

Zastosowanie logiki rozmytej w systemach sterowania

Modele rozmyte

Sterowanie rozmyte

s.r. statyczne

s.r. dynamiczne

rozmytość

niepewność leksykalna
(np. duża wygrana)

≠

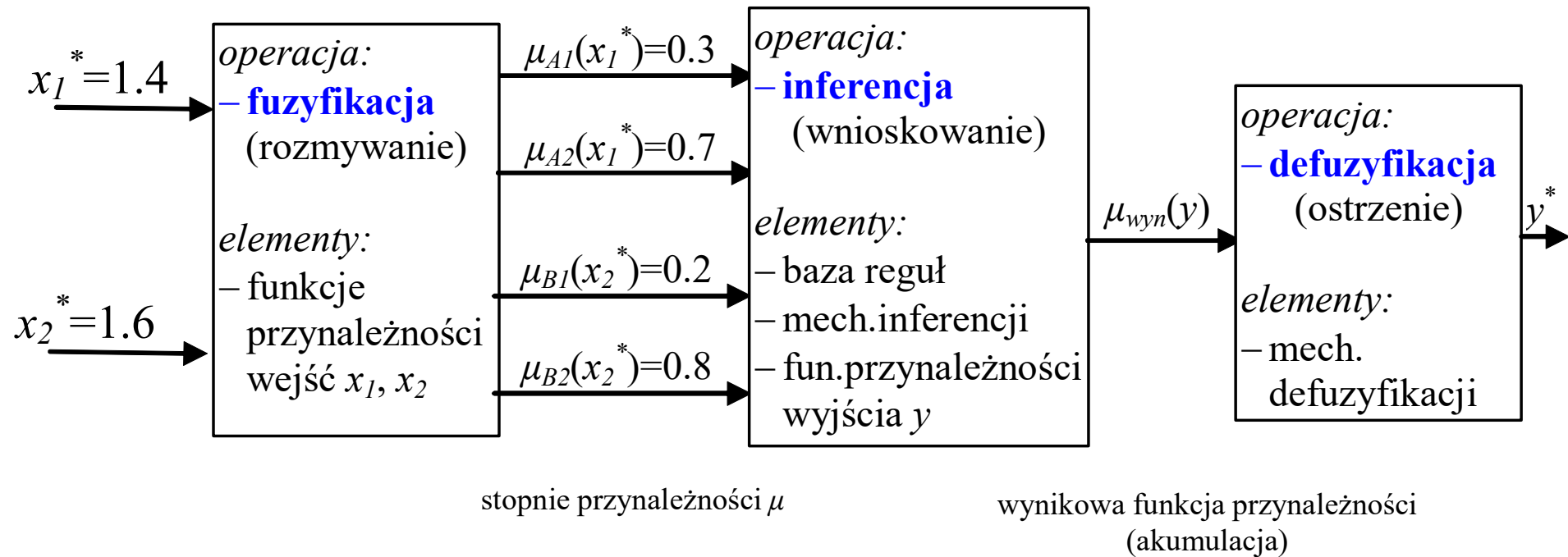
przypadkowość

niepewność stochastyczna
(np. prawdopodobieństwo wygrania = 0.4)

Literatura podstawowa:

Andrzej Piegat; Modelowanie i sterowanie rozmyte; Akadamička Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 1999
Prawie wszystko o Logice Rozmytej [PW] <http://www.isep.pw.edu.pl/ZakladNapedu/dyplom/fuzzy/>

Modele rozmyte

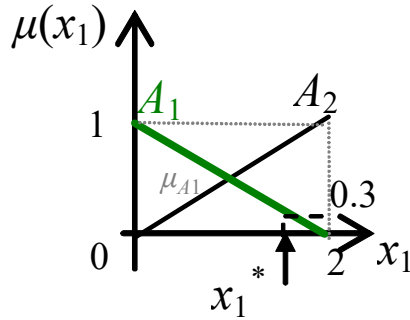


1) Fuzyfikacja - rozmywanie

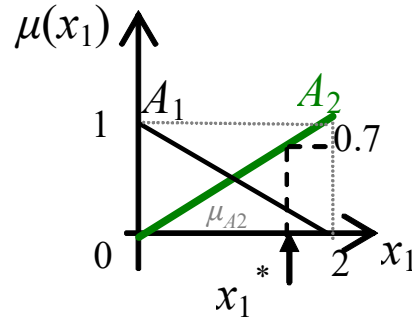
Określenie stopnia przynależności μ wartości do zbiorów rozmytych

np.: A_1 =mały, ok.0; A_2 =duży, ok.2; B_1 =mały, ok.0; B_2 =duży, ok.2;

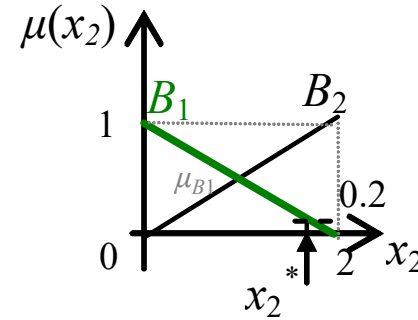
operacja:
 - fuzyfikacja (rozmywanie)
 elementy:
 - funkcje przynależności wejść x_1, x_2



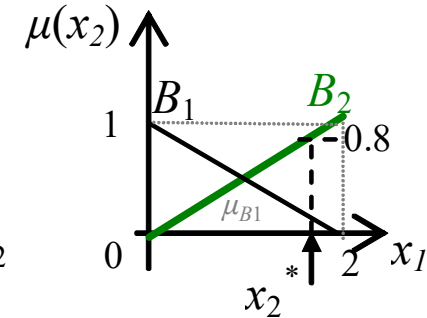
x_1 jest mały w stopniu 0.3
 (x_1 należy do A_1 w stopniu 0.3)



x_1 jest duży w stopniu 0.7
 (x_1 należy do A_2 w stopniu 0.7)

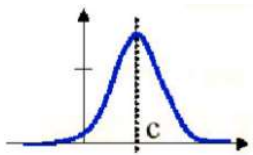


x_2 jest mały w stopniu 0.2
 (x_2 należy do B_1 w stopniu 0.2)

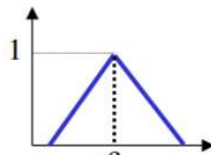


x_2 jest duży w stopniu 0.8
 (x_2 należy do B_2 w stopniu 0.8)

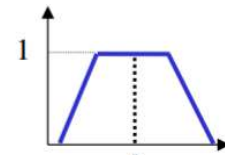
Funkcje przynależności



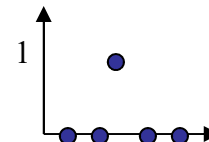
funkcje gaussowskie



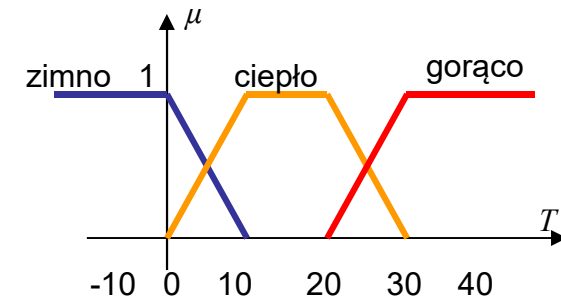
funkcje trójkątne



funkcje trapezoidalne



singleton



Uwagi do projektowania na etapie rozmywania:

- Parametry i kształt funkcji przynależności mają duży wpływ na dokładność modelu

2) Inferencja - wnioskowanie

a) Baza reguł

1. Modele Mamdaniego

- reguły postaci: **JEŚLI (x jest A) TO (y jest B)**
 - we wnioskach reguł występują zbiory rozmyte
- własności: [r.5.7.1, s.315]
 - dobra przy małej ilości zmiennych
 - liczba reguł rośnie wykładniczo wraz z liczbą zmiennych w przesłance
 - im więcej reguł, tym trudniej ocenić ich dopasowanie do problemu
 - zbyt duża liczba zmiennych w przesłance - trudno zrozumieć relacje między przesłankami i konsekwencjami.
- związek z modelem Talagi-Sugeno [s.295]
 - najprostsza forma modelu Talagi-Sugeno
 - konwersja na podstawie „ważnych” punktów (dla SISO łatwo, dla MIMO złożone)

2. Modele Talagi-Sugeno (TS) (inne nazwy: Talagi-Sugeno-Kanga, modele quasi-liniowe, rozmyte modele liniowe)

- reguły postaci: **JEŚLI (x jest A) TO (y =f(x))** , $y=f(x)$ np. $y=x+2$
 - we wnioskach reguł występują funkcje zmiennych wejściowych (zwykle liniowe)
- własności: [r.5.7.2, s.286]
 - łączy reguły lingwistyczne i tradycyjny opis
 - system ma postać płaskich liniowych segmentów (jeden segment – jedna reguła TS)
 - szczególnie nadają się szczególnie do regulatorów
 - np. można zaprojektować optymalne regulatory w kilku punktach i połączyć w regulator rozmyty
 - ułatwione dowodzenie stabilności (dzięki lokalno-liniowej strukturze)
- związek z modelem Mamdaniego
 - uogólnienie modelu Mamdaniego
 - konwersja na m.Mamdaniego trudna lub niemożliwa (ze względu na funkcje $f(x)$)

<i>operacja:</i> - inferencja (wnioskowanie)
<i>elementy:</i> - baza reguł - mechanizm inferencji - fun.przynależności wyjścia y

2) Inferencja - wnioskowanie

b) Inferencja i agregacja przesłanek

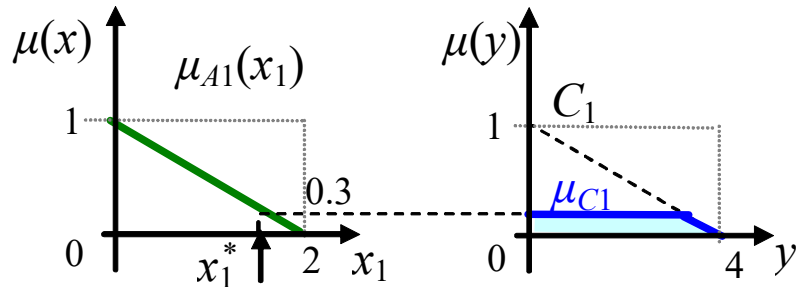
Inferencja (wnioskowanie) – określanie stopnia spełnienia przesłanek

Agregacja – obliczanie stopnia prawdziwości przesłanek złożonych z przesłanek prostych.

operacja: - inferencja (wnioskowanie) elementy: - baza reguł - mechanizm inferencji - fun.przynależności wyjścia y

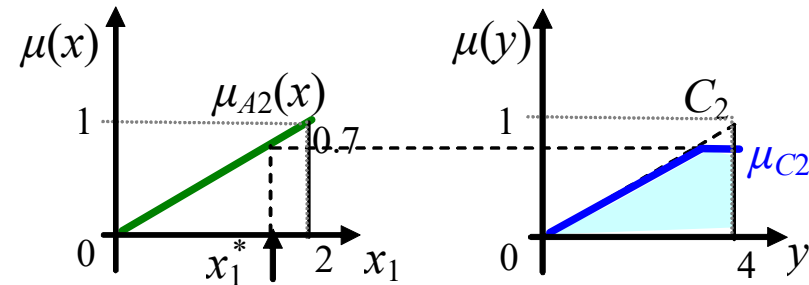
Proste przesłanki i inferencja

Reguła1: JEŚLI ($x_1=A_1$) TO ($y=C_1$)



x_1 należy do A_1 w stopniu 0.3 → stopień aktywacji C_1

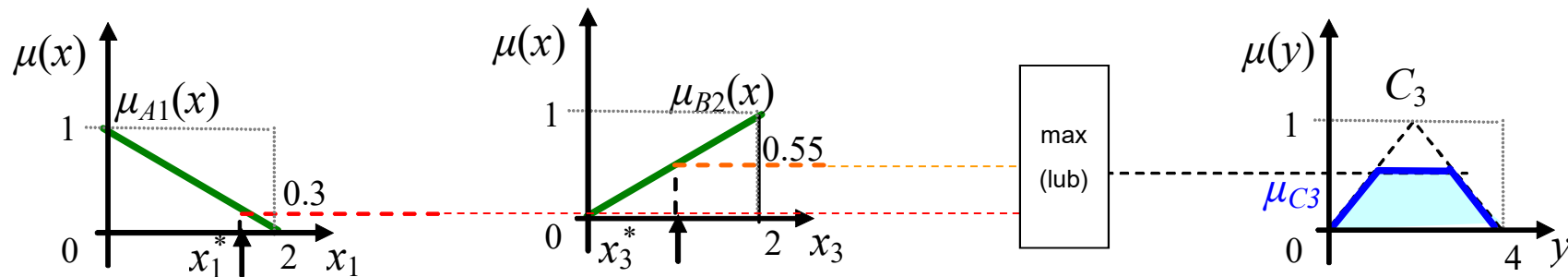
Reguła2: JEŚLI ($x_1=A_2$) TO ($y=C_2$)



x_1 należy do A_2 w stopniu 0.7 → stopień aktywacji C_2

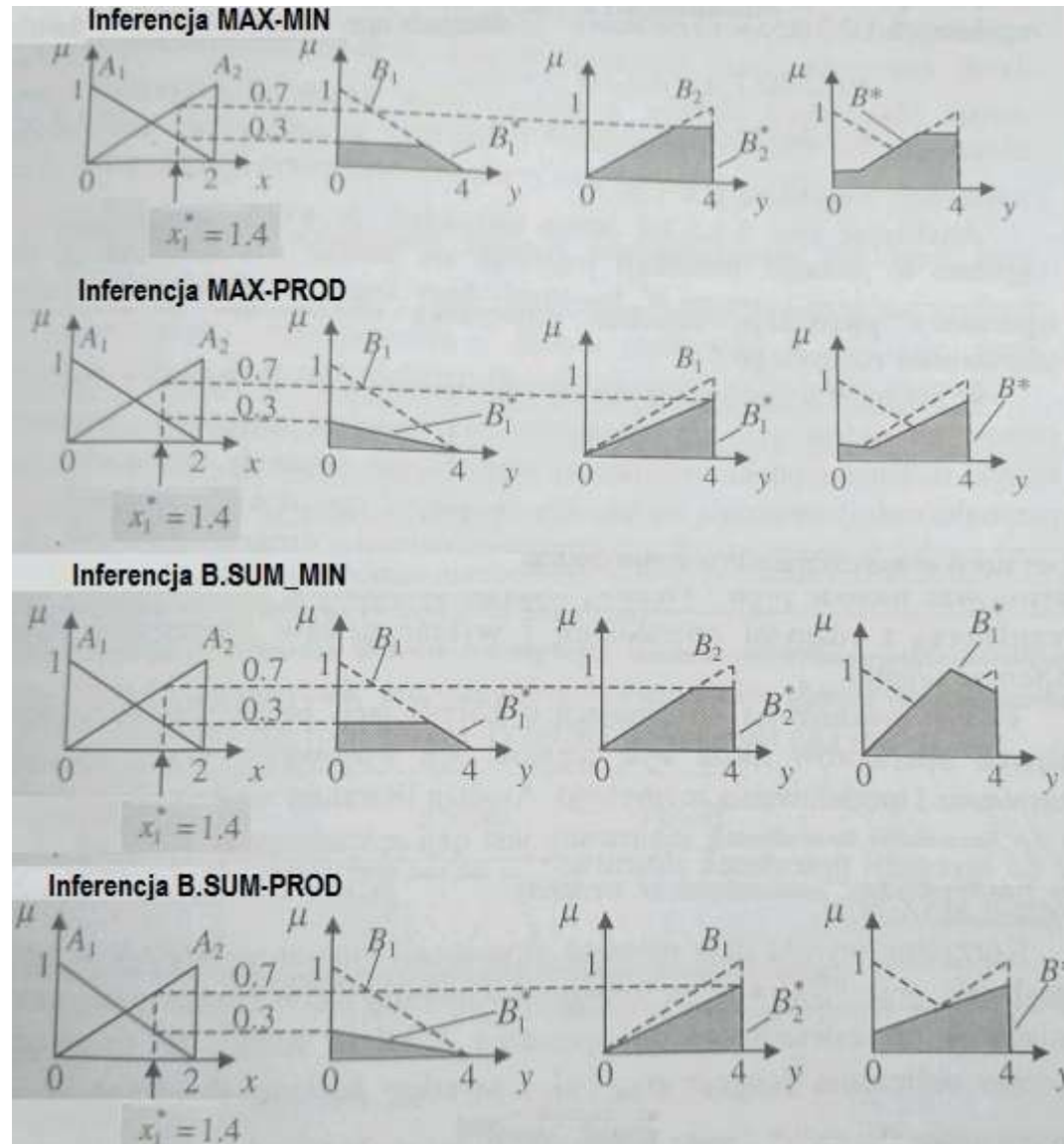
Złożone przesłanki, inferencja, agregacja

Reguła3: JEŚLI ($x_1=A_1$ lub $x_3=B_2$)



Mechanizm inferencji złożonych przesłanek

operacja:
 - **inferencja** (wnioskowanie)
 elementy:
 - baza reguł
 - mechanizm inferencji
 - fun.przynależności wyjścia y

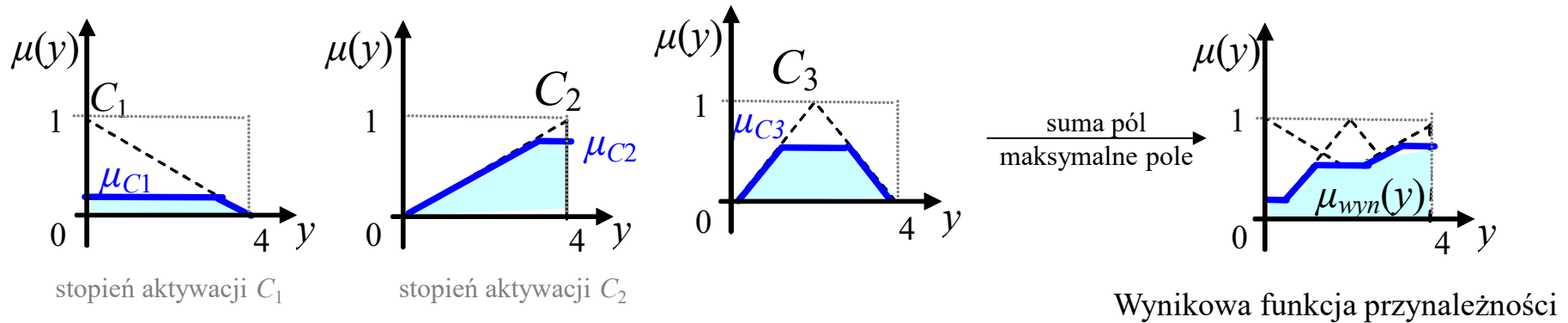


Inferencja - wnioskowanie

c) Akumulacja

Akumulacja – proces tworzenia konkluzji wynikowej na podstawie konkluzji składowych

operacja:
 - **inferencja** (wnioskowanie)
 elementy:
 - baza reguł
 - mechanizm inferencji
 - fun.przynależności wyjścia y



2) Inferencja - wnioskowanie

<i>operacja:</i> - inferencja (wnioskowanie) <i>elementy:</i> - baza reguł - mechanizm inferencji - fun.przynależności wyjścia y
--

Operacje:

- ocena stopnia spełnienia (prawdziwości) poszczególnych reguł
- określenie zaktywizowanych funkcji przynależności konkluzji poszczególnych reguł
- określenie wynikowej funkcji przynależności konkluzji wszystkich reguł (bazy reguł)

Implikacja: *Jeśli (przesłanka) to (wniosek) - gdzie przesłanki proste i/lub złożone (and, or)*

Inferencja (wnioskowanie) – określanie stopnia spełnienia przesłanek

Agregacja – obliczanie stopnia prawdziwości przesłanek złożonych z przesłanek prostych.

Akumulacja – proces tworzenia konkluzji wynikowej na podstawie konkluzji składowych

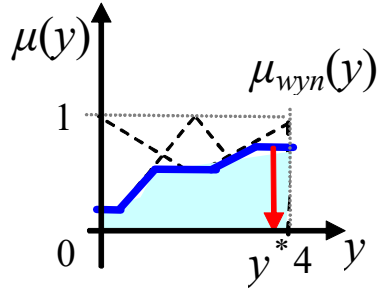
Uwagi do projektowania na etapie wnioskowania:

- Baza reguł: ilość, kompletność, ciągłość, redundancja
 - im więcej reguł, tym dokładniejszy model
 - Postać reguł – wybór typu modelu:
 - Mamdaniego
 - Sugeno (Talagi-Sugeno)
 - Wybór mechanizmów inferencji i agregacji [r.4.1 i 5.1]:
 - operator przecięcia (iloczynu logicznego) zbiorów (I , **AND**, \cap , \wedge) – operator **MIN**, **PROD**, **MEAN**
 - operator połączenia (sumy logicznej) zbiorów (**LUB**, **OR**, \cup , \vee) – operator **MAX**, **SUM**
- Pomocna jest analiza częstości stosowania przez specjalistów:
- do agregacji przesłanek **PROD** a do inferencji **MAX-MIN**
 - do agregacji przesłanek **MEAN** a do inferencji **SUM-MIN**

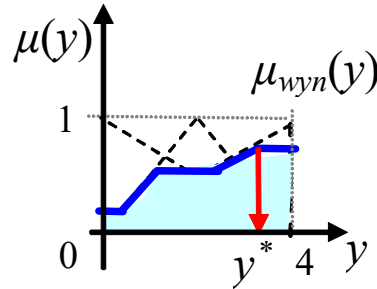
3) Defuzyfikacja - ostrzeżenie

Mechanizmy defuzyfikacji – metody:

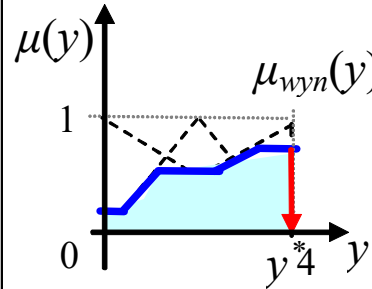
- środka maksimum (SM)
Middle of Maxima



- pierwszego maksimum (PM)
First of Maxima



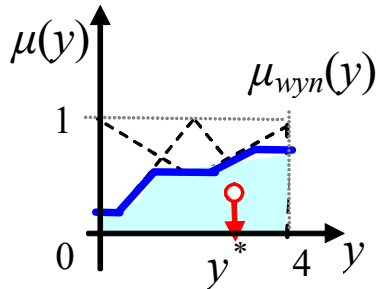
- ostatniego maksimum (OM)
Last of Maxima



operacja:
-defuzyfikacja (ostrzeżenie)
elementy:
- mechanizm defuzyfikacji

- proste obliczeniowo
- nieciągłe wyjście
- decyduje 1 zbiór

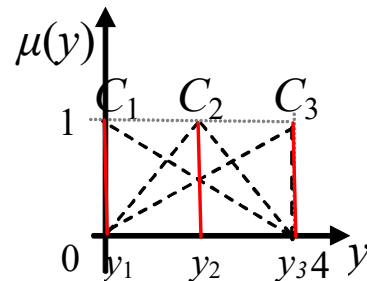
- środka ciężkości (S.C.)
Centre of Gravity (COG)



$$y^* = \frac{\int y \mu_{wym}(y) dy}{\int \mu_{wym}(y) dy}$$

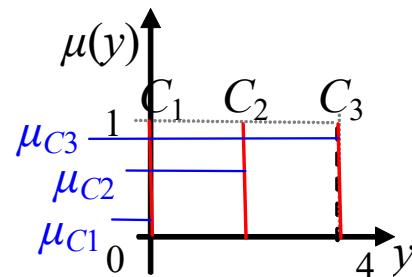
- trudniejsze obliczeniowo
- ciągle wyjście
- czasem nie reaguje na zmiany we.

- wysokości (W)
Height Method



- singletony (zbiory jednoelementowe)
- kiedy y ma wartość 1 w zbiorach C
- wyznaczone dla każdej reguły

$$y^* = \frac{\sum y_i \mu_{C_i}}{\sum \mu_{C_i}}$$



stopnie aktywacji zbiorów C

- proste obliczeniowo
- ciągle wyjście
- reaguje na zmiany wejść

- środka sum (SS)

Uwagi do projektowania na etapie wyostrzania:

- wybór mechanizmu defuzyfikacji (więcej, np.: <http://www.isep.pw.edu.pl/ZakladNapędu/dyplomy/fuzzy/> defuzyfikacja)

y*

Typy modeli:

1. Modele Mamdaniego,
2. Modele Talagi-Sugeno (TS)
3. Modele relacyjne [r. 5.7.3, s.296],
4. Globalne i lokalne modele rozmyte [s.301]
5. Wielomodele rozmyte [s.308],
6. Rozmyte modele neuronowe [s.313]

Metody modelowania

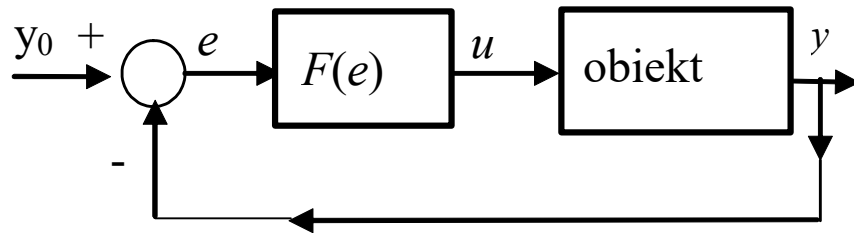
1) Na bazie wiedzy eksperta

2) Samonastrajające się modele rozmyte na bazie danych pomiarowych

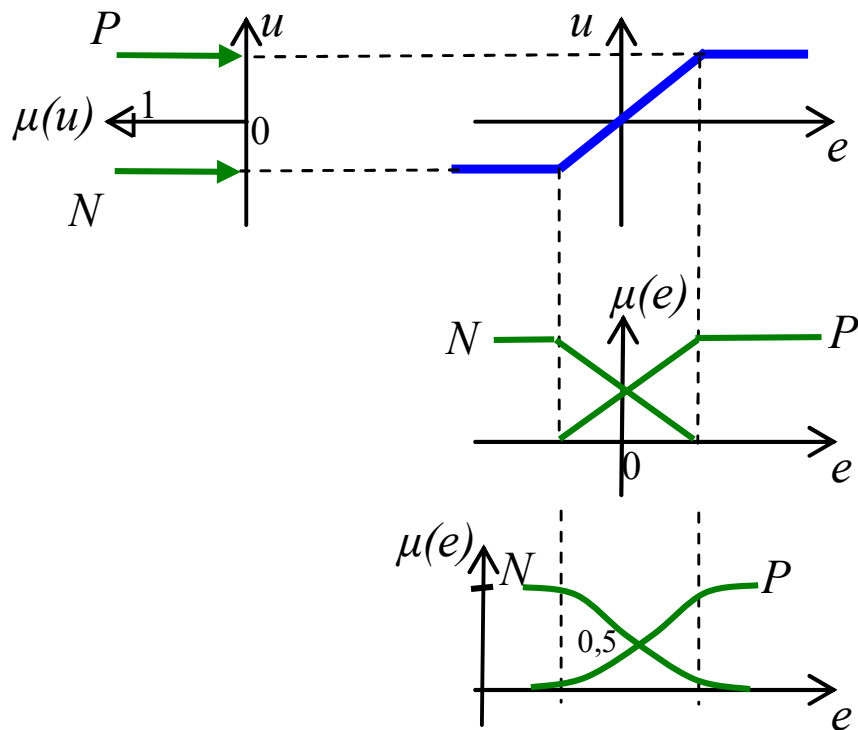
- Stała baza reguł i ilość zbiorów rozmytych, nastrajaniu podlegają parametry
- Metody strojenia (optymalizacji parametrów):
 - rozmytych sieci neuronowych
 - poszukiwań
 - oparte na klasteryzacji
 - wykorzystujące nierozmyte sieci neuronowe
 - heurystyczne

3) Samoorganizujące i samonastrajające się modele rozmyte na bazie danych pomiarowych

- Model sam określa optymalną ilość i postać reguł i zbiorów rozmytych oraz każdą z jego zmiennych
- Zwiększenie ilości zbiorów rozmytych i reguł pozwala:
 - uzyskać lepszą dokładność modelu (pod warunkiem jego dobrego strojenia),
 - gwałtownie zwiększa trudności strojenia modelu.
 - optymalizacja struktury jest trudna ale wykonalna
- Metody samoorganizacji i samostrojenia
 - ważnych punktów powierzchni systemu
 - klasteryzacyjne
 - poszukiwań



1) Statyczny regulator „liniowy” z ograniczeniem - wersja rozmyta

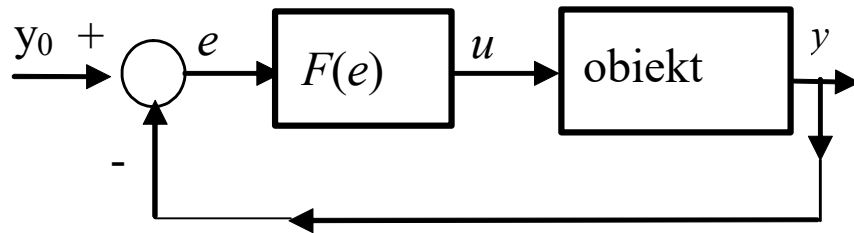


R1: JEŚLI ($e=N$) TO ($u=N$)

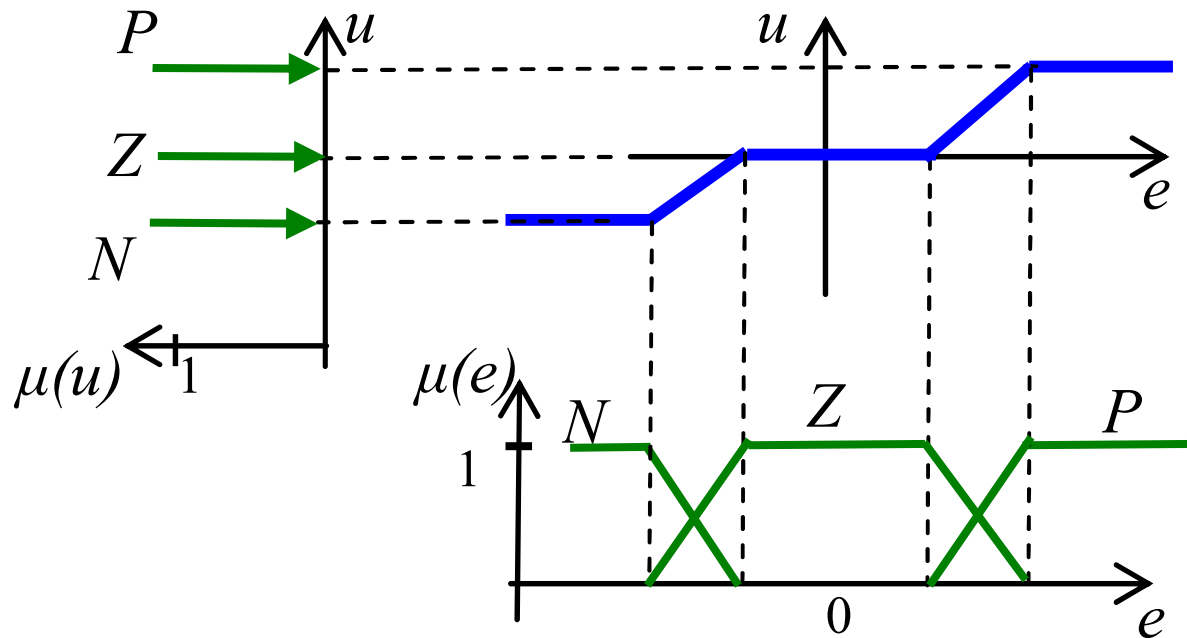
R2: JEŚLI ($e=P$) TO ($u=P$)

- z odcinkowo-liniowymi funkcjami przynależności

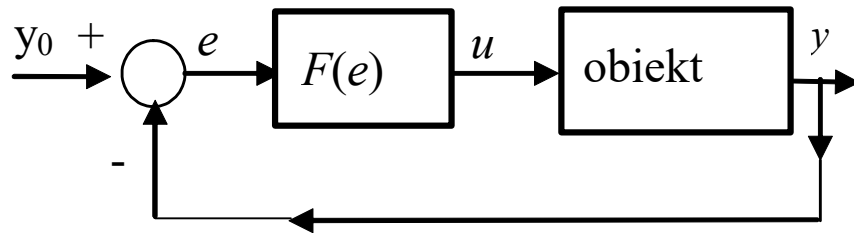
- z gładkimi funkcjami przynależności typu Gaussa lub $\sin(x)$



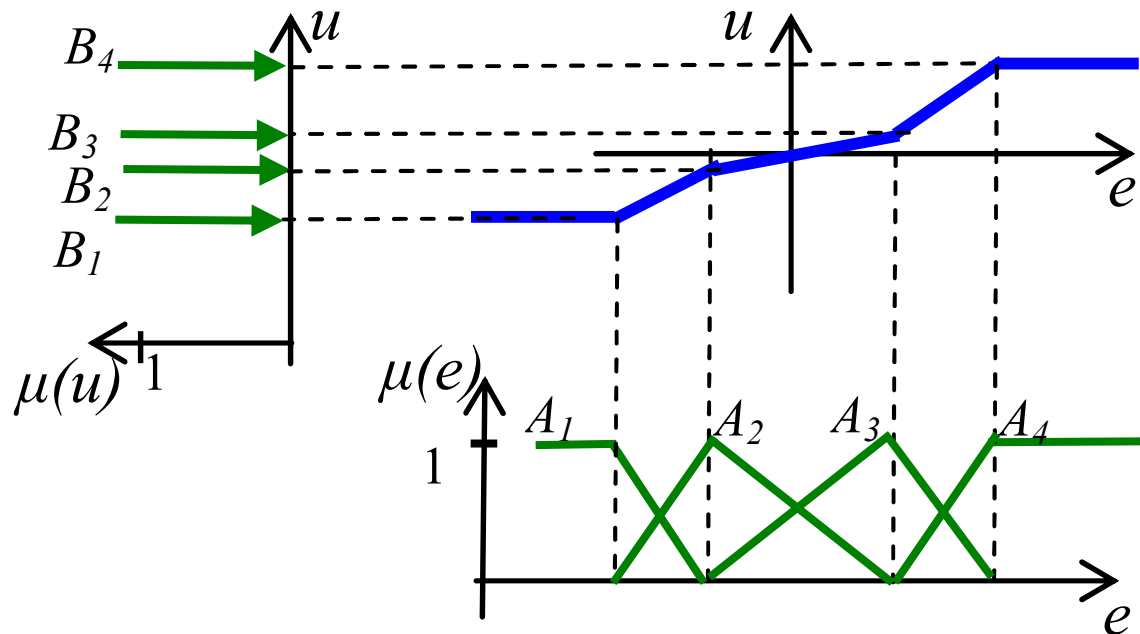
2) Statyczny regulator „liniowy” z nieczułością i ograniczeniem - wersja rozmyta



- R1: JEŚLI ($e=N$) TO($u=N$)
- R2: JEŚLI ($e=Z$) TO($u=Z$)
- R3: JEŚLI ($e=P$) TO($u=P$)



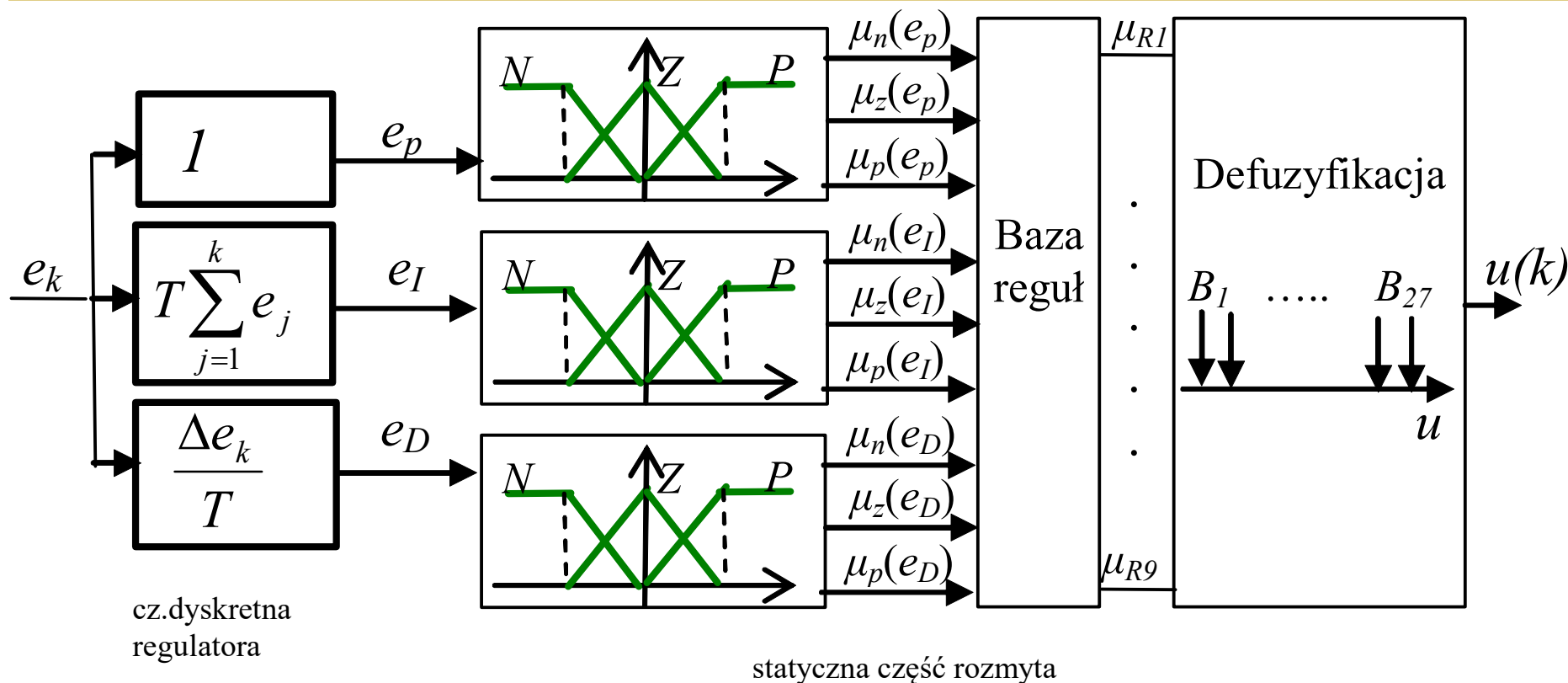
3) Regulator o złożonej charakterystyce statycznej - wersja rozmyta



- R1: JEŚLI ($e=A1$) TO($u=B1$)
- R2: JEŚLI ($e=A2$) TO($u=B2$)
- R3: JEŚLI ($e=A3$) TO($u=B3$)
- R4: JEŚLI ($e=A4$) TO($u=B4$)

- Stosując różne kształty funkcji przynależności można uzyskać praktycznie dowolną nieliniową charakterystykę regulatora.
- Konwencjonalny regulator statyczny a statyczny regulator rozmyty – algorytm działania r.rozmytego jest sformułowany w formie łatwych do zrozumienia reguł lingwistycznych.

Sterowanie rozmyte dynamiczne



- 1) Fuzyfikacja: w każdym torze 3 zbiory rozmyte N, Z, P .
- 2) Defuzyfikacja – metodą singketonów z użyciem 27 zbiorów B_1, \dots, B_{27} .
- 3) Pełna baza reguł – 27 reguł - przesłanki zawierają wszystkie kombinacje zbiorów wejść N, Z, P , a każdej regule odpowiada jeden zbiór wyjścia $B_i, i=1..27$:

R_i: JEŚLI ($e_p=N$) I ($e_I=N$) I ($e_D=N$) TO ($u=B_i$)

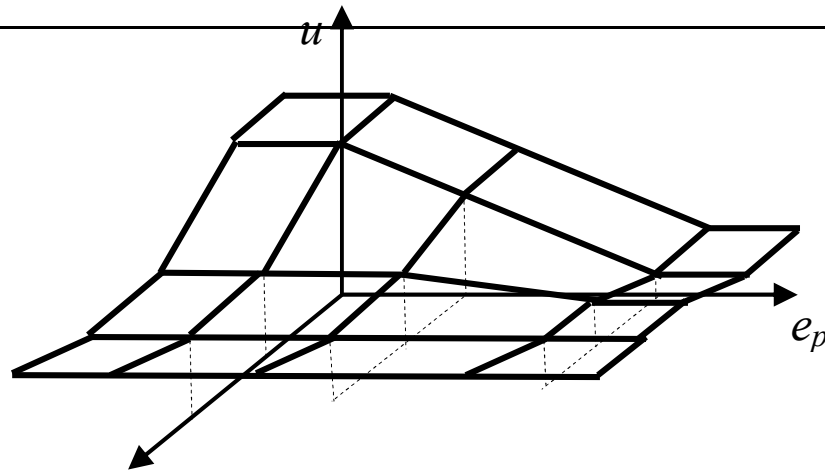
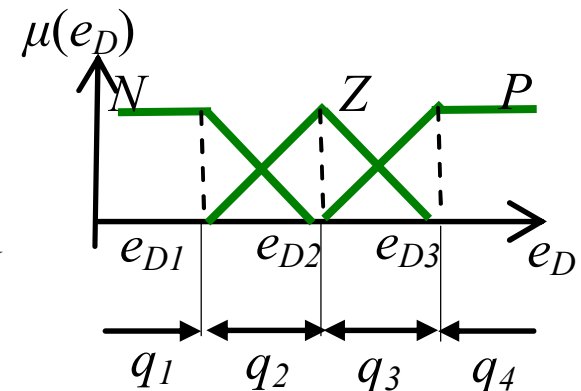
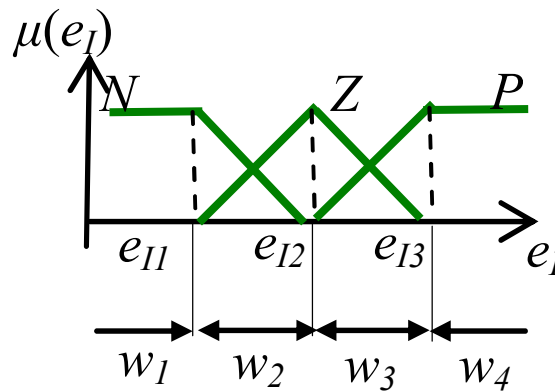
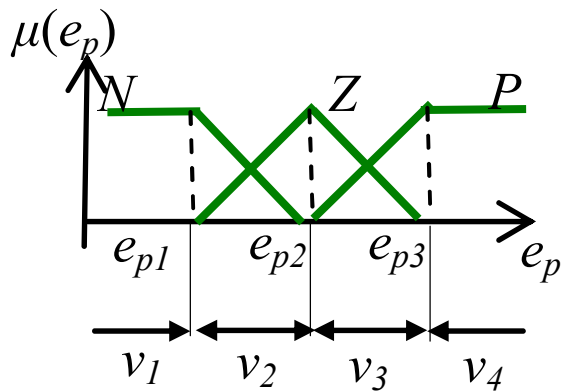
4) Sygnał sterujący

$$u = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^4 v_i w_j q_k \left(a_{0ijk} + a_{1ijk} e_p + a_{2ijk} e_I + a_{3ijk} e_D + a_{4ijk} e_p e_I + a_{5ijk} e_p e_D + a_{6ijk} e_I e_D + a_{7ijk} e_p e_I e_D \right)$$

Sygnał sterujący - pełna wersja zawiera 64 segmenty

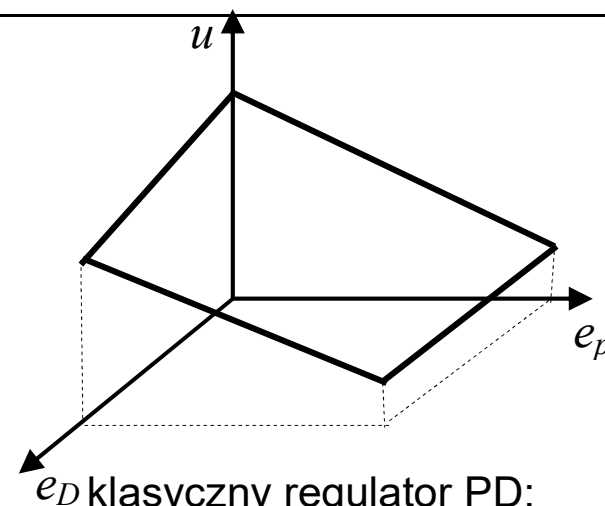
$$u = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^4 v_i w_j q_k (a_{0ijk} + a_{1ijk} e_p + a_{2ijk} e_I + a_{3ijk} e_D + a_{4ijk} e_p e_I + a_{5ijk} e_p e_D + a_{6ijk} e_I e_D + a_{7ijk} e_p e_I e_D)$$

gdzie v_i, w_j, q_k – zmienne logiczne (0, 1) mówiące o przynależności aktualnej wartości sygnału błędu do określonego sektora rozważań



regulator rozmyty PD (16 segmentów)

$$u_{ij} = a_{0ij} + a_{1ij} e_p + a_{2ij} e_D + a_{3ij} e_p e_D$$



klasyczny regulator PD:

$$u = K_p e_p + K_D e_D$$

<https://www.mathworks.com/help/fuzzy/fuzzy-pid-control-with-type-2-fis.html>