

Sztuczne systemy immunologiczne

Karol Walędzik
 k.waledzik@mini.pw.edu.pl
 http://www.mini.pw.edu.pl/~kwaledzik

Plan

- ❖ Naturalny system immunologiczny
- ❖ Systemy oparte na selekcji klonalnej
- ❖ Systemy oparte na modelu sieci idiotypowej

Karol Walędzik - Sztuczne Systemy Immunologiczne 2

Naturalny system immunologiczny

Podstawowy słownik

- ❖ *System immunologiczny*
 - ♦ system mający za zadanie chronić organizm przed obcymi strukturami
- ❖ *Patogen*
 - ♦ obca struktura zagrażająca organizmowi
- ❖ *Antygen*
 - ♦ patogen wywołujący reakcję obronną

Karol Walędzik - Sztuczne Systemy Immunologiczne 4

Architektura systemu naturalnego

Patogeny

Skóra

Bariera fizjologiczna

Fagocyty

Wrodzony układ odpornościowy

Limfocyty

Adaptacyjny układ odpornościowy

[2]

Karol Walędzik - Sztuczne Systemy Immunologiczne 5

Odporność swoista

- ❖ Zdolność adaptacji
 - ♦ w przeciwieństwie do wrodzonej i niezmiennej odporności nieswoistej
 - ♦ uczy się rozpoznawać nowe antygeny
 - ♦ posiada mechanizm pamięci immunologicznej
 - ♦ dzięki temu ponowna odpowiedź na antygen jest szybsza i silniejsza (wtórna odpowiedź immunologiczna)
- ❖ Brak scentralizowanej kontroli
 - ♦ ogromna liczba limfocytów swobodnie krążących w płynach ustrojowych

Karol Walędzik - Sztuczne Systemy Immunologiczne 6

Limfocyty

- ❖ Limfocyty B
 - produkują przeciwciała rozpoznające antygeny
- ❖ Limfocyty T
 - odpowiedzialne za rozpoznawanie 'swój-obcy'
 - limfocyty wspomagające (Th/T4)
 - decydują o aktywacji limfocytów B
 - limfocyty cytotoksyczne (Tk/T8)
 - rozpoznają i niszczą obce i nieprawidłowe białka
 - limfocyty supresyjne
 - hamują nadmierną aktywność systemu immunologicznego
 - limfocyty pamięciowe
 - tworzą system pamięci immunologicznej
 - dokładny mechanizm nie jest jasny (typowe limfocyty żyją najwyżej kilka dni, nie ma pewności, czy te są pod tym względem wyjątkowe)

Karol Walędzik - Sztuczne Systemy Immunologiczne 7

Rozwój odpowiedzi immunologicznych

Antygen

Komórka prezentująca antygen

Limfocyty rozpoznające antygen

Kooperacja

Limfocyty B

Limfocyty B

Komórki efektorowe

Wytwarzanie przeciwciał

Cytotoksywność

Komórka docelowa

Makrofag

http://pl.wikipedia.org/wiki/Plik:Odpowiedz_immunologiczna.svg

Karol Walędzik - Sztuczne Systemy Immunologiczne 8

Odpowiedź immunologiczna typu humoralnego

- ❖ Epitop
 - specyficzna trójwymiarowa struktura chemiczna będąca częścią powierzchni antygeny
 - umożliwia rozpoznanie antygeny
- ❖ Przeciwciała
 - kształt litery Y
 - receptory otaczające limfocyty B
 - limfocyt jest komórką monoklonalną – zawiera wiele identycznych kopii przeciwciała
- ❖ Paratop
 - struktura na każdym ramieniu przeciwciała
 - dopasowana w różnym stopniu do różnych epitopów
 - stopień dopasowania - siła wiązania paratopu z epitopem

Karol Walędzik - Sztuczne Systemy Immunologiczne 9

Aktywacja limfocytu B

- ❖ Proces aktywacji limfocytu:
 - przekroczenie progu liczby przeciwciał dowiązanych do antygenów
 - prezentacja struktury antygeny przez limfocyt B za pomocą molekuł MHC
 - dowiązanie limfocytu Th do epitopu MHC
 - kostymulacja
 - cel: zapobieganie rozpoznaniu jako antygenów własnych komórek
- ❖ Odpowiedź poliklonalna:
 - wiele limfocytów reaguje (w różnym stopniu) na jeden antygen
 - jeden limfocyt reaguje (w różnym stopniu) na wiele antygenów
 - pozwala na rozpoznawanie różnorodnych antygenów

Karol Walędzik - Sztuczne Systemy Immunologiczne 10

Adaptacja systemu immunologicznego

selekcja negatywna

struktura własna

Antygen

proliferacja

dyferencjacja

komórka pamięciowa

komórka plazmatyczna

selekcja klonalna

[1]

Karol Walędzik - Sztuczne Systemy Immunologiczne 11

Hipoteza sieci idiotypowej

- ❖ Pozwala wyjaśnić m.in. pamięć immunologiczną (bez założenia o długowieczności komórek pamięciowych)

Antygen

Supresja

Stymulacja

[1]

Karol Walędzik - Sztuczne Systemy Immunologiczne 12

Sztuczne systemy bazujące na selekcji klonalnej

Zastosowania

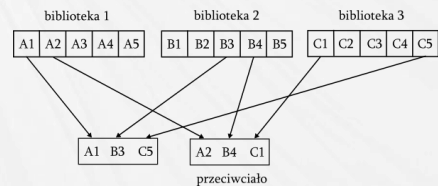
- ❖ Rozpoznawanie wzorców
- ❖ Aproksymacja funkcji
- ❖ Optymalizacja
- ❖ Wykrywanie anomalii
- ❖ Analiza danych

Komponenty sztucznego systemu immunologicznego

- ❖ Limfocyty
 - ♦ często tylko B lub hybryda B i T
 - ♦ limfocyty B zwykle tylko z 1 przeciwciałem
 - możliwe utożsamienie limfocyty z przeciwciałem
 - ♦ zwykle reprezentują potencjalne rozwiązania
- ❖ Antygeny
 - ♦ zwykle reprezentują problemy do rozwiązania
 - ♦ mogą nie występować jawnie
- ❖ Miara dopasowania

Tworzenie populacji przeciwciał

- ❖ W pełni losowe
- ❖ Wzorowane na naturze
 - ♦ np. oparte o biblioteki genów



Selekcja klonalna

1. Wybór populacji uwzględnianej w danym pokoleniu
 - ♦ Limfocyty i podzbiór komórek pamięciowych
2. Klonowanie
 - ♦ dotyczy podzbioru osobników o najwyższym dopasowaniu
 - ♦ liczba klonów zwykle proporcjonalna do stopnia dopasowania

Selekcja klonalna

3. Hipermutacja
 - ♦ wysokie prawdopodobieństwo mutacji
 - prawdopodobieństwo może być proporcjonalne lub odwrotnie proporcjonalne do stopnia dopasowania
 - ♦ dopuszczalna może być tylko mutacja poprawiająca dopasowanie (efekty innej mutacji od razu odrzucane)
 - ♦ opcjonalnie: uzupełnienie zbioru komórek pamięciowych o najlepiej dopasowane limfocyty
4. Zastąpienie najsłabszej części populacji najlepszymi klonami

Selekcja negatywna

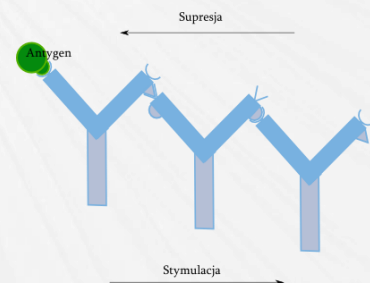
- ❖ Użyteczna jedynie w niektórych problemach
 - np. detekcja anomalii
- ❖ Operuje na zbiorze własnych struktur i przeciwiąt
- ❖ Eliminuje przeciwiąta o zbyt dużym stopniu dopasowania do własnych struktur

Typowe modyfikacje

- ❖ Algorytmy immunogenetyczne
 - połączenie koncepcji algorytmów immunologicznych i genetycznych
- ❖ Operator wiekowania
 - realizacja naturalnego mechanizmu starzenia i śmierci komórek
 - wiek komórki jest zerowany, gdy zwiększy się jej stopień przystosowania (klonowanie zwykle klonuje też wiek)
- ❖ eliminacja
 - deterministyczna – po zadanym okresie życia
 - niedeterministyczna – z prawdopodobieństwem proporcjonalnym do wieku
 - dodatkowo wysokie przystosowanie może też zapobiegać śmierci

Sztuczne systemy bazujące na modelu sieci idiotypowej

Model sieci idiotypowej



Model sieci idiotypowej

- ❖ Typowe zastosowanie:
 - systemy sterowania
 - robotyka
- ❖ Opis sił oddziaływania elementów systemu:
 - macierz dopasowania limfocytów
 - macierz siły wpływu (pobudzania i supresji) poszczególnych par limfocytów

Model sieci idiotypowej c.d.

- ❖ Zmiany koncentracji limfocytów:
 - zmiany opisane równaniami
 - różniczkowymi (dla ciągłego modelu czasu)
 - lub nie (dla czasu dyskretnego)
 - limfocyty w naturalny sposób wymierają
 - szybkość namnażania limfocytów proporcjonalna do stopnia koncentracji

Model sieci idiotypowej c.d.

- ❖ Typowy przykład zastosowania (za [3] i [4]):
 - ♦ kontrola robota
 - ♦ antygeny – fakty dotyczące środowiska
 - ♦ limfocyty – akcje robota
 - ♦ po zmianie w środowisku i krótkim okresie dostosowania systemu realizowane polecenie limfocytu o najwyższym stężeniu
 - ♦ nauka
 - ♦ reinforcement learning
 - ♦ ustalenie funkcji wypłaty niestety bywa problematyczne

Najważniejsza bibliografia

1. <http://www.ipipan.waw.pl/~stw/ais/ks/index.html>
2. Kempa A., Możliwości zastosowań sztucznych systemów immunologicznych w obszarze zarządzania wiedzą, <http://www.swo.ue.katowice.pl/content/view/289/33/>
3. Konar A., Computational Intelligence: Principles, Techniques and Applications
4. Whitbrook A., Aickelin U., Garibaldi J. (2007), Idiotypic Immune Networks in Mobile Robot Control. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part B