuzzy aplikacie:

1. Fuzzy mikroprocesory

- väinou ako koprocesory ku klasickm procesorom
- základn stavebn prvok ostatnch produktov
- hardwarov implementcia opercij využívaných vo fuzzy logike, napr. T-normy a S-normy, fuzzifikcia pomocou tzv. tabuľkovej pamäte, kompozícia a defuzzifikcia pomocou sumaného lena
- monos paralelnej architektúry (viac dielich mikroprocesorov)
- monos práce s neuronmi sieami
- rýchlosť aspo 30 a 40 krát vyššia ako softwarové riešenie na klasických procesoroch
- produkty - *NLX230* NeuraLogix, *FP 3 000* Omron, *FC 110* Togai-Infralogic

2. Fuzzy regulatory

- väinou priemyselne logické programovateľné automaty
- produkty - *Fuzzy 166* Siemens, *SLC-500* a *PLC-5* Allen-Bradley

3. Fuzzy computery

- pokus o návrh novej architektúry špeciálneho počítača schopného spracovávať vgne, matematicky presne formalizovateľné úlohy
- zabudovaný algoritmus fuzzy regulátora
- na rozdiel od klasických binárnych slov zobrazenie údajov vo forme fuzzy slov
- hardwarová realizácia T-normy a S-normy
- rýchlosť vyhodnocovania a 10 miliónov inferencií
- monos paralelnej architektúry
- produkty - väinou na univerzitách a výskumných ústavoch, napr. *YFM-1* univerzita v Kumamoto (Japonsko)

Fuzzy software

- Komern ako súčasť ponuky spolu s hardware
- Komern ako samostatný produkt, napr. *fuzzyTech Inform*, *FlexControl*, *FIDE*
- Freeware, napr. *FOOL & FOX* univerzita Oldenburg (Nemecko)

Software podľa účelu použitia:

1. Podporné knižnice základných programovacích jazykov (najmä C) s funkciami pre priame programovanie fuzzy systémov
2. špeciálne programovacie jazyky s lingvistickými fuzzy konštrukciami
3. Vývojové prostriedky (angl. shells) pre interaktívny návrh fuzzy systémov - obzvlášť dôležitá skupina (*FlexControl* univerzita Singapur, *FIDE*, *A-B Flex* Allen-Bradley)

Úlohy vývojových prostriedkov (shellov):

- Zostavenie štruktúry navrhovaného systému
- Definovanie vstupov, výstupov a k nim priradených funkcií príslušnosti
- Tvorba a modifikácia znalostnej bazy
- Analýza správanie sa systému, napr. zobrazovanie regulácií a stavov veľjín, regulovanej plochy a pod.
- Detekcia chýb a ladenie bazy znalostí
- Generovanie strojového kódu pre použitie riadiaci mikroprocesor alebo zdrojového kódu (napr. v jazyku C) pre aplikácie na počítači, napr. PC.