

www.kwmimkm.polsl.pl

METODY HEURYSTYCZNE

wykład 7

www.kwmimkm.polsl.pl

PROJEKTOWANIE BAZ REGUŁ

www.kwmimkm.polsl.pl

Informacja niezbędna do zaprojektowania sterownika:

- numeryczna (ilościowa) – z czujników pomiarowych;
- lingwistyczna (jakościowa) – od eksperta.

Stworzenie bazy wiedzy dla układu rozmytego – zadanie nietrywialne...

Siatka

Indywidualne funkcje

3

www.kwmimkm.polsl.pl

Siatki:

- proste i skuteczne;
- łączenie danych numerycznych i nienumerycznych poprzez uzupełnianie istniejącej bazy reguł o nowe reguły (na podstawie danych uczących);
- N^k obszarów dla k wymiarów i N funkcji; - często słaba aproksymacja.

Funkcje indywidualne:

- dokładniejsze, lepsza aproksymacja, mniej funkcji;
- trudniejsze w implementacji.

4

www.kwmimkm.polsl.pl

Zadanie:

Ustalenie reguł rozmytych tak, by sterownik generował właściwe sygnały wyjściowe.

1. Określenie zakresu zm. danych WE $[x_i^-, x_i^+]$ i WY $[y_i^-, y_i^+]$

$\mu(x_1)$

$\mu(x_2)$

$\mu(y)$

5

www.kwmimkm.polsl.pl

2. Podział zakresów na podobzary, np.: $n = 2N+1$

$M_N, \dots, M_1, S, D_1, \dots, D_N$

i przyjęcie funkcji przynależności (np. trójkątnej) dla każdego z podobzarów.

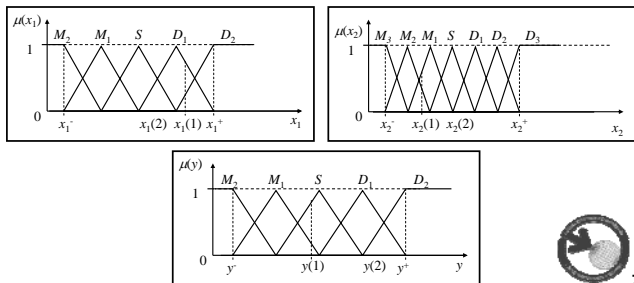
$\mu(x_1)$

$\mu(x_2)$

$\mu(y)$

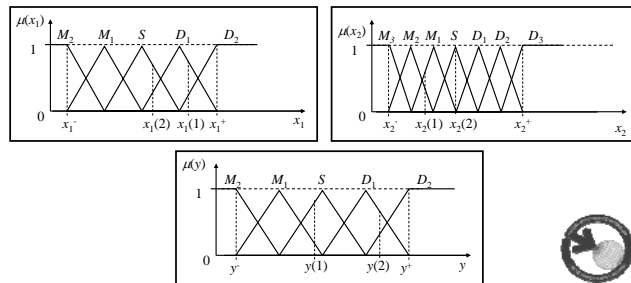
6

3. Określenie stopnia przynależności każdego z sygnałów WE i WY do każdego z podobszarów.



7

tu: - *StPrzyn* x_1 do $D_1 = 0.8$, do $D_2 = 0.2$, do innych = 0;
 - x_1 ma największy *StPrzyn* do D_1 , x_2 do M_1
 - Dla każdej pary danych uczących można napisać jedną regułę.

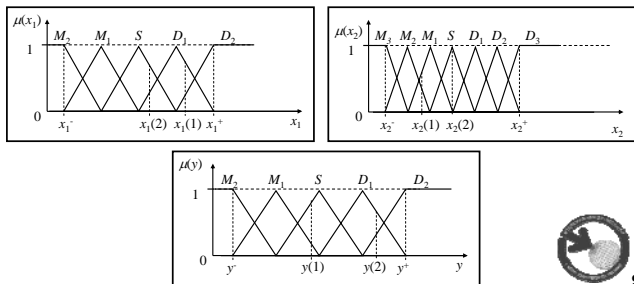


8

4. Przyporządkowanie stopni prawdziwości (SP) do każdej reguły.
 Np. dla reguły: **IF** (x_1 is A_1 **AND** x_2 is A_2) **THEN** y is B

$$SP(R^{(1)}) = \mu_{D_1}(x_1) \cdot \mu_{M_1}(x_2) \cdot \mu_S(y) = 0.8 \cdot 0.6 \cdot 0.9 = 0.432$$

$$SP(R^{(2)}) = \mu_S(x_1) \cdot \mu_S(x_2) \cdot \mu_{D_1}(y) = 0.7 \cdot 1 \cdot 0.7 = 0.49$$



9

Jeśli pewne reguły okazują się sprzeczne – wybiera się regułę o największym stopniu prawdziwości.

5. Utworzenie bazy reguł rozmytych na podstawie tablicy:

$R^{(1)}$: **IF** (x_1 is D_1 **AND** x_2 is M_1) **THEN** y is S

D_3				
D_2				
D_1				
S				
M				
1				
M				
2				
M				
3				
	M	S	D_1	D_2
	2	1		

Siatka:

- Regularna.
- Nieregularna: zagęść siatkę w miejscu największego błędu.
- Metoda mieszana: zacznij od regularnej siatki, przeprowadź adaptację parametrów.



10

STEROWNIKI ROZMYTO-NEURONOWE (SR-N)



11

Sieci neuronowe:

- Możliwość uczenia, adaptacji i uogólniania.
- Przetwarzanie równoległe o wysokiej mocy oblicz.
- Brak algorytmu ustalania liczby warstw i liczby neuronów w nich dla konkretnych zastosowań.
- Wiedza zawarta w SSN jest rozproszona – nieprzydatna dla obserwatora.

Rozmyte układy sterowania:

- Nie jest wymagana szczegółowa wiedza o procesie.
- Wiedza ma charakter jakościowy a nie ilościowy.
- Brak możliwości adaptacji uczenia (wiedza o regułach pochodzi od eksperta);



12

Sterowniki rozmyto-neuronowe (SR-N):

- Łączą najlepsze cechy SR i SSN.
- Moc obliczeniowa i zdolność uczenia SSN połączone z systemem rozumowania podobnym do ludzkiego (rozmytym);

SR-N jako wielowarstwowe sieci feedforward

Np. Sterownik Sugeno 1-go rzędu

Reguły:

$R^{(1)} : \text{IF } (x_1 \text{ is } A_1 \text{ AND } x_2 \text{ is } B_1) \text{ THEN } y \text{ is } p_1x_1 + q_1x_2 + r_1$

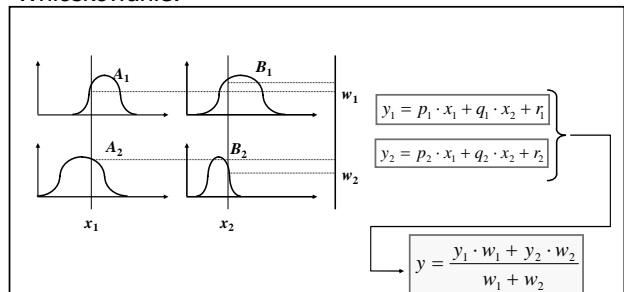
$R^{(2)} : \text{IF } (x_1 \text{ is } A_2 \text{ AND } x_2 \text{ is } B_2) \text{ THEN } y \text{ is } p_2x_1 + q_2x_2 + r_2$

13

$R^{(1)} : \text{IF } (x_1 \text{ is } A_1 \text{ AND } x_2 \text{ is } B_1) \text{ THEN } y \text{ is } p_1x_1 + q_1x_2 + r_1$

$R^{(2)} : \text{IF } (x_1 \text{ is } A_2 \text{ AND } x_2 \text{ is } B_2) \text{ THEN } y \text{ is } p_2x_1 + q_2x_2 + r_2$

Wnioskowanie:

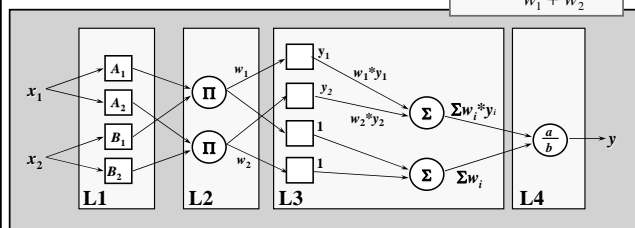


14

ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System)

Przykładowa realizacja:

$$y = \frac{y_1 \cdot w_1 + y_2 \cdot w_2}{w_1 + w_2}$$



$R^{(1)} : \text{IF } (x_1 \text{ is } A_1 \text{ AND } x_2 \text{ is } B_1) \text{ THEN } y \text{ is } p_1x_1 + q_1x_2 + r_1$

$R^{(2)} : \text{IF } (x_1 \text{ is } A_2 \text{ AND } x_2 \text{ is } B_2) \text{ THEN } y \text{ is } p_2x_1 + q_2x_2 + r_2$

15

Warstwa L1:

- Każdy z elementów realizuje f. przynależności $ZR A_i^k$:
 $i = 1, 2, \dots$ - liczba danych WE;
 $k = 1, 2, \dots$ - liczba reguł.
- Na wejście podawane są dane WE, na wyjściu wartości f. przynależności dla tych danych.
- Warstwa L1 ocenia stopień przynależności danych WE do odpowiednich zbiorów rozmytych.
- Parametry f. przynależności są modyfikowane podczas uczenia.
- Liczba elementów – liczba wszystkich zbiorów przynależności - (liczba_danychWE)•(liczba_reguły)

16

Warstwa L2:

- Jej konfiguracja odpowiada bazie reguł a elementy mnożące – blokowi wnioskowania,
- Na wyjściu wynik wnioskowania w postaci wartości funkcji przynależności.
- Liczba elementów warstwy – liczba reguł.

Warstwy L3 i L4:

- Realizacja bloku wyostrzania.
- Wagi interpretuje się jako środki f. przynależności zbiorów rozmytych z wyjścia bloku L2.
- Wagi modyfikowane są w procesie uczenia.
- Wyjście L4 – nierozmyta wartość WY sterownika

17

Zalety SR-N w porównaniu z SSN

- Warstwa i jej elementy, konfiguracja połączeń oraz wagi mają swoją fizyczną interpretację;
- Wiedza nie jest rozproszona i może być łatwo z sieci wyodrębniona i analizowana przez jej obserwatora.

Uczenie:

Propagacja wsteczna:

- korekta parametrów sterownika dla danych uczących, by minimalizować błąd na wyjściu.

18

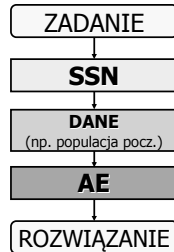
POŁĄCZENIE AE I SSN:

1. **Wspomagające** (metody stosowane kolejno);
2. **Współdziałające** (metody stosowane jednocześnie).

Ad. 1. (Połączenia wspomagające)

SSN do wspomagania AE (rzadziej).

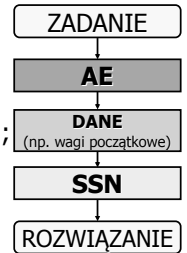
- Zastosowanie: *system hybrydowy do rozwiązania problemu połączeń drogowych*.
- SSN – utworzenie populacji pocz.
- AE – procedura optymalizacyjna



19

AE do wspomagania SSN (częście).

- a) AE do przygotowania danych dla SSN;
- b) AE do wyboru reguły uczenia lub parametrów sterujących uczeniem SSN;
- c) AE do analizy SSN – budowa narzędzi do wyjaśnienia działania SSN.



20

Ad. 2. (Połączenia współdziałające)

AE do uczenia SSN

- Optymalizacja wag w sieci o ustalonej topologii (*przy problemach z liczeniem pochodnych*).

AE do określania topologii SSN

- Optymalizacja architektury SSN – poszukiwanie architektury, która działa najlepiej dla danego zadania przy zadanym kryterium optymalności.

Systemy łączące adaptacyjne strategie SSN i AE

1. SSN do zadań optymalizacji i jednocześnie AE do ustawiania wag sieci.
2. SSN realizuje operacje genetyczne (reprodukcja i krzyżowanie).

21

DATA MINING (drażenie/eksploracja danych)

Poszukiwanie zależności w dużych zbiorach danych i tworzenie modeli (np. biznesowych) z danych, np:

- Czym charakteryzują się kierowcy powodujących wypadki ze skutkiem śmiertelnym?
- Jakie kosmetyki są najczęściej kupowane przez kobiety w wieku lat 30-40?
- Jak jest prawdopodobieństwo niespłacenia kredytu przez klienta banku?
- Którzy abonenci zrezygnują w najbliższym czasie z usług telekomunikacyjnych?

22

Etapy:

- Znalezienie naturalnych podziałów danych (grupowanie);
- Porządkowanie grup w segmenty;
- Tworzenie modeli zdolnych do działania (np. prognozowania) w oparciu o nowe dane.

Wyniki w formie:

- reguł logicznych IF...THEN;
- drzew decyzyjnych;
- sieci neuronowych.

23

SYSTEMY EKSPERTOWE

Komputerowe programy wspomagające decyzje lub zastępujące eksperta w danej dziedzinie.

Dwa zasadnicze elementy:

- Baza wiedzy będąca plikiem tekstowym.
- System wnioskujący będący plikiem wykonywalnym.

Dlaczego?

- Wiedza eksperta jest zasobem rzadkim i droгим.
- SE pozwalają większemu gronu ludzi działać jako „ekspert” (np. szkolenia).
- Połączenie wiedzy kilku ekspertów może spowodować, że SE działa lepiej niż pojedynczy ekspert.

24

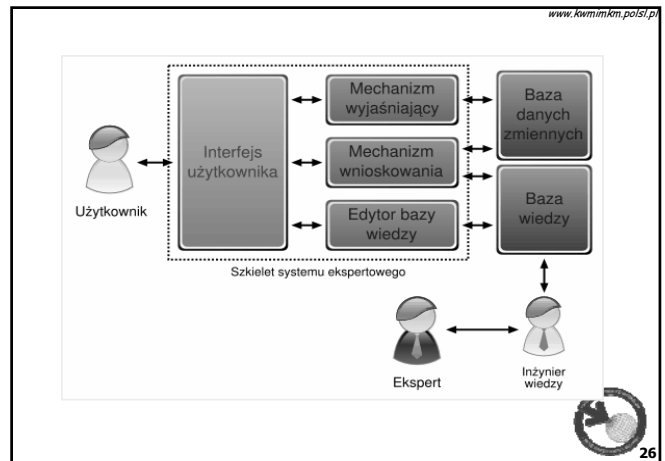
Przykładowe obszary zastosowań SE:

www.kwmimkm.polski.pl

- diagnozowanie chorób;
- poszukiwanie złóż minerałów;
- identyfikacja struktur molekularnych;
- udzielanie porad prawnych;
- diagnostyka techniczna;
- dokonywanie wycen i kalkulacji kosztów naprawy pojazdów przez firmy ubezpieczeniowe
- **Prolog** – klasyczny język do tworzeniu SE.
- Obecnie używa się gotowych szkieletów SE (szkielet to gotowy system ekspertowy pozbawiony wiedzy).
- Najpopularniejsze, bezpłatne szkielety SE:
CLIPS, JESS, MANDARAX



25



26

SZKIELET SYSTEMU – składniki:

www.kwmimkm.polski.pl

- **Interfejs użytkownika.** Komunikacja z systemem to zwykle zadawanie pytań, udzielanie informacji systemowi i odbieranie od systemu odpowiedzi i wyjaśnień.
- **Edytor bazy wiedzy.** Umożliwia modyfikację wiedzy zawartej w systemie, co pozwala na rozbudowę systemu.
- **Mechanizm wnioskowania.** Najważniejszy składnik systemu ekspertowego. Jego zadaniem jest wyciąganie wniosków z przesłanek i pytań wprowadzanych przez użytkownika i generowanie odpowiedzi.
- **Mechanizm wyjaśniający.** Umożliwia wyjaśnienie na życzenie użytkownika, dlaczego system udzielił takiej, a nie innej odpowiedzi, lub dlaczego system zadał użytkownikowi określone pytanie.



27

BAZA WIEDZY:

www.kwmimkm.polski.pl

- Drugi pod względem ważności składnik systemu.
- W bazie wiedzy zawarta jest wyekstrahowana od ludzkich ekspertów wiedza dotycząca określonej dziedziny.
- Wiedza ta zwykle zapisana jest za pomocą wybranego sposobu reprezentacji wiedzy, na przykład za pomocą reguł lub ram.



28

BAZA DANYCH ZMIENNYCH:

www.kwmimkm.polski.pl

- Pomocnicza baza danych, w której przechowywane są wnioski uzyskane przez system podczas jego działania.
- Baza ta umożliwia odtworzenie sposobu wnioskowania systemu i przedstawienie go użytkownikowi za pomocą mechanizmu wyjaśniającego.

Ekstrakcją wiedzy od ekspertów zajmują się na ogół inżynierowie wiedzy.

Jest to zwykle długi i żmudny proces, ponieważ wiedza stosowana przez ludzkich ekspertów jest zwykle wiedzą praktyczną i intuicyjną.



29

SYSTEMY WIELOAGENTOWE

www.kwmimkm.polski.pl

Programy komputerowe próbujące symulować różnorodne złożone zjawiska za pomocą wirtualnych „agentów” (np. reprezentujących elementy systemu biznesowego).

- zachowania agentów - proste reguły.
- interakcja poszczególnych agentów – symulacja zachowania zbiorowego i jego wpływu na cały system;
- uruchomione modele realistycznie obrazują dany proces.



30

SW to:

• źródło informacji na temat dynamiki naśladowanych systemów rzeczywistych.

• strategiczne narzędzia dla analiz „what-if” (*Komputer niekiedy generuje strategie, których użytkownik nigdy by nie rozważył*).

Często stosowane do rozwiązywania problemów o charakterze rozproszonym lub złożonych obliczeniowo, np.:

- wyszukiwanie informacji w sieci;
- zarządzanie sieciami telekomunikacyjnymi;
- symulacja rynku;
- wspomaganie zarządzania w przedsiębiorstwie;
- kontrola ruchu lotniczego.



31

PROGRAMOWANIE GENETYCZNE



32

programy, które powstają samoczynnie...

- Automatyczne generowanie tekstów programów, jeśli znane są kryteria oceny prawidłowości działania.
- Język bazowy – LISP (*program jest reprezentowany w identyczny sposób jak dane - w postaci drzewa*).
- Kodowanie binarne zastąpiono drzewiastym.
- W węzłach mogą znajdować się:
 - symbole pewnego alfabetu;
 - wartości liczbowe - dyskretne i ciągłe;
 - stałe, zmienne lub funkcje.



33

Operatory genetyczne: uwzględnienie specyfiki metody kodowania i umożliwienie modyfikacji:

- wartości w węzłach drzewa;
- struktury drzewa.

Obecnie:

„programowanie genetyczne” - często do określenia wszelkich algorytmów wykorzystujących drzewiastą reprezentację zadania i modyfikujących strukturę tej reprezentacji.



34

Kodowanie drzewiaste:

- Chromosom jest kodowany jako drzewo, składające się z węzłów i krawędzi.
- Informacja jest zawarta w węzłach, zaś krawędzie określają wzajemne relacje pomiędzy węzłami.
- Jeśli krawędź jest skierowana od węzła A do B, to A jest nazywany nadrzędnym, B - podrzędnym.
- Węzły:
 - terminalne (nie posiadają węzłów podrzędnych);
 - pośrednie (nieterminalne).
- Istnieje dokładnie jeden węzeł, nie posiadający nadrzędnego – korzeń drzewa.

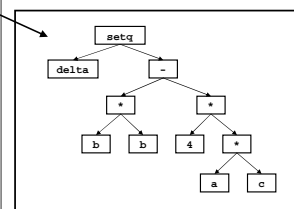


35

Przykład

Funkcja obliczająca pierwiastki rzeczywiste równania kwadratowego: $y = ax^2 + bx + c$

```
(defun pierwiastki (a b c)
  ( (setq delta -(* (b b) *(4 * (a c))))
    (if <(delta 0)
      (setq n 0)
      )
    (if =(delta 0)
      (setq n 1)
      (setq x1 (/((-b)*(2 a))))
      )
    (if >(delta 0)
      (setq n 2)
      (setq x1 (/((-b sqrt(delta)
      )*(2 a))))
      (setq x2 (/((+(-b sqrt(delta)
      )*(2 a))))
      )
      )
    )
  )
```



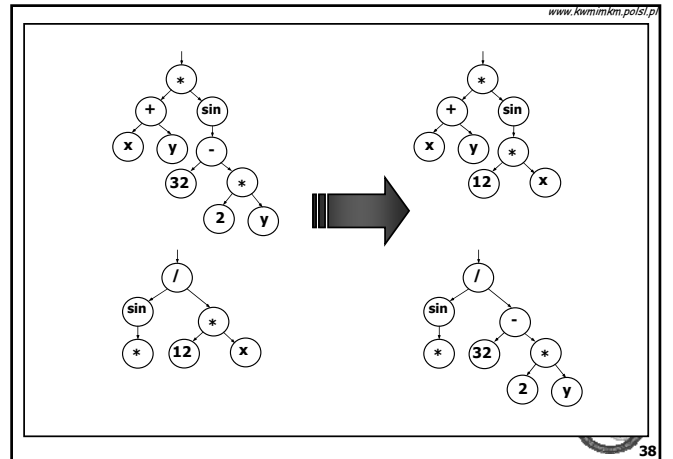
36

Krzyżowanie:

- Jest wykonywane dla pary osobników rodzicielskich i prowadzi do powstania pary osobników potomnych.
- Z każdego z osobników rodzicielskich wyodrębniany jest losowo wybrany węzeł – pośredni (wraz ze swoim poddrzewem) lub terminalny.
- Chromosomy potomne powstają w wyniku zamiany powstałych poddrzew.



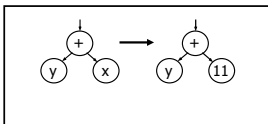
37



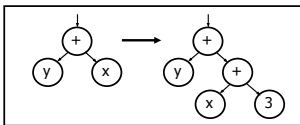
38

Mutacja - warianty:

- Zmiana zawartości węzła terminalnego:



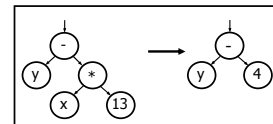
- Zamiana węzła terminalnego na korzeń losowego wygenerowanego poddrzewa:



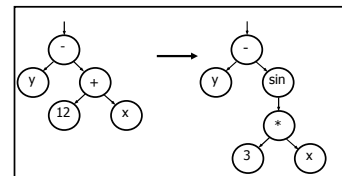
39

Mutacja - warianty:

- Zamiana poddrzewa na inne:



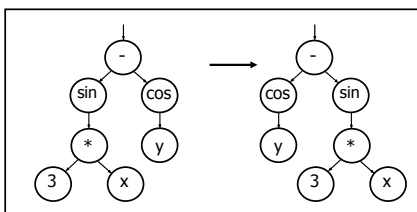
- Zamiana poddrzewa na inne:



40

Mutacja - warianty:

- Reorganizacja poddrzew:



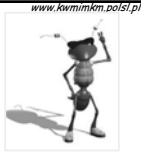
41

SYSTEMY (ALGORYTMY) MRÓWKOWE



42

- Mrówki są praktycznie ślepe, lecz potrafią znaleźć najkrótszą drogę do pożywienia i z powrotem.
- Ich obserwacja była inspiracją do powstania (Dorigo, 1996) nowego typu algorytmów zwanych mrówkowymi (*ant algorithms, ant systems*)



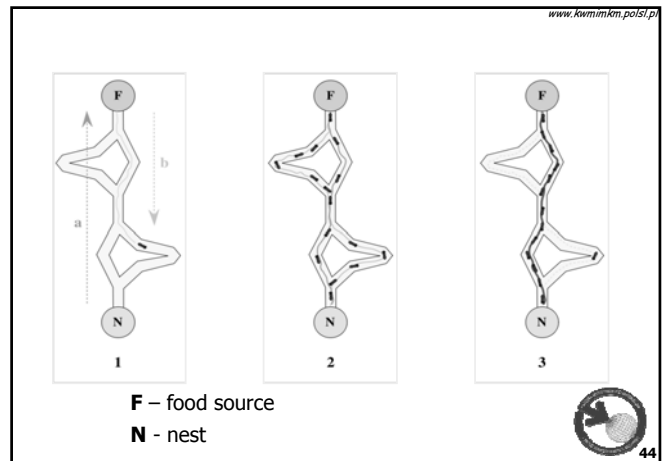
<http://iridia.ulb.ac.be/~mdorigo/ACO/ACO.html>

Zastosowania - zad. optymalizacji kombinatorycznej:

- problem komiwojażera;
- harmonogramowanie
- wyznaczanie tras w sieciach telekomunikacyjnych
- wyznaczanie optymalnych tras w ruchu miejskim.



43

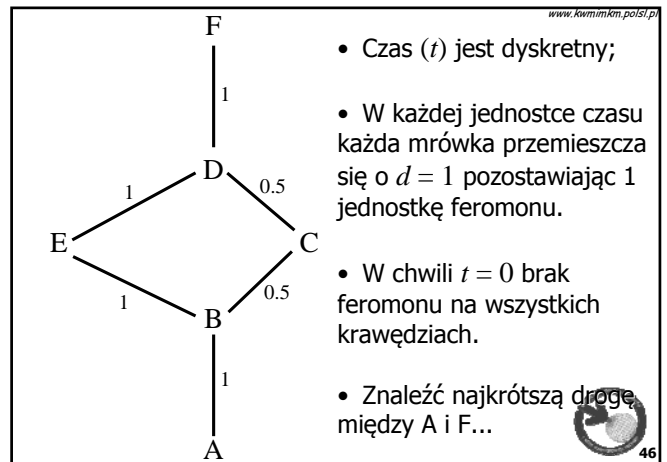


44

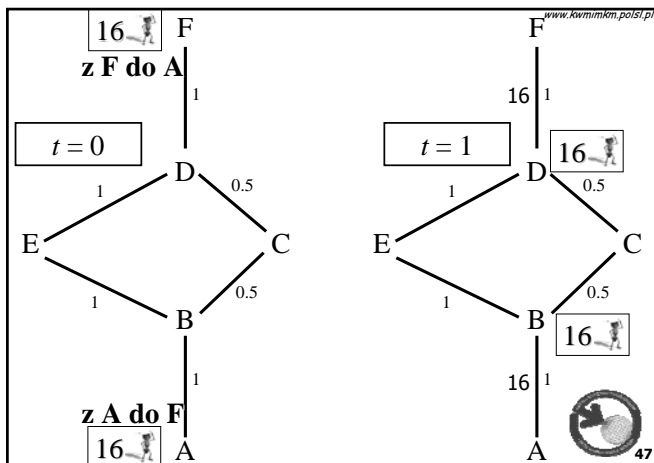
- Systemy bazujące na inteligencji masowej – populacja mrówek (podobnie jak w AE).
- Każda mrówka w populacji poszukuje rozwiązania (najkrótszej drogi).
- Pozostawianie feromonu na trasie.
- Wybór trasy na podstawie ilości feromonu
- Wielokrotne powtarzanie: trasa optymalna.



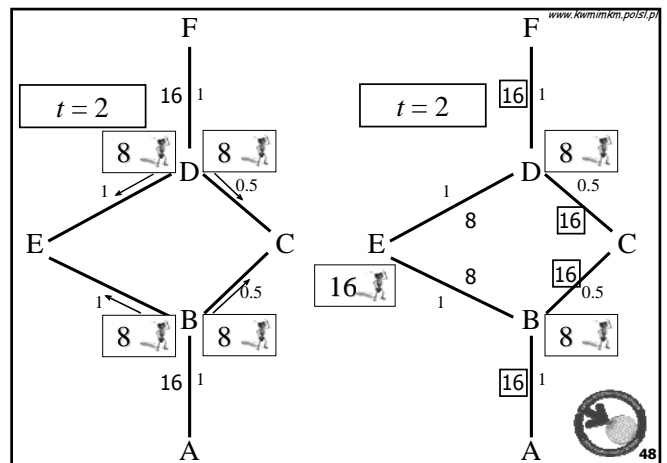
45



46



47



48

- Proste podążanie ścieżką z największą ilością feromonu – szybkie utknięcie w optimum lokalnym.
- Potrzebna jest eksploracja ścieżek – mrówki wybierają ścieżki z prawdopodobieństwem proporcjonalnym do intensywności śladu feromonowego na niej.
- To, że mrówka wybierze daną ścieżkę zależy zarówno od intensywności feromonu jak również np. odległości od następnego miasta (TSP).
- W celu zapewnienia braku nieograniczonego wzrostu ilości feromonu – parowanie feromonu.



ALGORYTMY IMMUNOLOGICZNE

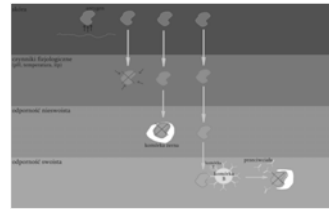


NATURALNY SYSTEM IMMUNOLOGICZNY:

- Jego zadaniem jest ochrona żywego organizmu przed działaniem obcych struktur mających charakter chorobotwórcze (patogeny), jak wirusy, bakterie, grzyby czy niewłaściwie funkcjonujące komórki.
- Wszystkie te struktury, które wywołują reakcję immunologiczną, nazywane są antygenami.
- Bardzo ogólnie: rozpoznawanie antygenów na zasadzie „swój-obcy” i eliminowanie tych drugich.



- Może być przedstawiony w postaci warstwowej:

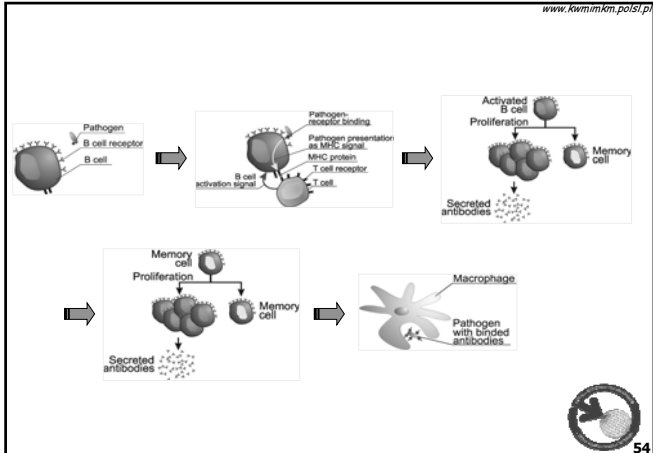


1. Skóra – podstawowa bariera ochronna.
2. Warstwa fizjologiczna (temperatura, pH) – stwarza warunki niekorzystne dla rozwoju obcych organizmów.
3. Odporność wrodzona (nieswoista)
4. Odporność adaptacyjna (swoista)



rozpoznawanie i eliminacja antygenów przez odpowiednie komórki

- Limfocyty – komórki, będące głównymi składowymi adaptacyjnego systemu immunologicznego.
- Limfocyty (głównie typów T i B) w wielkich ilościach krążą w płynach ustrojowych – system immunologiczny jest systemem zdecentralizowanym a wszystkie jego komórki mogą się dowolnie przemieszczać.
- Limfocyty rozpoznają napotykanne antygeny i pomagają je eliminować, przy czym mogą ze sobą lokalnie współpracować.
- Limfocyty typu B - produkcja przeciwciał rozpoznających antygen.
- Limfocyty typu T - rozpoznawanie „swój-obcy”.
- Duże zróżnicowanie limfocytów:
 - pozwala na rozpoznawanie wielu różnych antygenów;
 - pierwotnie zbyt mała liczba komórek rozpoznających antygen by go zwalczyć.



SZTUCZNY SYSTEM IMMUNOLOGICZNY (Artificial Immune System, AIS)

- Zbiór metod obliczeniowych inspirowanych zasadami działania układów odpornościowych kręgowców.
- Tylko niektóre elementy naturalnych układów są brane pod uwagę, typowo: mutacja limfocytów B, proliferacja, komórki pamięci, rozpoznawanie antygenów z użyciem limfocytów B i T.
- **Niektóre zastosowania:**
 - optymalizacja (patogen reprezentuje optimum globalne, szukane jest najlepiej dopasowane przeciwciało);
 - zagadnienia zw. z bezpieczeństwem sieciowym (np. NIDS - network intrusion detection system)
 - uczenie maszynowe;
 - systemy agentowe.



55

AIS - POJĘCIA:

- Komórka macierzysta – wzorzec akceptowany w systemie;
- Przeciwciało – obiekt rozpoznający obiekty nie będące komórkami macierzystym (wzorce niepożądane).
- Antygen – obiekt rozpoznawany i uaktywniający przeciwciała.
- Komórka pamięciowa – przechowuje informacje o rozpoznanych antygenie; przy kolejnym ataku antygeny zostaje on dużo szybciej rozpoznany.
- Proliferacja – namnażanie się komórek.
- Hipermutacja – mutacje, których częstotliwość jest przynajmniej o jeden rząd wielkości większa, niż innych mutacji w organizmie (zwykle jeszcze częściej).



56

PODSTAWOWE MECHANIZMY:

Selekcja klonalna (limfocyty B)

- Cel – namnożenie odpowiednich przeciwciał, biorących udział w zwalczaniu danego antygeny.
- Uaktywnione limfocyty B dzielą się produkując wiele klonów, które następnie przechodzą hipermutację by wytworzyć lepiej dopasowane przeciwciała.
- Oceniany stopień dopasowania każdego klonu do antygeny. Słabo dopasowane usuwane, dobrze dopasowane pozostają.

Selekcja negatywna (limfocyty T)

- Cel – utworzenie zbioru przeciwciał - detektorów, które nie są uaktywniane przez komórki macierzyste.
- W procesie tym limfocytom T pokazywane są komórki własne. Jeśli dany limfocyt rozpozna którąś z nich, jest on usuwany.
- Nie podlegają mutacji.

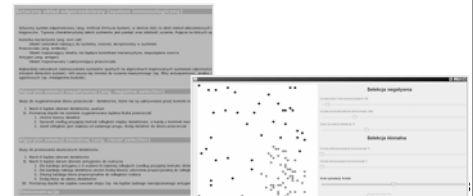


57

<http://www.ipipan.waw.pl/~stw/ais/ks/natural.html>

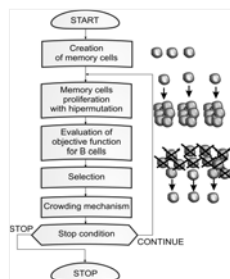


http://www.alife.pl/sztuczny_system_odpornosciowy



Przykład: AIS autorstwa dra inż. Wacława Kusia

1. Losowe wygenerowanie komórek pamięciowych.
2. Komórki pamięciowe proliferują i mutują tworząc limfocyty B (liczba klonów zależy od przystosowania).
3. Obliczenie wartości przystosowania dla limfocytów B.
4. Selekcja na podstawie odległości między każdą komórką pamięciową a limfocytami B.
5. Mechanizm zatłoczenia usuwa podobne komórki pamięci.
6. Procedura jest powtarzana do spełnienia warunku zakończenia (np. liczba iteracji).



59

ALGORYTMY IMMUNOGENETYCZNE

- Są połączeniem mechanizmów genetycznych (ewolucyjnych) i immunologicznych;
- AIS i AE mają wiele cech wspólnych, np. działanie na populacji osobników, stosowanie mechanizmów selekcji.
- W algorytmach immunogenetycznych stosowane są operatory krzyżowania, mutacji i selekcji (jak AE) przy zachowaniu populacji antygenów i przeciwciał (jak AIS).
- Często: AE do generowania populacji przeciwciał, by poddać je immunologicznej selekcji negatywnej.
- Funkcja przystosowania – zwykle miary bazujące na stopniu dopasowania przeciwciała do antygeny (jak w AIS).



60