

Sterowanie z wykorzystaniem logiki rozmytej

Paweł Szoltysek

26 Stycznia 2008

Agenda

Agenda

Wstęp
Regulator rozmyty
Fuzyfikacja
Wnioskowanie
Defuzyfikacja
Przykład
Zastosowania

Agenda
Wstęp
Regulator rozmyty
Fuzyfikacja
Wnioskowanie
Defuzyfikacja
Przykład
Zastosowania

Agenda

Wstęp

Regulator rozmyty

Fuzyfikacja

Wnioskowanie

Defuzyfikacja

Przykład

Zastosowania

- ✓ Logika rozmyta jako uogólnienie logiki dwuwartościowej.
- ✓ Podstawowe pojęcie: funkcja przynależności.

Podstawy logiki rozmytej

Agenda

Wstęp

Regulator rozmyty

Fuzyfikacja

Wnioskowanie

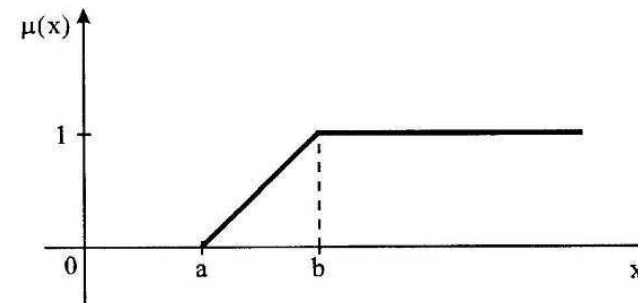
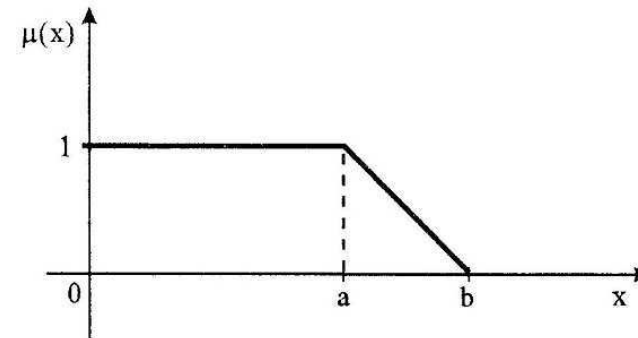
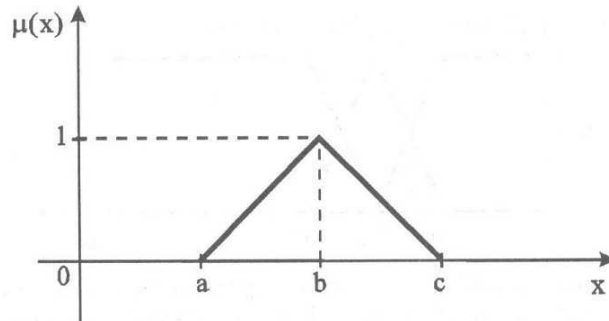
Defuzyfikacja

Przykład

Zastosowania

✓ Logika rozmyta jako uogólnienie logiki dwuwartościowej.

✓ Podstawowe pojęcie: funkcja przynależności.



Układ regulacji

Agenda

Wstęp

Regulator rozmyty

Fuzyfikacja

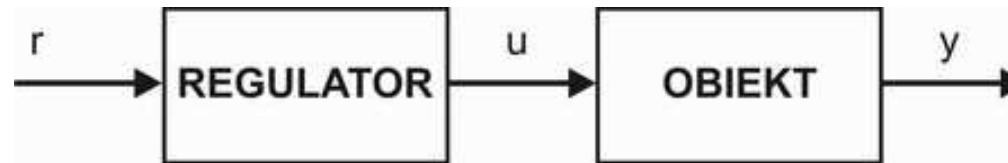
Wnioskowanie

Defuzyfikacja

Przykład

Zastosowania

Mając dany obiekt sterowania, na podstawie r chcemy wyznaczyć u które pozwoli nam osiągnąć możliwie najbliższe wyjście y .



Układ regulacji

Agenda

Wstęp

Regulator rozmyty

Fuzyfikacja

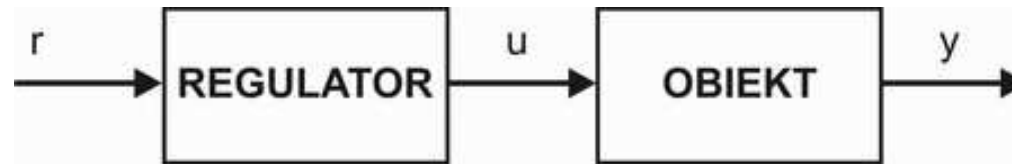
Wnioskowanie

Defuzyfikacja

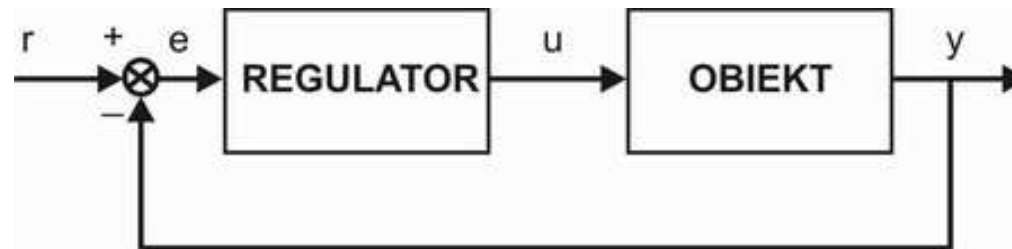
Przykład

Zastosowania

Mając dany obiekt sterowania, na podstawie r chcemy wyznaczyć u które pozwoli nam osiągnąć możliwie najbliższe wyjście y .



Eliminacja błędów sterowania poprzez dodanie sprzężenia zwrotnego.



Do regulatora trafia różnica wyjścia obiektu i wartości r .

Regulator PID

Agenda

Wstęp

Regulator rozmyty

Fuzyfikacja

Wnioskowanie

Defuzyfikacja

Przykład

Zastosowania

Przykładem konwencjonalnego regulatora jest trójczłonowy regulator PID, który występuje w różnych postaciach.

- ✓ regulator proporcjonalny P
- ✓ regulator proporcjonalno-całkujący PI
- ✓ regulator proporcjonalno-różniczkujący PD
- ✓ regulator proporcjonalno-całkująco-różniczkujący PID

Model regulatora PID można zapisać w następujący sposób:

$$u(t) = K \left[e(t) + \frac{1}{T} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_D \frac{de(t)}{dt} \right]$$

Regulator PID

Agenda

Wstęp

Regulator rozmyty

Fuzyfikacja

Wnioskowanie

Defuzyfikacja

Przykład

Zastosowania

Do regulatora PID należy dobrać odpowiednie parametry. Aby tego dokonać, potrzebna jest dokładna znajomość matematycznego opisu obiektu sterowanego wraz z jego stałymi czasowymi.

Czasem zbudowanie takiego opisu jest trudne lub nawet niemożliwe - wtedy korzystamy ze sterowania rozmytego.

Regulator rozmyty

Agenda

Wstęp

Regulator rozmyty

Fuzyfikacja

Wnioskowanie

Defuzyfikacja

Przykład

Zastosowania

Chcemy połączyć dwa pomysły:

- ✓ Układ regulacji
- ✓ Logikę rozmytą

Regulator rozmyty

Agenda

Wstęp

Regulator rozmyty

Fuzyfikacja

Wnioskowanie

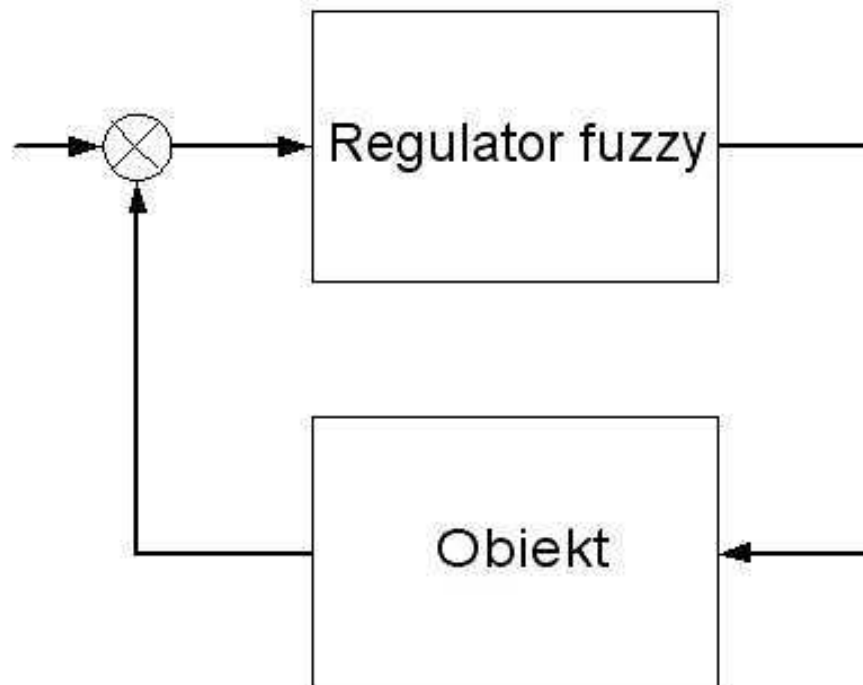
Defuzyfikacja

Przykład

Zastosowania

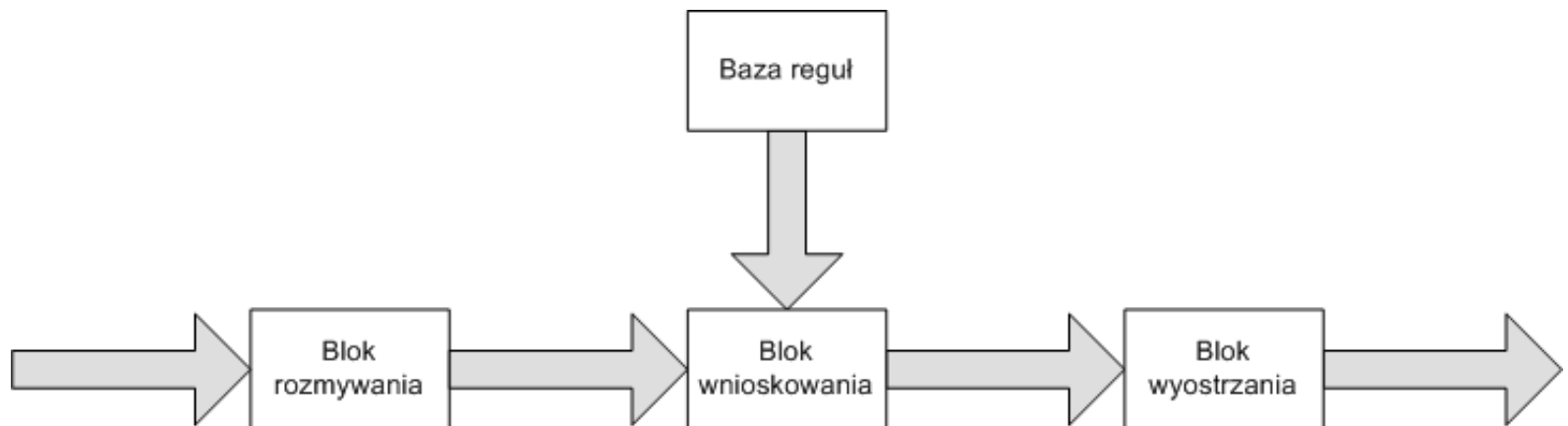
Chcemy połączyć dwa pomysły:

- ✓ Układ regulacji
- ✓ Logikę rozmytą



Budowa regulatorów rozmytych

Regulator rozmyty można podzielić na trzy części.



- Agenda
- Wstęp
- Regulator rozmyty**
- Fuzyfikacja
- Wnioskowanie
- Defuzyfikacja
- Przykład
- Zastosowania

Zastosowanie regulatorów rozmytych

Agenda

Wstęp

Regulator rozmyty

Fuzyfikacja

Wnioskowanie

Defuzyfikacja

Przykład

Zastosowania

Regulator rozmyty znajduje swoje zastosowanie w sterowaniu takimi obiektami, w przypadku których metody analityczne nie dają dobrych rezultatów, a człowiek potrafi w zadowalającym stopniu sterować obiektem.

Etap fuzyfikacji

- Agenda
- Wstęp
- Regulator rozmyty
- Fuzyfikacja**
- Wnioskowanie
- Defuzyfikacja
- Przykład
- Zastosowania

Polega na transformowaniu danych wejściowych na formę rozmytą w oparciu o funkcję przynależności μ .

Wyjście bloku zdefiniowane jest przez wartości uzyskane z tej funkcji.

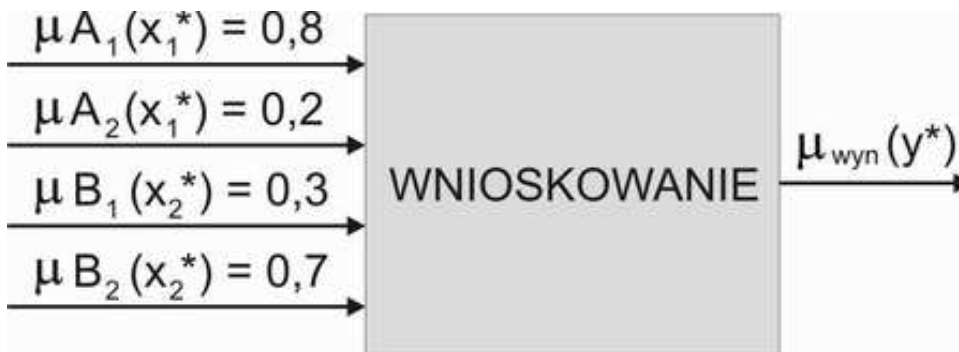
Ilość uzyskanych wartości nie przekroczy sumy ilości możliwych stanów w każdym z wejść.



Etap wnioskowania

- Agenda
- Wstęp
- Regulator rozmyty
- Fuzyfikacja
- Wnioskowanie**
- Defuzyfikacja
- Przykład
- Zastosowania

Na tym etapie, korzystając z bazy reguł, wyznaczamy (jeszcze w formie rozmytej) sterowanie, które zostanie przekazane do obiektu. Najpierw wyznaczamy wartości wynikające z reguł, a następnie dokonujemy ich unifikacji.



Etap wnioskowania: Baza reguł rozmytych

- Agenda
- Wstęp
- Regulator rozmyty
- Fuzyfikacja
- Wnioskowanie**
- Defuzyfikacja
- Przykład
- Zastosowania

Baza reguł rozmytych stanowi podstawę etapu wnioskowania i całego sterownika. Jest zbudowana z instrukcji warunkowych, które powstają na podstawie realnej wiedzy eksperta.

- ✓ IF $(x_1 = A_1)$ THEN $(y = C_1)$
- ✓ IF $(x_1 = A_1)$ AND $(x_2 = B_1)$ THEN $(y = C_1)$
- ✓ IF $(x_1 = A_1)$ OR $(x_2 = B_1)$ THEN $(y = C_1)$

gdzie A_i są zmiennymi pierwszej zmiennej wejściowej, B_j są zmiennymi drugiej zmiennej wejściowej, a C_k są zmiennymi danej wyjściowej.

Etap defuzyfikacji

Zadanie wyostrzenia: przetworzenie wartości rozmytej na konkretną wartość liczbową, przekazywaną obiektowi na wejście. Istnieje kilka różnych metod defuzyfikacji.



- Agenda
- Wstęp
- Regulator rozmyty
- Fuzyfikacja
- Wnioskowanie
- Defuzyfikacja**
- Przykład
- Zastosowania

Metoda maksimum

- Agenda
- Wstęp
- Regulator rozmyty
- Fuzyfikacja
- Wnioskowanie
- Defuzyfikacja**
- Przykład
- Zastosowania

Metoda maksimum stanowi jedną z najprostszych metod służących do defuzyfikacji.

Polega na wyborze (zależnie od wersji) pierwszej, ostatniej lub środkowej zmiennej najbardziej zaktywowanego zbioru rozmytego. Jest stosowana w tanich i wolnych mikroprocesorach.

Metoda środka ciężkości

- Agenda
- Wstęp
- Regulator rozmyty
- Fuzyfikacja
- Wnioskowanie
- Defuzyfikacja**
- Przykład
- Zastosowania

To skomplikowana metoda, w której wynik wyznacza się za pomocą funkcji

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

Uwzględnia ona wszystkie aktywowane zbiory (sterowanie obiektu jest bardziej płynne), jednak jest rzadziej stosowana, gdyż wymaga większej mocy obliczeniowej.

Metoda wysokości

- Agenda
- Wstęp
- Regulator rozmyty
- Fuzyfikacja
- Wnioskowanie
- Defuzyfikacja**
- Przykład
- Zastosowania

Uwzględnia wszelkie aktywne przesłanki.

Jest zdecydowanie prostsza w obliczaniu od metody środka ciężkości (suma zamiast całki), jednocześnie zapewniając płynne sterowanie obiektem.

$$y = \frac{\sum_i (\mu_i \times y_i)}{\sum_i \mu_i} \quad (1)$$

gdzie i to ilość wyjściowych zbiorów rozmytych, μ_i to wyznaczony stopień aktywacji, a y_i to reprezentatywne wartości wyniku dla każdego z przedziałów.

Przykład: Budowa systemu opartego o rozmyty sterownik

- Agenda
- Wstęp
- Regulator rozmyty
- Fuzyfikacja
- Wnioskowanie
- Defuzyfikacja
- Przykład**
- Zastosowania

Zbudujemy model rozmyty, z dwoma wejściami oraz jednym wyjściem. Naszym zadaniem będzie:

- ✓ budowa funkcji przynależności dla zmiennych wejściowych i wyjściowych;
- ✓ budowa reguł - z wykorzystaniem mechanizmów wnioskowania;
- ✓ zdefiniowanie tablicy współczynników.

Przykład: zdefiniowanie problemu

- Agenda
- Wstęp
- Regulator rozmyty
- Fuzyfikacja
- Wnioskowanie
- Defuzyfikacja
- Przykład**
- Zastosowania

Zajmiemy się tematem podatków.

Wejście sterownika:

- ✓ kwota przychodu, reprezentowana przez 2 zbiory rozmyte (S , L);
- ✓ kwota inwestycji, także reprezentowana przez 2 zbiory rozmyte (S , L).

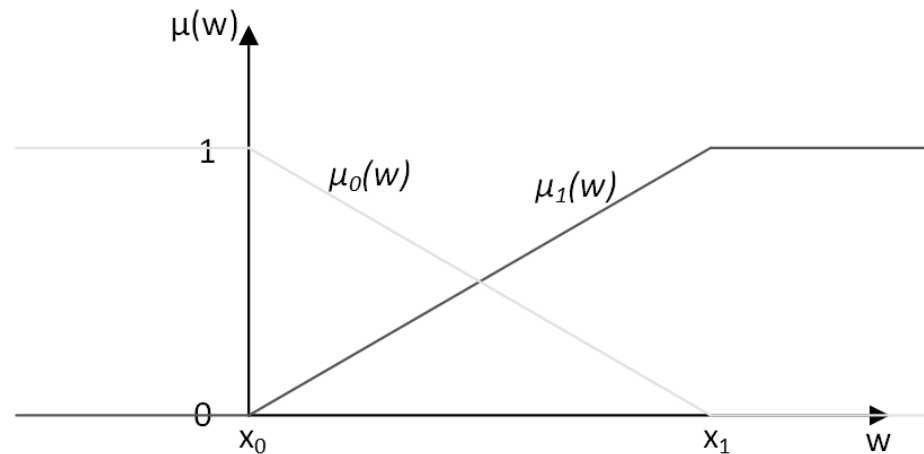
Wyjście sterownika:

- ✓ wielkość podatku do zapłaty, reprezentowana przez 3 zbiory rozmyte (S , M , L).

Przykład: określenie funkcji przynależności

- Agenda
- Wstęp
- Regulator rozmyty
- Fuzyfikacja
- Wnioskowanie
- Defuzyfikacja
- Przykład**
- Zastosowania

Dla tego zadania wybieramy proste funkcje przynależności typu L oraz Γ dla odpowiednich zbiorów.



Do wyostrzania będziemy wykorzystywali metodę wysokości.

Przykład: Określenie reguł rozmytych oraz tablicy współczynników

- Agenda
- Wstęp
- Regulator rozmyty
- Fuzyfikacja
- Wnioskowanie
- Defuzyfikacja
- Przykład**
- Zastosowania

- ✓ IF Przychód = S AND Inwestycja = S THEN Podatek = S
- ✓ IF Przychód = S AND Inwestycja = L THEN Podatek = S
- ✓ IF Przychód = L AND Inwestycja = S THEN Podatek = L
- ✓ IF Przychód = L AND Inwestycja = L THEN Podatek = M

Nazwa	Small	Medium	Large
Przychód	0		100
Inwestycja	0		100
Podatek	33	66	100

Przykład: Dane wejściowe

- Agenda
- Wstęp
- Regulator rozmyty
- Fuzyfikacja
- Wnioskowanie
- Defuzyfikacja
- Przykład**
- Zastosowania

Nazwa	Wartość
Przychód	78
Inwestycja	36

Przykład: Etap pierwszy: fuzyfikacja

Wartości wejściowe są poddawane fuzyfikacji. W tym celu, system porównuje je do założonych wartości krańców przedziałów i liczy stopnie przynależności.

Nazwa	Small	Large
Przychód	0,22	0,78
Inwestycja	0,64	0,36

- Agenda
- Wstęp
- Regulator rozmyty
- Fuzyfikacja
- Wnioskowanie
- Defuzyfikacja
- Przykład**
- Zastosowania

Przykład: Etap drugi: wnioskowanie

Następnie wykorzystywane są reguły rozmyte (pochodzące z bazy wiedzy) do określenia wartości maksymalnych iloczynów.

- ✓ IF Przychód 0,22 AND Inwestycja 0,64 THEN Podatek S
 $0,22 \times 0,64 = 0,1408$
- ✓ IF Przychód 0,22 AND Inwestycja 0,36 THEN Podatek S
 $0,22 \times 0,36 = 0,0792$
- ✓ IF Przychód 0,78 AND Inwestycja 0,64 THEN Podatek L
 $0,78 \times 0,64 = 0,2808$
- ✓ IF Przychód 0,78 AND Inwestycja 0,36 THEN Podatek M
 $0,78 \times 0,36 = 0,4992$

Przykład: Etap drugi: wnioskowanie

- Agenda
- Wstęp
- Regulator rozmyty
- Fuzyfikacja
- Wnioskowanie
- Defuzyfikacja
- Przykład**
- Zastosowania

Wartości maksymalne dla grup to odpowiednio:

Small	Medium	Large
0,1408	0,2808	0,4992

Przykład: Etap trzeci: defuzyfikacja

Ostatni krok to przeprowadzenie defuzyfikacji. Skorzystamy tutaj z metody wysokości. W naszym przypadku mamy:

$$\begin{aligned} y &= \frac{\sum_i (\mu_i \times y_i)}{\sum_i \mu_i} = \\ &= \frac{0,1408 * 33 + 0,2808 * 66 + 0,4992 * 100}{0,1408 + 0,2808 + 0,4992} = \\ &= \frac{4,6464 + 18,5328 + 49,92}{0,1408 + 0,2808 + 0,4992} = \\ &= \frac{73,0992}{0,9208} = 79,39 \end{aligned} \quad (2)$$

- Agenda
- Wstęp
- Regulator rozmyty
- Fuzyfikacja
- Wnioskowanie
- Defuzyfikacja
- Przykład**
- Zastosowania

Przykład: Rozmyty regulator P

- Agenda
- Wstęp
- Regulator rozmyty
- Fuzyfikacja
- Wnioskowanie
- Defuzyfikacja
- Przykład**
- Zastosowania

Regulator PID oparty o sterowanie rozmyte można także zasymulować korzystając z logiki rozmytej. Dla przykładu rozmytego regulatora P, reguły wnioskowania będą następujące:

- ✓ Jeżeli błąd e jest negatywnie duży, to sterowanie u negatywnie duże;
- ✓ Jeżeli błąd e negatywnie mały, to sterowanie u negatywnie małe;
- ✓ Jeżeli błąd $e = 0$, to sterowanie $u = 0$;
- ✓ Jeżeli błąd e pozytywnie mały, to sterowanie u pozytywnie małe;
- ✓ Jeżeli błąd e pozytywnie duży, to sterowanie u pozytywnie duże.

Przykład: Rozmyty regulator PD

- Agenda
- Wstęp
- Regulator rozmyty
- Fuzyfikacja
- Wnioskowanie
- Defuzyfikacja
- Przykład**
- Zastosowania

- ✓ IF $e(t) = N$ AND $\dot{e}(t) = N$ THEN $u(t) = N$;
- ✓ IF $e(t) = N$ AND $\dot{e}(t) = Z$ THEN $u(t) = N$;
- ✓ IF $e(t) = Z$ AND $\dot{e}(t) = N$ THEN $u(t) = N$;
- ✓ IF $e(t) = N$ AND $\dot{e}(t) = P$ THEN $u(t) = Z$;
- ✓ IF $e(t) = Z$ AND $\dot{e}(t) = Z$ THEN $u(t) = Z$;
- ✓ IF $e(t) = P$ AND $\dot{e}(t) = N$ THEN $u(t) = Z$;
- ✓ IF $e(t) = Z$ AND $\dot{e}(t) = P$ THEN $u(t) = P$;
- ✓ IF $e(t) = P$ AND $\dot{e}(t) = Z$ THEN $u(t) = P$;
- ✓ IF $e(t) = P$ AND $\dot{e}(t) = P$ THEN $u(t) = P$.

Przykład: Rozmyty regulator PD

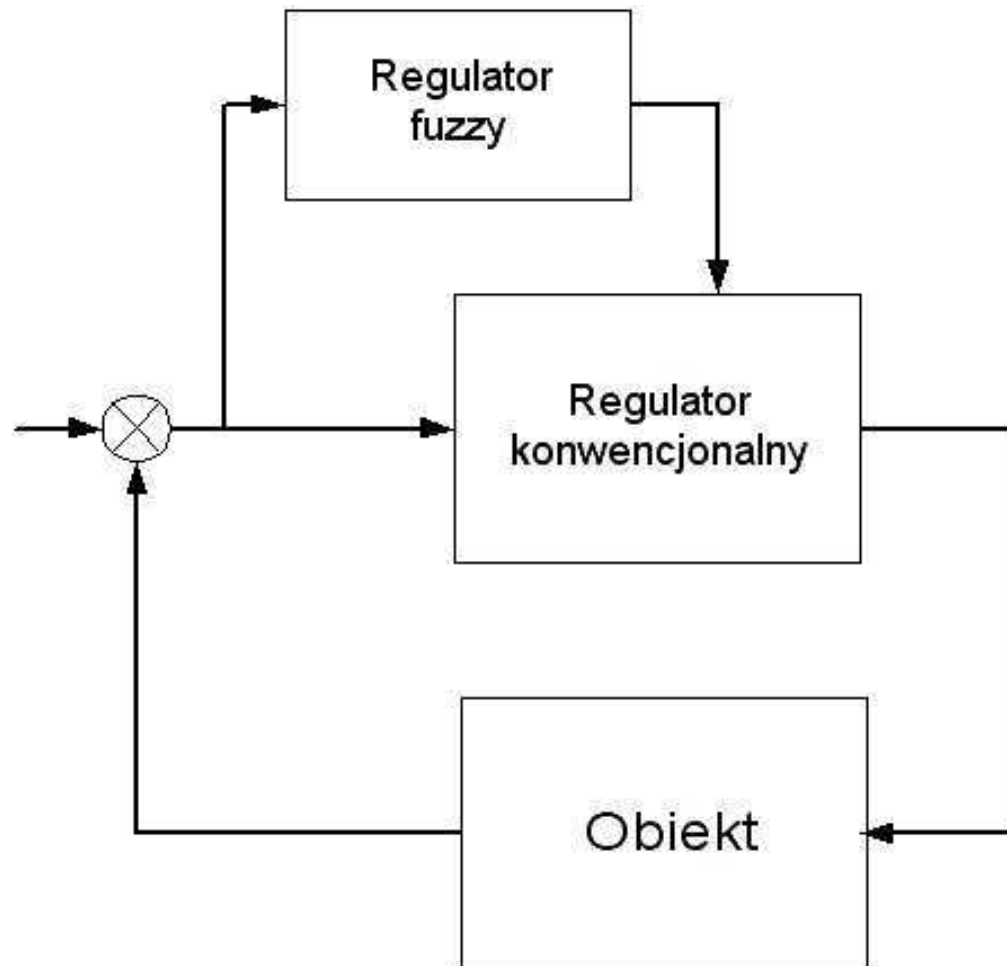
Lub przedstawiając w formie tabelki:

sterowanie $u(t)$		$\dot{e}(t)$		
		N	Z	P
$e(t)$	N	N	N	Z
	Z	N	Z	P
	P	Z	P	P

- Agenda
- Wstęp
- Regulator rozmyty
- Fuzyfikacja
- Wnioskowanie
- Defuzyfikacja
- Przykład**
- Zastosowania

Inna metoda wykorzystania regulatora rozmytego

Regulator rozmyty może być wykorzystywany także do sterowania regulatorem konwencjonalnym.



- Agenda
- Wstęp
- Regulator rozmyty
- Fuzyfikacja
- Wnioskowanie
- Defuzyfikacja
- Przykład
- Zastosowania

Zastosowania

- ✓ Aplikacje do konstrukcji regulatorów;
- ✓ Taksja nieruchomości;
- ✓ Sterowanie dojaniem krów.

Agenda
Wstęp
Regulator rozmyty
Fuzyfikacja
Wnioskowanie
Defuzyfikacja
Przykład
Zastosowania

Bibliografia

Agenda
Wstęp
Regulator rozmyty
Fuzyfikacja
Wnioskowanie
Defuzyfikacja
Przykład
Zastosowania

- ✓ W. Adamski, Logika rozmyta - pomysł na sterowanie, Automatyka B2B, 09 maj 2007
- ✓ W. Nalepa, Rozmyty system ekspertowy wspomagający taksację nieruchomości, Praca magisterska, Politechnika Wrocławska, Wrocław 2006
- ✓ W. Grega, Algorytmy Sterowania Cyfrowego. Wykłady, Katedra Automatyki AGH 2001/2002
- ✓ H. Juszka, M. Tomasik Logika rozmyta w sterowaniu podcisnieniem w automatyzowanym doju krów, Acta Sci. Pol., Technica Agraria 4 2005, str. 67-74
- ✓ A. Piegat, Modelowanie i sterowanie rozmyte, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 1999