

PODSTAWY SZTUCZNEJ INTELIGENCJI

Dr hab. inż. Jacek Kucharski, prof. nadzw.

Dr inż. Piotr Urbanek

Dr inż. Tomasz Jaworski

SZTUCZNA INTELIGENCJA - skojarzenia

negatywne

- tajemnicze, nierealistyczne, *science fiction*
- trudne, domena naukowców
- ...

pozytywne

- nowoczesne, awangarda informatyki
- ...

SZTUCZNA INTELIGENCJA – dlaczego warto?

- rozwija wyobraźnię
- coraz liczniejsze zastosowania
- obecność w standardach kształcenia MNiSW dla kierunku *informatyka*

Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716)

Ars Combinatoria : idea projektu maszyny, która rozważając podane zdania w sensie tezy, sprawdzałyby ich poprawność. Podstawą miał być *specyficzny język*, pozwalający na usystematyzowanie wiedzy i wykonywanie operacji.

(maszyna myśląca w sensie Leibniza)

INTELIGENCJA (*inteligentia* – łac. rozumowanie, pojmowanie, rozum, pojętność) jedno z najbardziej wieloznacznych pojęć psychologii odnoszących się do sprawności w zakresie czynności poznawczych;
ujmowana jako cecha ludzkiego umysłu to **zdolność myślenia, rozwiązywania problemów** oraz angażowania adekwatnych do okoliczności procesów poznawczych, od których zależy **zdolność przystosowania się do nowych sytuacji**.

MYŚLENIE – świadomy proces psychiczny człowieka prowadzący do pośredniego i uogólnionego poznania oraz zrozumienia otaczającej go rzeczywistości; aktywna czynność umysłowa, dzięki której **odzwierciedlane są ogólne cechy różnych rzeczy, zdarzeń i zjawisk oraz stosunki między nimi**.

Nauki kognitywne: zajmują się nabywaniem i użyciem wiedzy; (psychologia, filozofia, antropologia, lingwistyka, pedagogika, nauki o mózgu, ...).

Kognitywistyka – próbuje zrozumieć naturę umysłu

DEFINICJA SZTUCZNEJ INTELIGENCJI (opisowa)

Artificial Intelligence – AI (1956r.)

Sztuczna inteligencja jest dziedziną, która stawia sobie za cel badanie maszyn, które potrafiłyby rozwiązywać zadania, przy rozwiązywaniu których człowiek korzysta ze swojej inteligencji. (Marvin Minsky – 1956r.)

Sztuczna inteligencja to dziedzina nauki zajmująca się rozwiązywaniem zagadnień trudno algorytmizowalnych lub niealgorytmizowalnych przy pomocy komputerów. (prof. Włodzisław Duch)

Sztuczna inteligencja zajmuje się algorytmizacją procesów rozumowania. (prof. Zdzisław Bubnicki)

DEFINICJA SZTUCZNEJ INTELIGENCJI (cele)

- **Badanie reguł** rządzących tzw. inteligentnymi zachowaniami człowieka;
- **Tworzenie modeli** formalnych tych zachowań;
- **Tworzenie programów komputerowych** symulujących te zachowania.

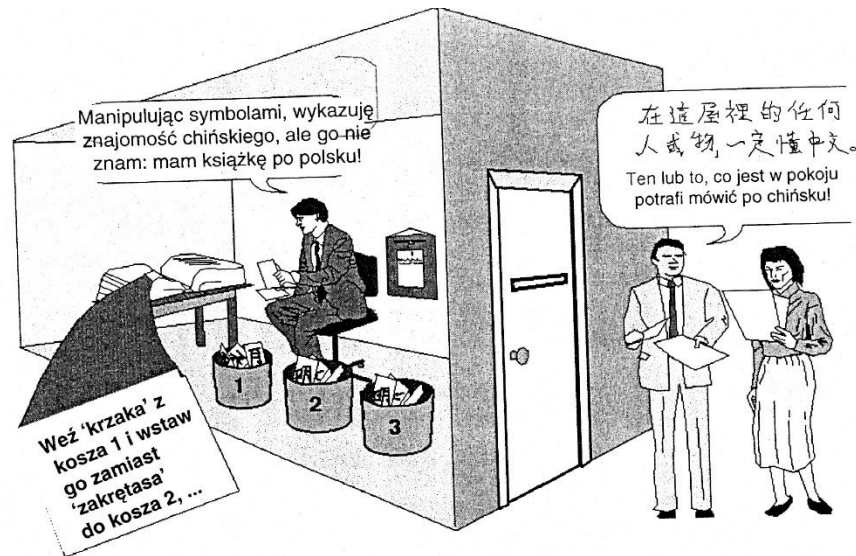
MASZYNA TURINGA

TEST TURINGA



Alan Turing (1912-1954)

KONTROWERSJE WOKÓŁ TESTU TURINGA



Osoba: *Moja żona mówi mi, że często jestem przygnębiony.*

ELIZA: *Przykro mi słyszeć, że jesteś przygnębiony.*

Osoba: *Prawdę mówiąc jestem całkiem nieszczęśliwy.*

ELIZA: *Czy myślisz, że po przyjściu tu przestaniesz być nieszczęśliwy?*

Osoba: *Być może rozmawiając z tobą odkryję, dlaczego nienawidzę swojego brata.*

ELIZA: *Opowiedz mi coś o swojej rodzinie.*

KONTROWERSJE WOKÓŁ AI

- sprzeciw teologiczny,
- argument świadomości,
- sprzeciw matematyczny,
- ciągłość systemu nerwowego,
- lęk przed „buntem robotów”,
- ...

WERSJE SZTUCZNEJ INTELIGENCJI

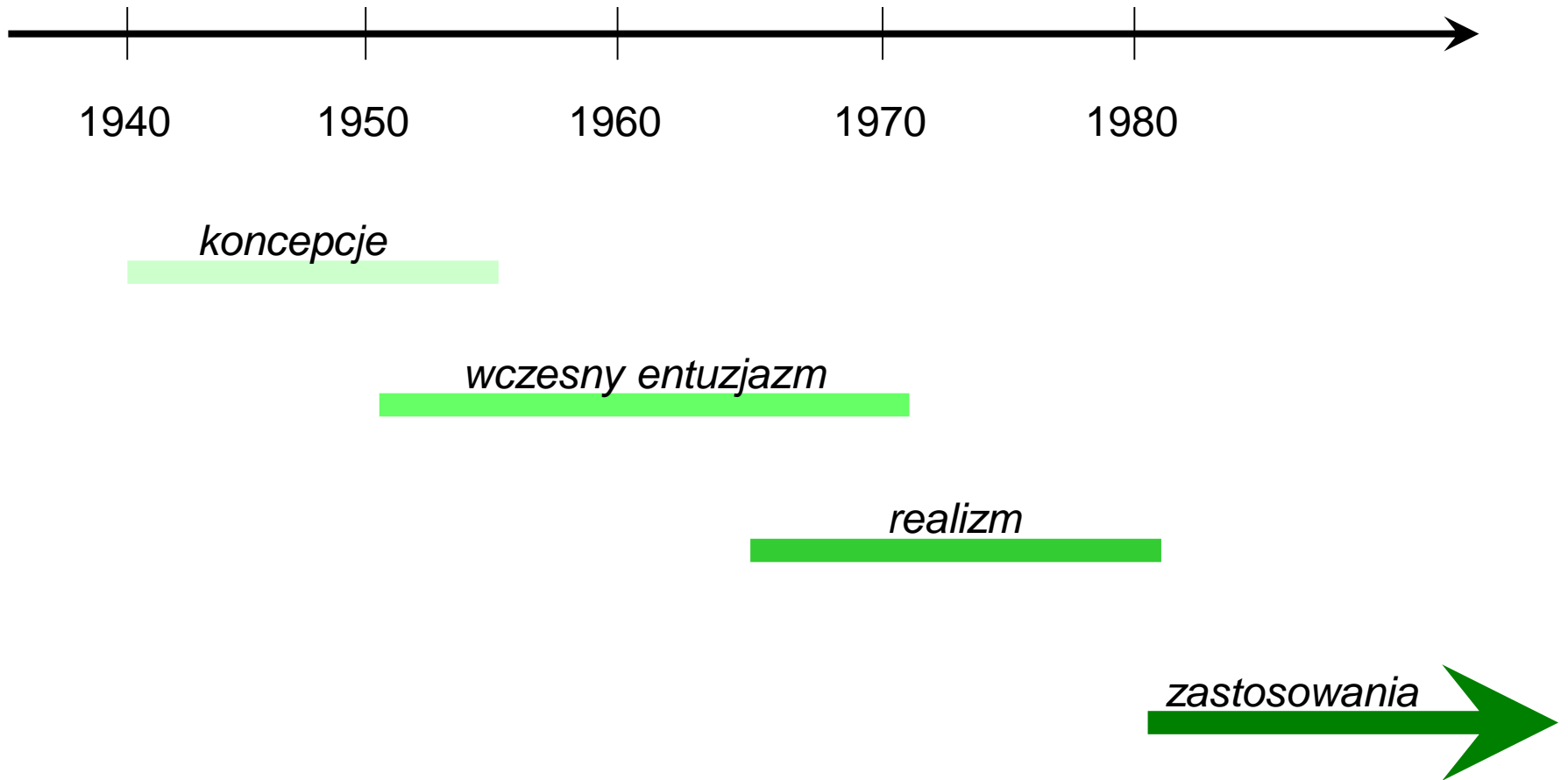
SILNA AI – komputer staje się **równoważny** mózgowi, posiada świadomość
(maszyna **myśli** racjonalnie - jak człowiek)

SŁABA AI – komputer **symuluje** inteligentne zachowania, **sprawia wrażenie** inteligentnego
(maszyna **zachowuje się** racjonalnie - jak człowiek)

WYBRANE OBSZARY ZASTOSOWAŃ I ZAINTERESOWAŃ AI

- rozwiązywanie trudnych problemów,
- automatyczne rozumowanie logiczne,
- język naturalny,
- uczenie się,
- ekspertyza,
- rozpoznawanie obrazów,
- automatyka i robotyka,
-,

ETAPY HISTORII AI



Komputery zerowej generacji: (1930-40)

przełączniki, programowanie przez bezpośrednią ingerencję w obwody;

Komputery pierwszej generacji: (1940-1950)

lampy elektronowe, karty perforowane;

Komputery drugiej generacji: (1959-1964)

tranzystory, pamięci ferrytowe,

Komputery trzeciej generacji: (1965-1970)

proste układy scalone, minikomputery,

Komputery czwartej generacji: (od 1971)

układy scalone wielkiej skali integracji (LSI)

KOMPUTERY PIĄTEJ GENERACJI: ...

PRZESZUKIWANIE

Problemy trudne

- Spełnialność formuł logicznych
- Problem komiwojażera
- Całkowitoliczbowe programowanie liniowe
- Programowanie nieliniowe
- ...

Zadanie przeszukiwania

Istnieje algorytm sprawdzający poprawność potencjalnego rozwiązania problemu, działający w czasie wielomianowym

Opis w przestrzeni stanów

$S = \{s_i; i = 1, 2, 3, \dots\}$ – przestrzeń stanów

$s_0 \in S$ - stan początkowy

$S^* \subset S$ - zbiór stanów końcowych

$O : S \rightarrow S$ - zbiór operatorów $s_{i+1} = O(s_i)$

$f : S \rightarrow \mathfrak{R}$ - funkcja oceny

$i=0$

dopóki *warunek stopu*

{

$i \leftarrow i+1$

generowanie pojedynczego rozwiązania s_i

ocena rozwiązania s_i

jeżeli s_i jest lepsze od s_{naj} to $s_{naj} \leftarrow s_i$

}

dopóki *warunek stopu*

{

generowanie pewnej liczby stanów - kandydatów

ocena kandydatów

uaktualnienie informacji o dotychczasowym przebiegu
procesu szukania, w tym zbioru rozwiązań bieżących

}

dopóki *warunek stopu*

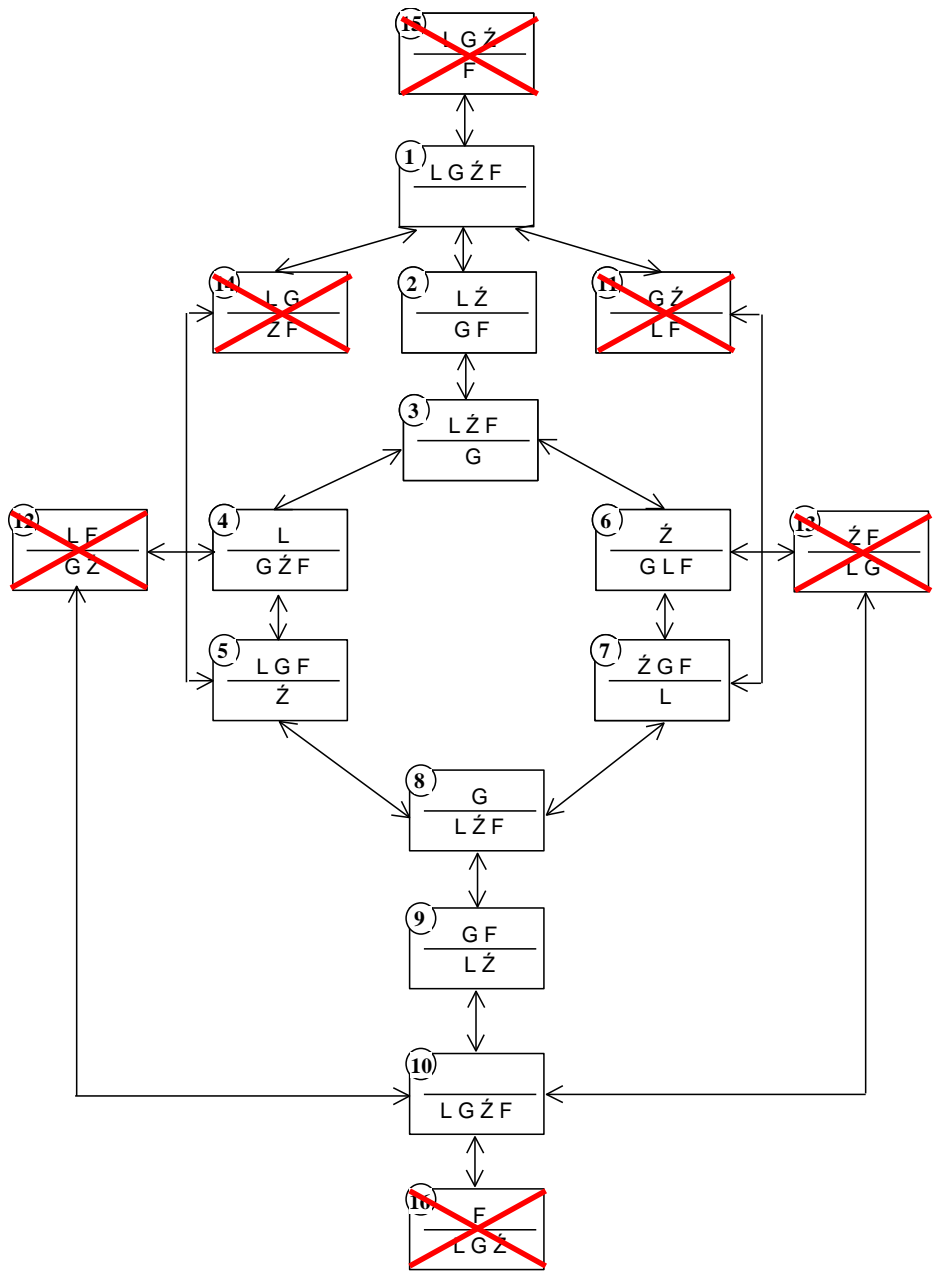
{

generowanie sąsiadów (potomków) stanu bieżącego

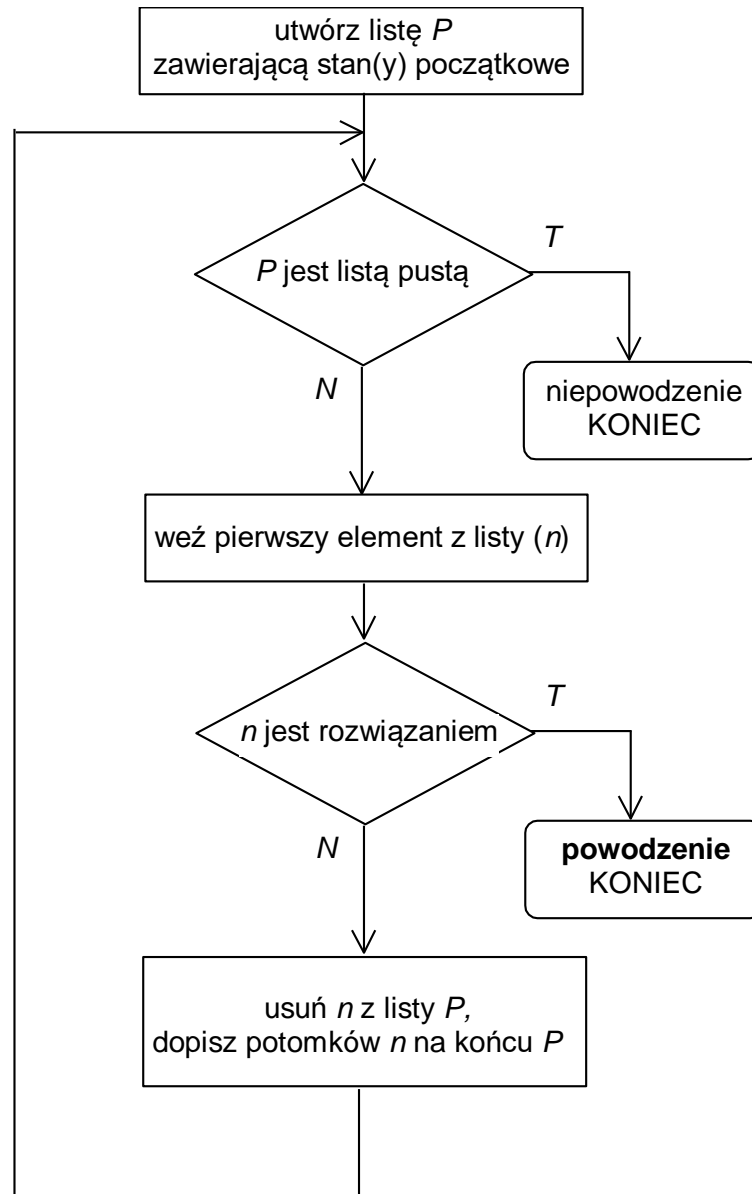
ocena kandydatów

dopisanie kandydatów do listy stanów do odwiedzenia,
oraz wybór rozwiązania bieżącego

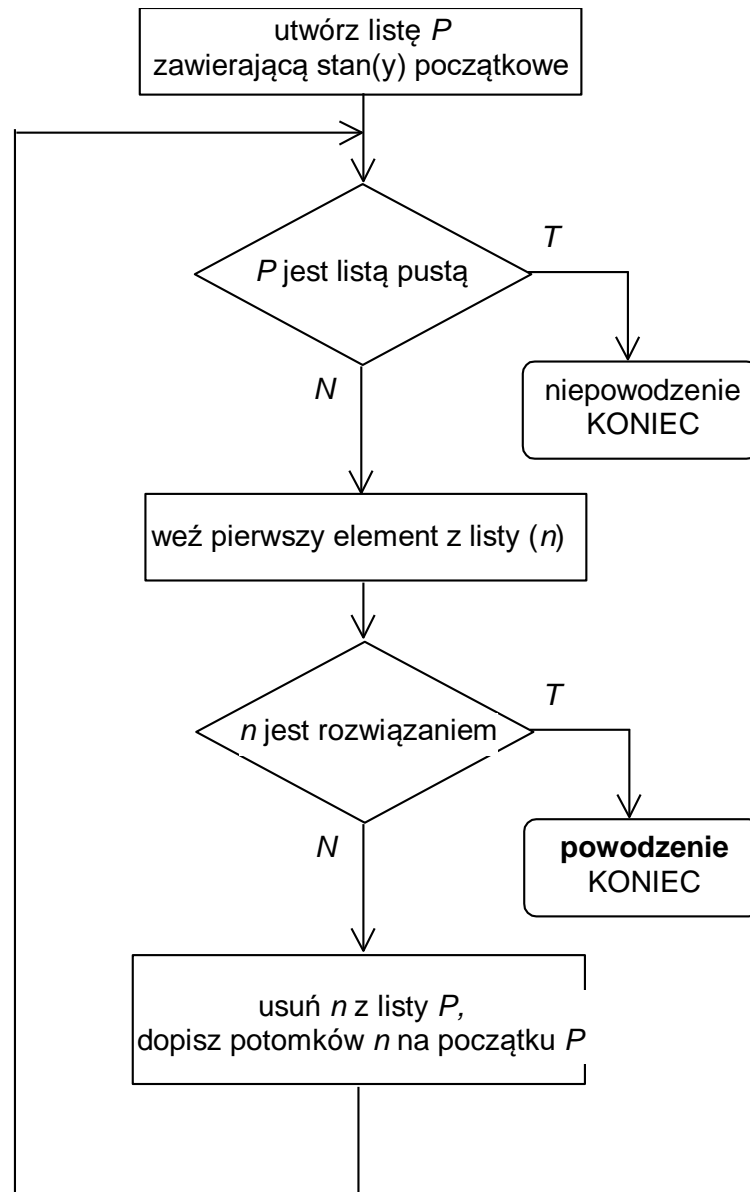
}

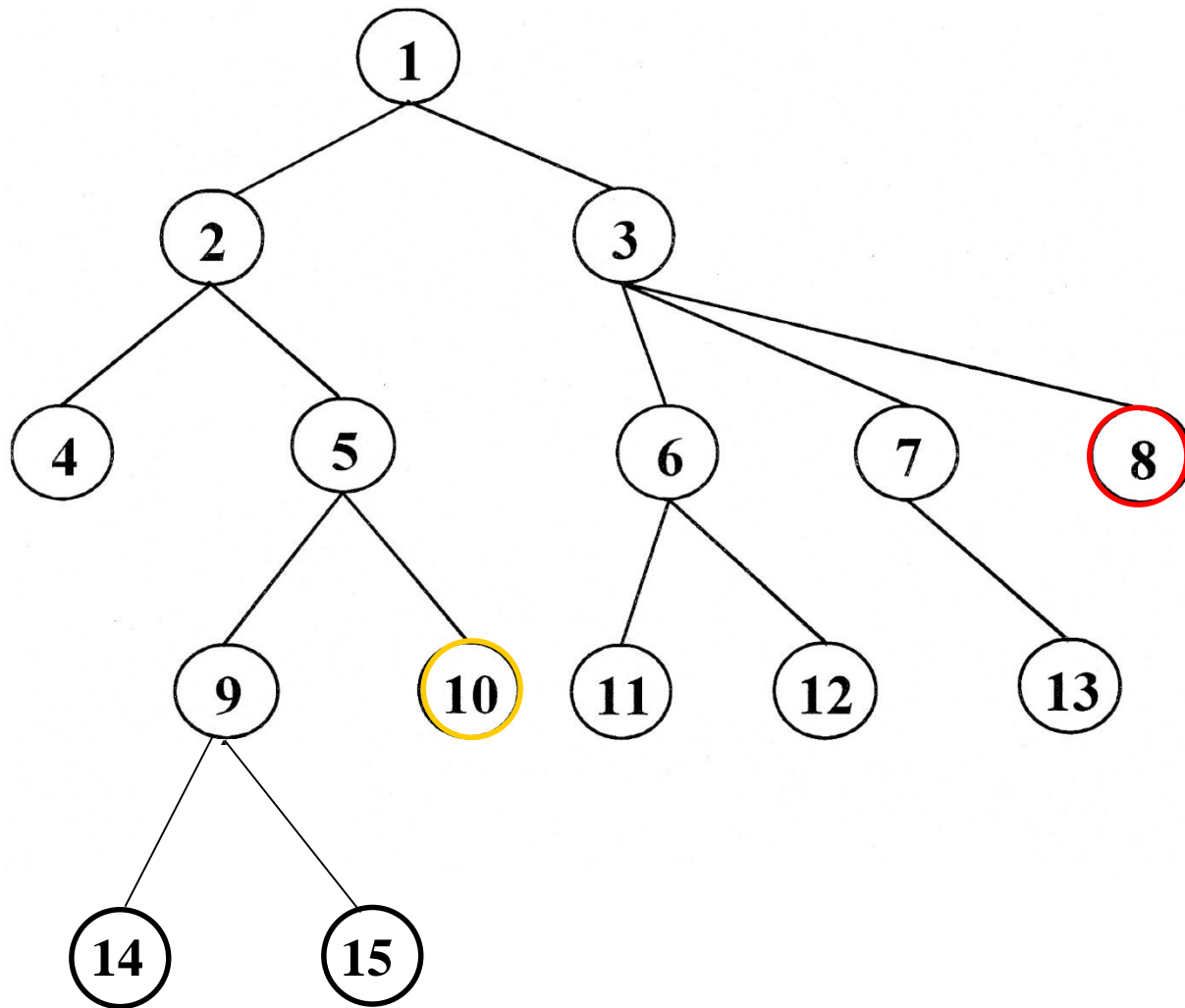


ALGORYTM SZUKANIA WSZERZ



ALGORYTM SZUKANIA W GŁĄB





Ograniczenie drzewa przeszukiwania

- Backtracking
- Branch and bound

dopóki *warunek stopu*

{

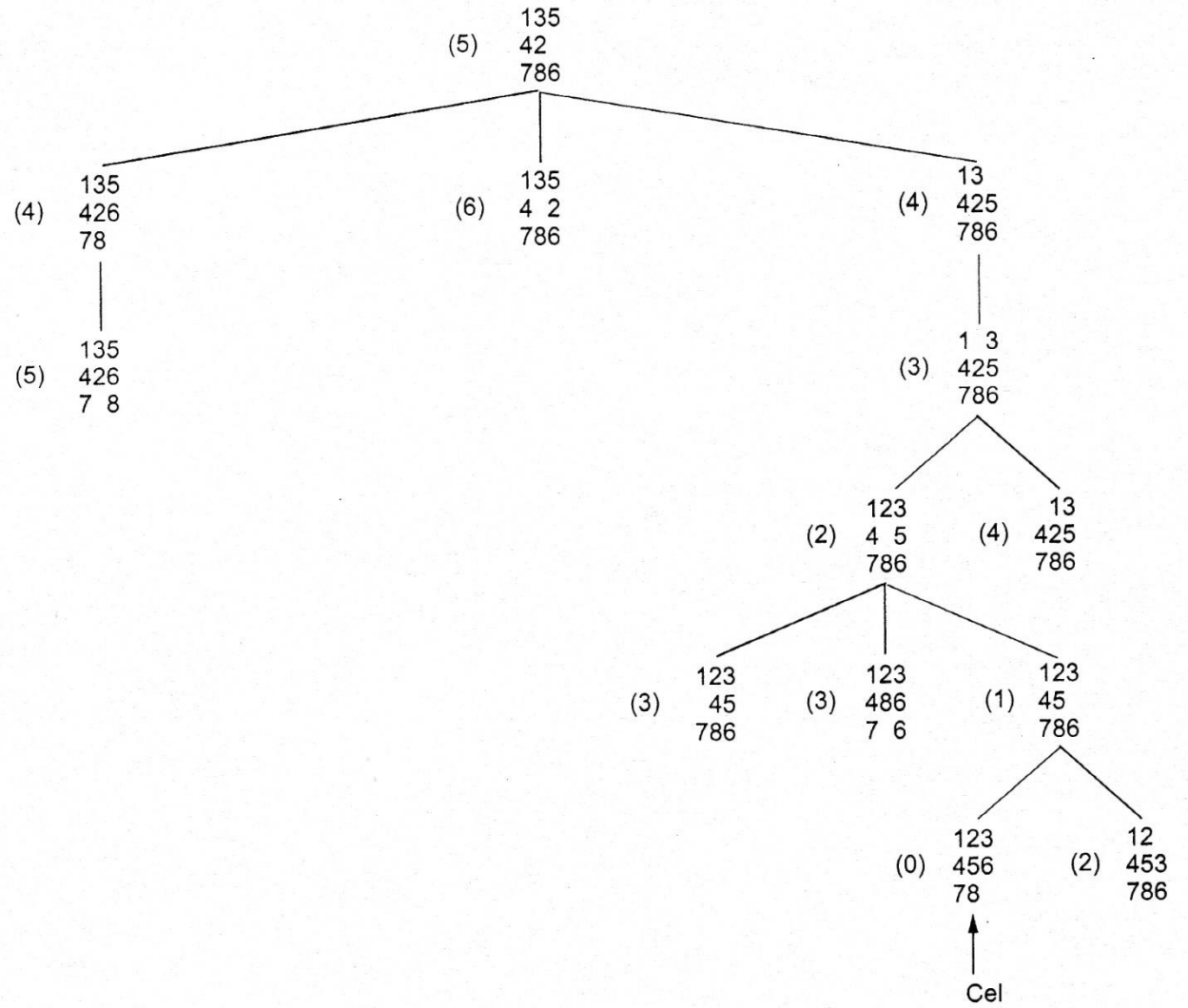
generowanie sąsiadów (potomków) stanu bieżącego

ocena kandydatów – **funkcja oceny**

dopisanie kandydatów do **priorytetowej** listy stanów do odwiedzenia, oraz wybór **najlepszego** rozwiązania bieżącego

}

1	3	5
4	2	
7	8	6



REPREZENTACJA WIEDZY

LOGICZNA REPREZENTACJA WIEDZY

(klasyczny rachunek zdań)

Spójnik	Oznaczenie	Podstawowy odpowiednik	Inne odpowiedniki
Negacja	\sim lub \neg	nieprawda, że ...	nie jest tak że; nie;
Koniunkcja	\wedge	... i ...	oraz; a także; lecz; a; ale
Alternatywa	\vee	... lub ...	albo ... albo; bądź
Implikacja	\rightarrow lub \Rightarrow	jeśli ... to ...	Gdyby...to... ; o ile...to...
Równoważność	\leftrightarrow lub \Leftrightarrow	... wtedy i tylko wtedy ...	zawsze i tylko wtedy

LOGICZNA REPREZENTACJA WIEDZY

(klasyczny rachunek zdań)

Jeśli przeczytam podręcznik *lub* będę chodził na wykłady *to*
bez trudu zdam egzamin

Nie jest prawdą że *jeśli* skończę studia *i* prestiżowy
kurs językowy *to* znajdę dobrze płatną pracę.

LOGICZNA REPREZENTACJA WIEDZY

(klasyczny rachunek zdań)

p	q	~p	p∧q	p∨q	p→q	p↔q
0	0	1	0	0	1	1
0	1	1	0	1	1	0
1	0	0	0	1	0	0
1	1	0	1	1	1	1

WNIOSKOWANIE DEDUKCYJNE

Reguła odrywania (*modus ponens*)

$$\frac{\alpha \quad \alpha \rightarrow \beta}{\beta}$$

Zasada rezolucji

$$\frac{\alpha \vee \beta \quad \gamma \vee \neg \beta}{\alpha \vee \gamma}$$

WNIOSKOWANIE DEDUKCYJNE (modus ponens)

$$A \rightarrow D$$

$$F \wedge H \rightarrow G$$

$$B \rightarrow L$$

$$D \wedge J \rightarrow M$$

$$C \wedge D \rightarrow F$$

$$A \wedge E \rightarrow J$$

Znane fakty: A, C, E

WNIOSKOWANIE DEDUKCYJNE (rezolucja)

$$P \vee Q$$

$$\neg R$$

$$R \vee \neg Q$$

Cel: P

RACHUNEK PREDYKATÓW

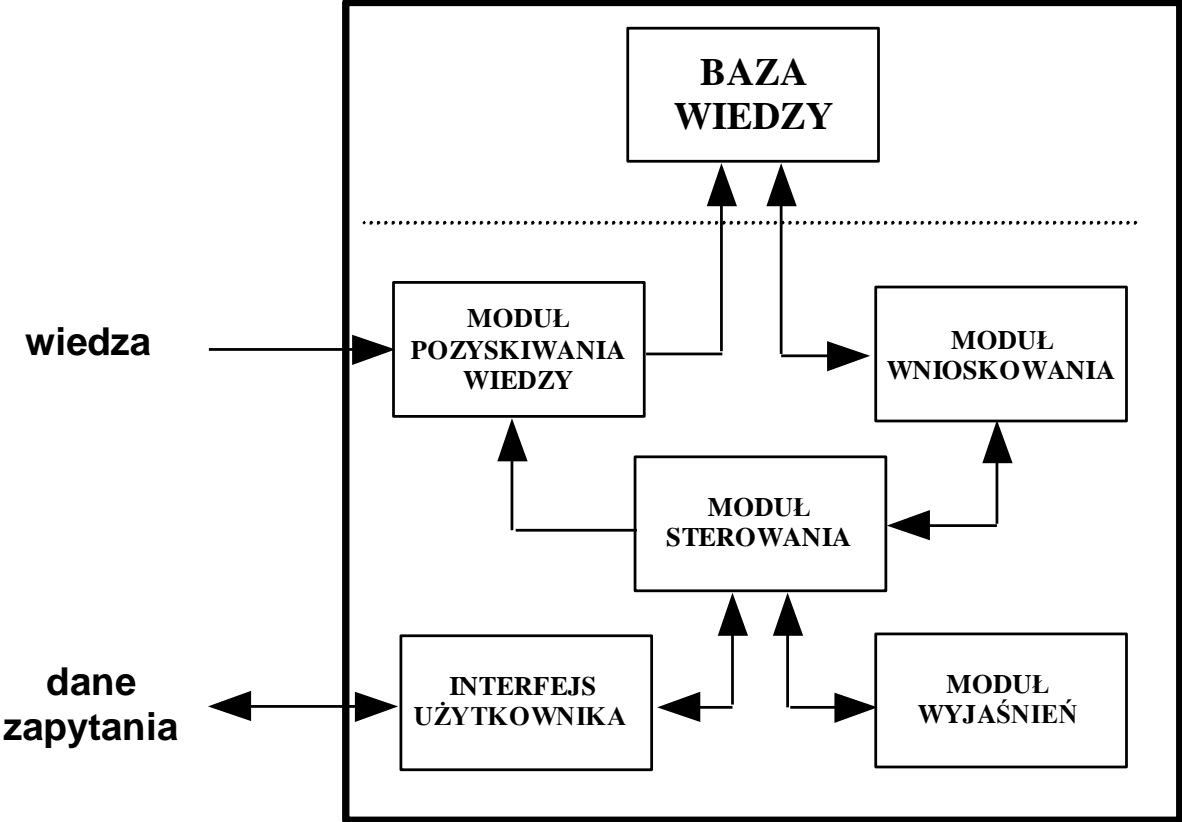
Nazwa_predykatu(argument1, argument2 ...)

- **kwantyfikatory**
- **postać klauzulowa (normalna)**
 - 1: Usunięcie implikacji i równoważności
 - 2: Przesunięcie negacji do wewnątrz
 - 3: Wyeliminowanie kwantyfikatorów istnienia
 - 4: Przesunięcie kwantyfikatorów ogólnych na zewnątrz
 - 5: Wyprowadzenie \wedge poza \vee
 - 6: Przekształcenie na klauzule

PROgramming in LOGic

- deklaratywny język programowania
- program składa się z termów
- program jest zapisem klauzul
- operatory
 - podstawienia (is)
 - unifikacji (=)
 - arytmetyczne (+, -, *, / , //, mod)
 - porównania liczb (:=, =\=, >, <, =<, >=)
 - porównania termów (==, \==)
- wnioskowanie na drodze rezolucji i unifikacji

SYSTEM EKSPERTOWY



„Niedoskonałość” wiedzy

- niepewność
prawdziwość stwierdzeń nie jest pewna
- nieprecyzyjność
przynależność do relacji nie jest dokładnie znana
- ...

Zbiór klasyczny vs **zbiór rozmyty**

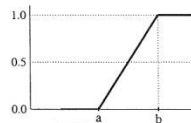
- Zbiór klasyczny (*crisp set*)

$$A_{crisp} = \{(x, I(x)) : x \in X, I(x) \in \{0,1\}\}$$

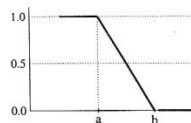
- Zbiór rozmyty (*fuzzy set*)

$$A_{fuzzy} = \{(x, \mu(x)) : x \in X, \mu(x) \in [0,1]\}$$

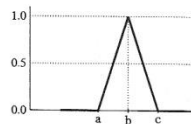
ZBIORY ROZMYTE - PRZYKŁADY



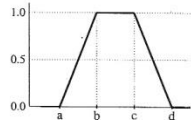
$$\Gamma_{a,b}(x) = \begin{cases} 0 & \text{dla } x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{dla } a < x \leq b \\ 1 & \text{dla } x > b \end{cases}$$



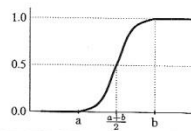
$$L_{a,b}(x) = \begin{cases} 1 & \text{dla } x \leq a \\ \frac{b-x}{b-a} & \text{dla } a < x \leq b \\ 0 & \text{dla } x > b \end{cases}$$



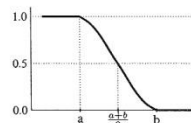
$$\Lambda_{a,b,c}(x) = \begin{cases} 0 & \text{dla } x \leq a \vee x \geq c \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{dla } a < x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & \text{dla } b < x < c \end{cases}$$



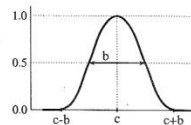
$$\Pi_{a,b,c,d}(x) = \begin{cases} 0 & \text{dla } x \leq a \vee x \geq d \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{dla } a < x \leq b \\ 1 & \text{dla } b < x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c} & \text{dla } c < x < d \end{cases}$$



$$s_{a,b}(x) = \begin{cases} 0 & \text{dla } x \leq a \\ 2 \cdot \left(\frac{x-a}{b-a}\right)^2 & \text{dla } a < x \leq \frac{a+b}{2} \\ 1 - 2 \cdot \left(\frac{x-b}{b-a}\right)^2 & \text{dla } \frac{a+b}{2} < x < b \\ 1 & \text{dla } x \geq b \end{cases}$$



$$z_{a,b}(x) = 1 - s_{a,b}(x) = \begin{cases} 1 & \text{dla } x \leq a \\ 1 - 2 \cdot \left(\frac{x-a}{b-a}\right)^2 & \text{dla } a < x \leq \frac{a+b}{2} \\ 2 \cdot \left(\frac{x-b}{b-a}\right)^2 & \text{dla } \frac{a+b}{2} < x < b \\ 0 & \text{dla } x \geq b \end{cases}$$



$$\pi_{b,c}(x) = \begin{cases} s_{c-b,c}(x) & \text{dla } x < c \\ 1 - s_{c,c+b}(x) & \text{dla } x \geq c \end{cases}$$

INTERPRETACJA FUNKCJI PRZYNALEŻNOŚCI

- stopień podobieństwa

Miara bliskości elementu x do wzorca zbioru rozmytego
(grupowanie danych)

- stopień preferencji

Miara wykonalności tego, że przyporządkujemy x do zbioru,
(elastyczne ograniczenie)

- stopień niepewności

Miara wiarygodności tego, że zmienna X przyjmuje wartość x
(stopień możliwości)

PARAMETRY ZBIORU ROZMYTEGO

- *wysokość* (ang. *height*) zbioru rozmytego

$$\text{height}(A) = \sup_{x \in X} \mu_A(x)$$

- *nośnik* (ang. *support*) zbioru rozmytego

$$\text{Supp}(A) = \{x : \mu_A(x) > 0, x \in X\}$$

- *rdzeń, jądro* (ang. *core*) zbioru rozmytego

$$\text{Core}(A) = \{x : \mu_A(x) = 1, x \in X\}$$

MODYFIKACJA ZBIORU ROZMYTEGO

- *Koncentracja* zbioru rozmytego

$$\forall_{x \in X} \text{Con}(\mu_A(x)) = \mu_A(x)^2$$

- *Dylatacja* zbioru rozmytego

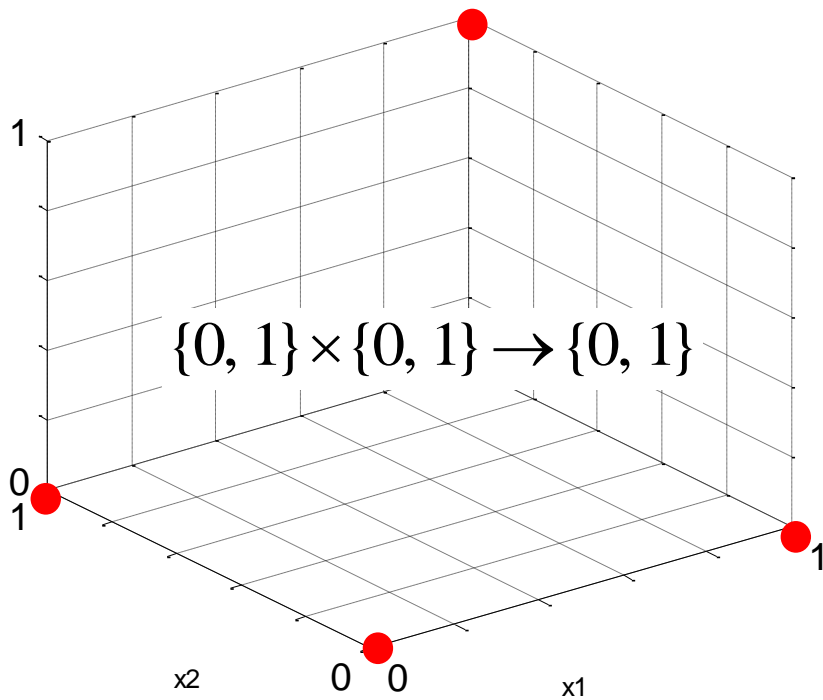
$$\forall_{x \in X} \text{Dil}(\mu_A(x)) = \sqrt{\mu_A(x)}$$

- *Intensyfikacja kontrastu* zbioru rozmytego

$$\text{Int}(\mu_A(x)) = \begin{cases} 2^{n-1}(\mu_A(x))^n & \text{dla } \mu_A(x) < 0,5 \\ 1 - 2^{n-1}(1 - \mu_A(x))^n & \text{poza} \end{cases}$$

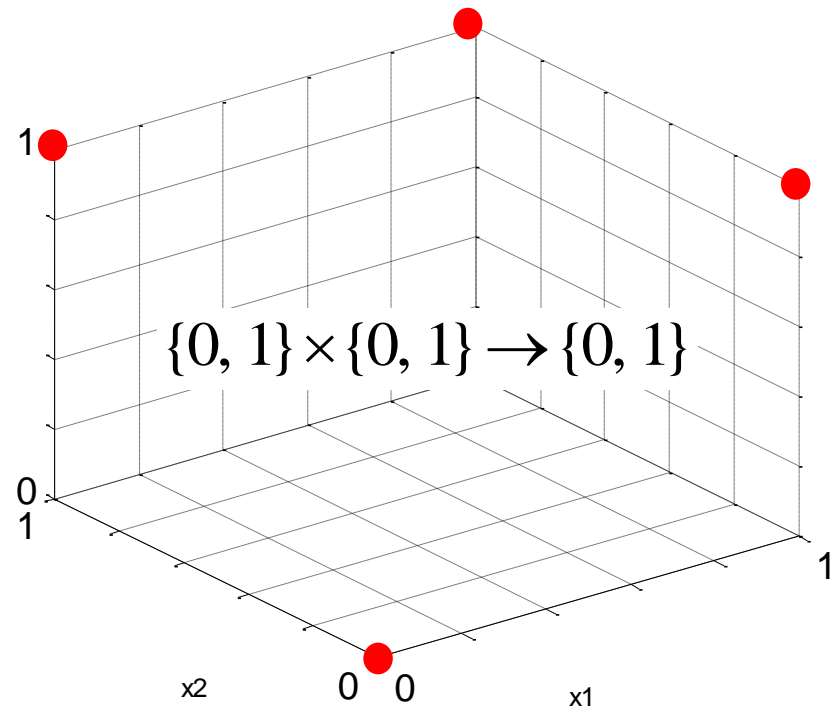
OPERACJE NA ZBIORACH ROZMYTYCH

„I”



$$[0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [0, 1]$$

„LUB”

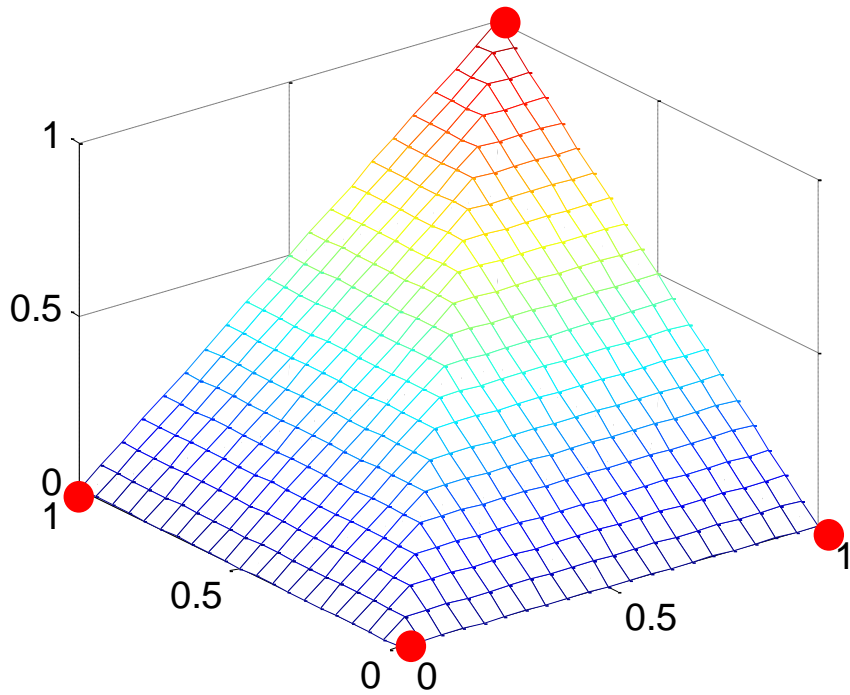


$$[0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [0, 1]$$

OPERACJE NA ZBIORACH ROZMYTYCH

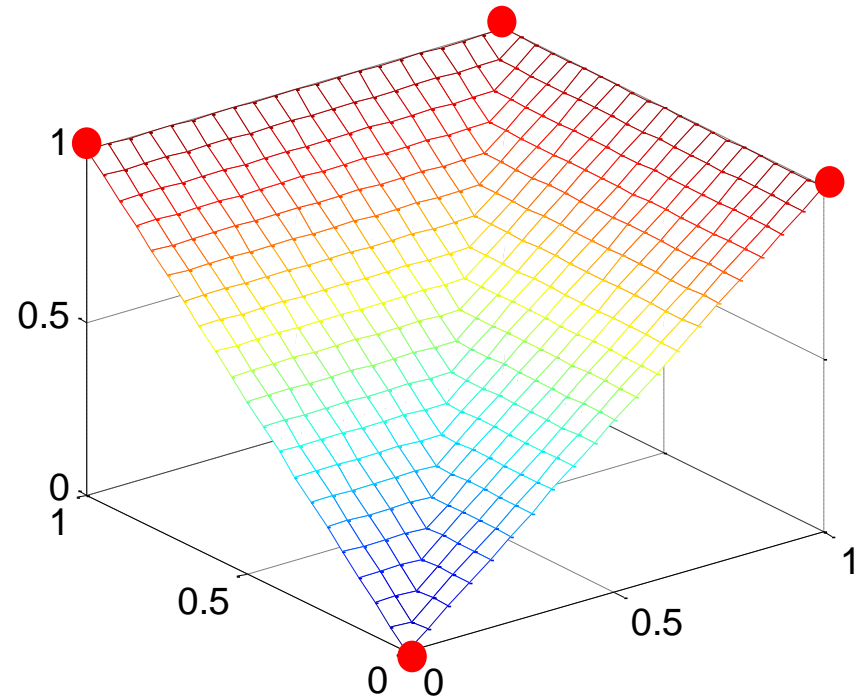
operatory Zadeha

„I”



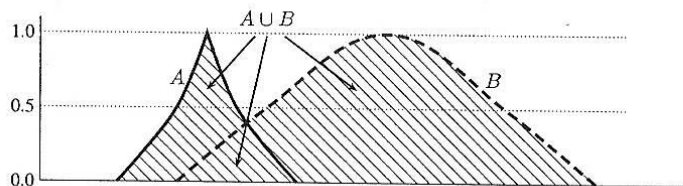
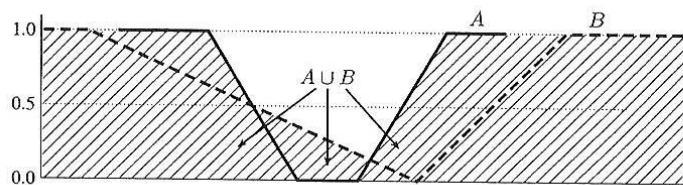
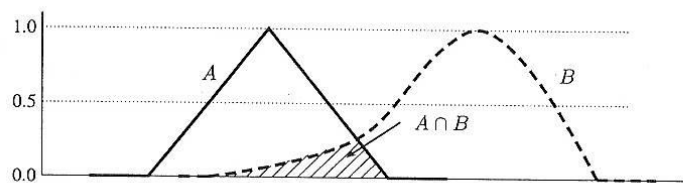
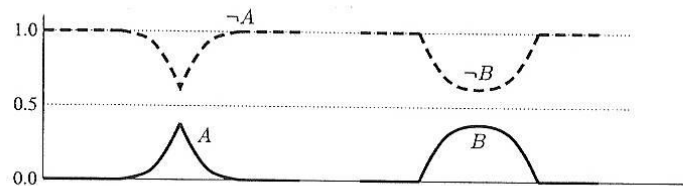
$$\mu_{A \cap B} = \min(\mu_A, \mu_B)$$

„LUB”



$$\mu_{A \cup B} = \max(\mu_A, \mu_B)$$

OPERACJE NA ZBIORACH ROZMYTYCH



RELACJA ROZMYTA

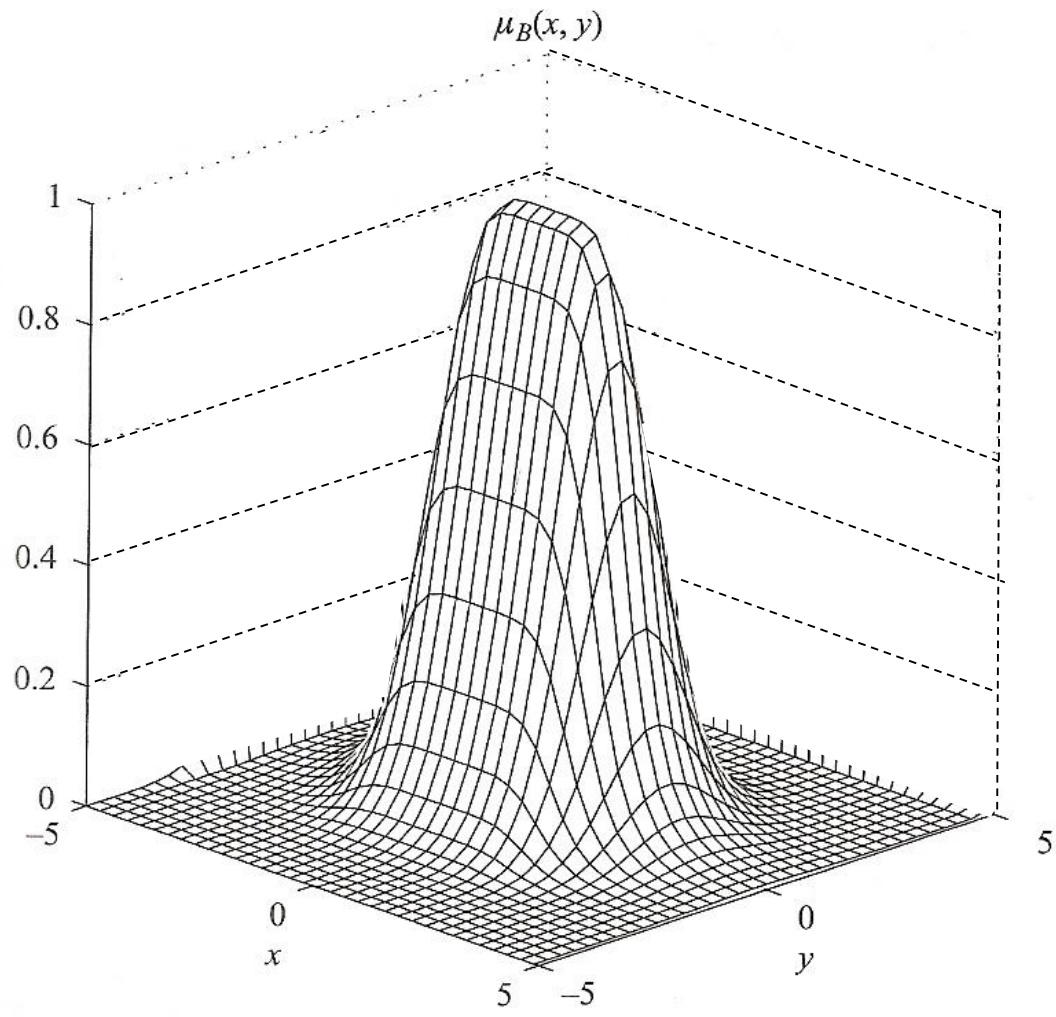
Rozmyta n -argumentowa relacja R określona na iloczynie karezjańskim $X=X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n$ jest zbiorem n -tek postaci

$$R = \left\{ (x_1, \dots, x_n), \mu_R(x_1, \dots, x_n) \right\} : (x_1, \dots, x_n) \in X$$

gdzie:

$$\mu_R(x_1, \dots, x_n) : X_1 \times \dots \times X_n \rightarrow [0,1]$$

RELACJA ROZMYTA



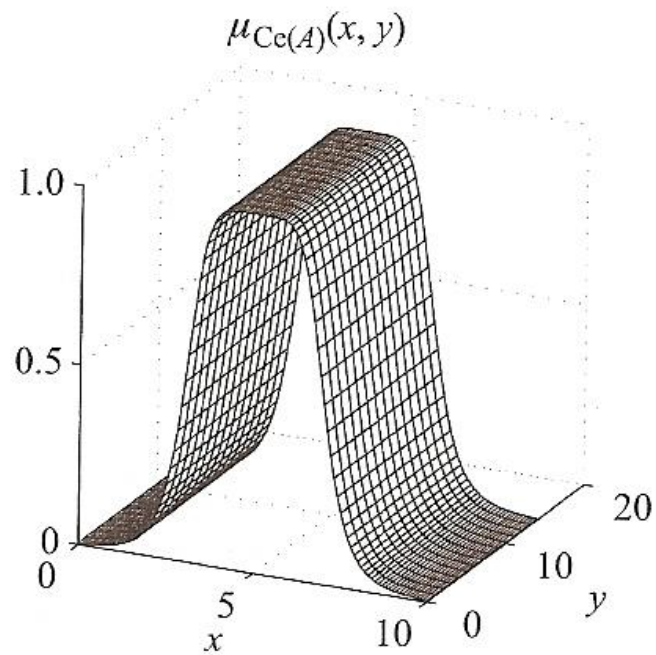
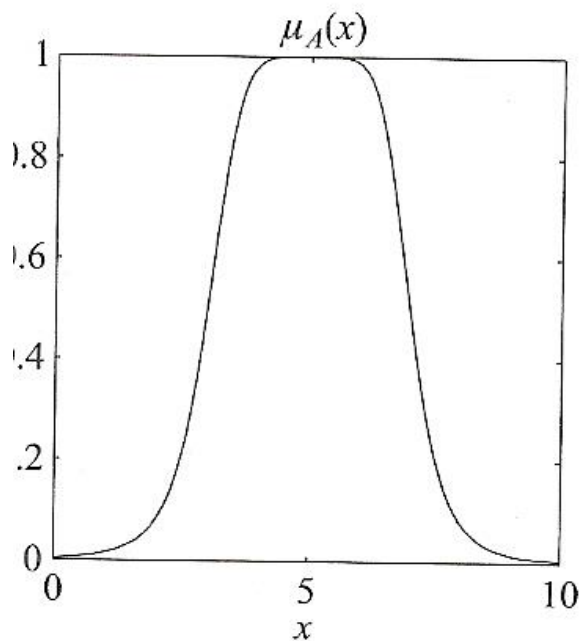
ROZSZERZENIE CYLINDRYCZNE ZBIORU ROZMYTEGO

W ogólnym przypadku jest to metoda uzyskania n -wymiarowej relacji rozmytej na podstawie relacji m -wymiarowej, przy czym $m < n$

Rozszerzeniem cylindrycznym zbioru rozmytego A zdefiniowanego na przestrzeni X na przestrzeń $X \times Y$ jest relacja rozmyta o funkcji przynależności zdefiniowanej jako:

$$\forall_{x \in X, y \in Y} \mu_{Ce(A)}(x, y) = \mu_A(x)$$

ROZSZERZENIE CYLINDRYCZNE ZBIORU ROZMYTEGO



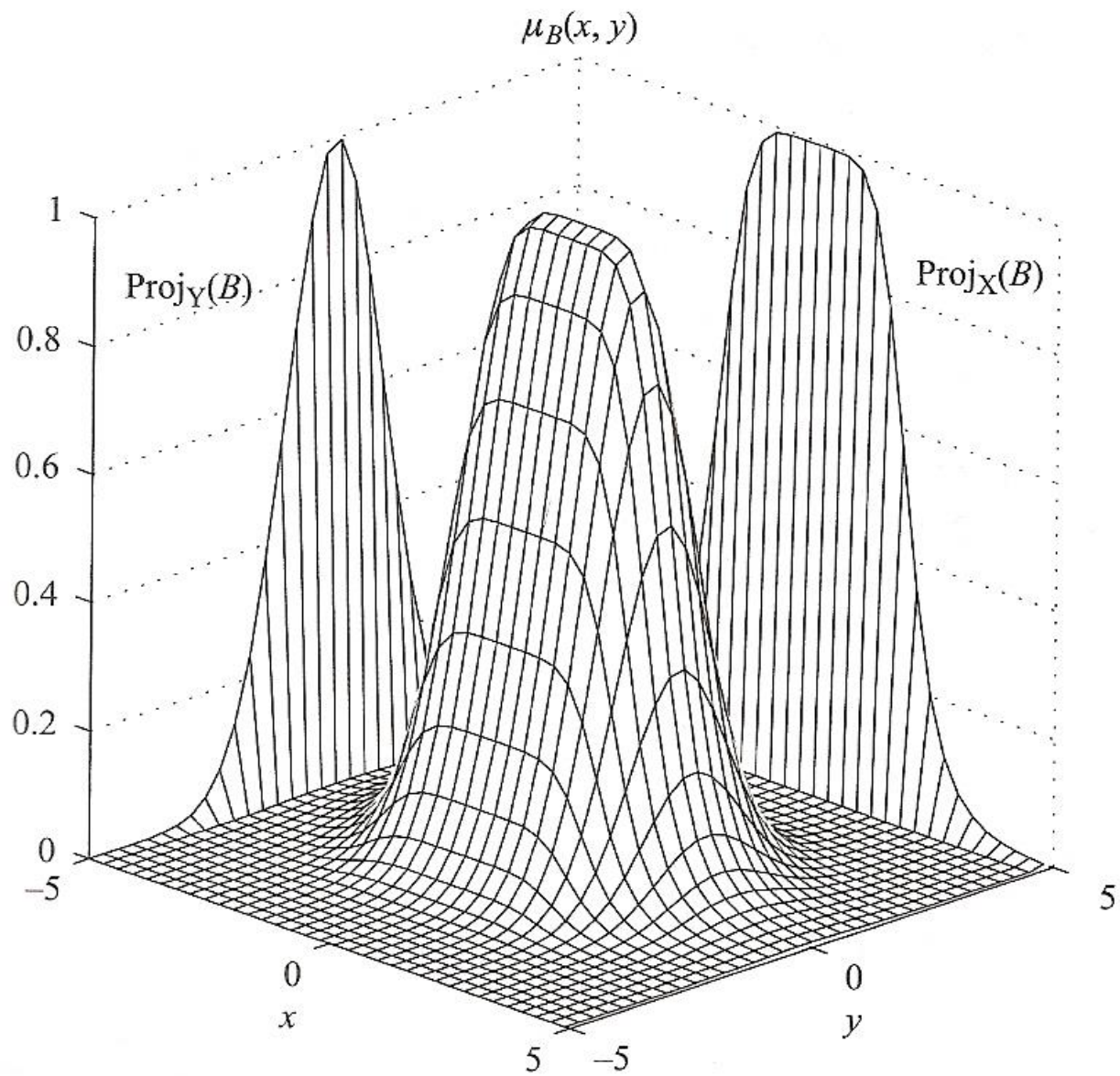
PROJEKCJA RELACJI ROZMYTEJ

W ogólnym przypadku jest to metoda uzyskania m -wymiarowej relacji rozmytej na podstawie relacji n -wymiarowej, przy czym $m < n$

Projekcją relacji rozmytej B zdefiniowanej na przestrzeni $X \times Y$ na przestrzeń X jest zbiór rozmyty o funkcji przynależności zdefiniowanej jako:

$$\mu_{\text{Proj}_X(B)}(x) = \sup_{y \in Y} \mu_B(x, y)$$

PROJEKCIJA RELACJI ROZMYTEJ



ROZMYTE REGUŁY WARUNKOWE

***Jeżeli jest ciepło i wilgotność jest niska to
zmniejsz grzanie***

***Jeżeli jedziesz szybko i zbliżasz się do
przeszkody to zacznij hamować***

JEŻELI x_1 jest A I x_2 jest B I ... TO y jest C

KONIUNKCYJNA INTERPRETACJA REGUŁY ROZMYTEJ

JEŻELI x jest A **TO** y jest B

$$R = A \cap B$$

$$\mu_R(x, y) = \min[\mu_{Ce(A)}(x), \mu_{Ce(B)}(y)]$$

WNIOSKOWANIE PRZYBLIŻONE

JEŻELI x jest A **TO** y jest B

x jest A'

y jest B'

$$B' = A' \circ R$$

ZŁOŻENIOWA REGUŁA WNIOSKOWANIA

$$B'_Y = A'_X \circ R_{X \times Y}$$

- 1) cylindryczne rozszerzenie zbioru A' do przestrzeni $X \times Y$
- 2) iloczyn zbioru $Ce(A')$ i relacji R w przestrzeni $X \times Y$
- 3) projekcja wyniku 2) na przestrzeń Y

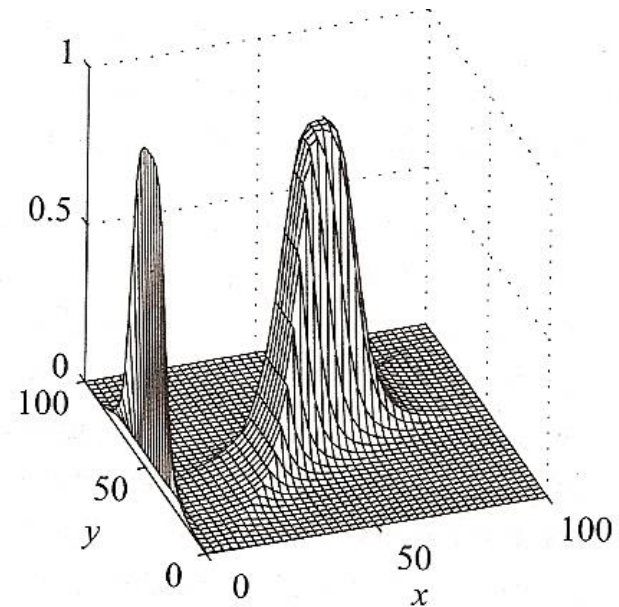
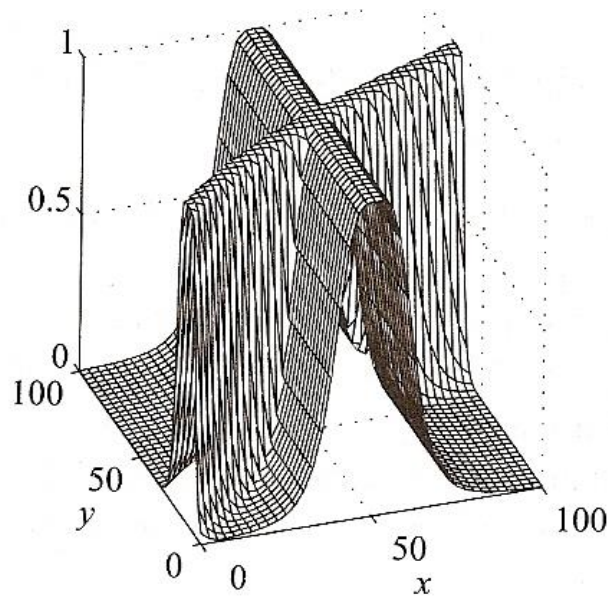
$$\mu_{B'}(y) = \sup_{x \in X} \left[\min \left(\mu_{Ce(A')}(x, y), \mu_R(x, y) \right) \right]$$

WNIOSKOWANIE PRZYBLIŻONE

JEŻELI x jest A **TO** y jest B

x jest A'

y jest B'



ROZMYTA BAZA WIEDZY

1. **IF** (x1 is P) and (x2 is P) **THEN** (y is P)
2. **IF** (x1 is N) and (x2 is N) **THEN** (y is P)
3. **IF** (x1 is P) and (x2 is N) **THEN** (y is ZO)
4. **IF** (x1 is N) and (x2 is P) **THEN** (y is ZO)
5. **IF** (x1 is ZO) and (x2 is ZO) **THEN** (y is ZO)
6. **IF** (x1 is ZO) and (x2 is N) **THEN** (y is N)
7. **IF** (x1 is ZO) and (x2 is P) **THEN** (y is N)
8. **IF** (x1 is N) and (x2 is ZO) **THEN** (y is N)
9. **IF** (x1 is P) and (x2 is ZO) **THEN** (y is N)

