

Algorytmy Immunologiczne

Krzysztof Szularz

4 czerwca 2011

1 Naturalny System Immunologiczny

Inspiracją dla powstania Algorytmów Immunologicznych była obserwacja tzw. odporności swoistej naturalnego systemu immunologicznego człowieka.

Ludzkość dopiero za sprawą Ludwika Pasteura (1822 – 1895) dowiedziała się o istnieniu mikroelementów, takich jak bakterie czy wirusy. Razem z Robertem Kochem (1843 – 1910) zapoczątkowali nową naukę zwaną Immunologią.

Ta młoda nauka, licząca mniej niż 150 lat w zasadzie zdefiniowała współczesną medycynę. Nie poprzestaje jednak na tym i wdziera się w różne inne dziedziny nauki i inżynierii, zaczynając od Informatyki.

Oto kilka cech układu odpornościowego:

- Rozproszona detekcja – Proces detekcji obcych komórek nie podlega scentralizowanemu sterowaniu, dzieje się równolegle w całym organizmie za pośrednictwem krwi
- Progowa detekcja – Proces wiązania antygeny przez przeciwciała opiera się jedynie na częściowym podobieństwie obu elementów. Mechanizm ten zwiększa zdolności detekcyjne układu.
- Detekcja anomalii – układ prawidłowo identyfikuje patogeny, z którymi nigdy wcześniej nie zetknął się.
- Adaptacyjność – układ odpornościowy potrafi „nauczyć się” i „zapamiętać” patogenne struktury.
- Samoorganizacja (sieć idiotypowa) – pamięć immunologiczna tworzy sieciową strukturę, tzw. sieć idiotypową, która podlega modyfikacjom w miarę jak pojawiają się kolejne typy patogenów.
- Unikalność – układ odpornościowy każdego osobnika jest inny (co jest dobre w obrębie gatunku).

2 Sztuczny System Immunologiczny

Aby przenieść intuicje zaczerpnięte z analizy naturalnych systemów immunologicznych na świat informatyki, będziemy musieli zdefiniować problem, który chcemy rozwiązać, w kategoriach systemów immunologicznych, a następnie na tej podstawie zbudować sztuczny system immunologiczny, który problem rozwiąże.

Warstwa reprezentacji odpowiada za ubranie problemu w struktury danych. Zwykle elementy (element?) zbioru danych będą patogenami, a rozwiązanie przeciwciałami.

Przeciwciała zwykle mutują w kierunku określonym przez funkcję dopasowania. Ta może być względna (zależna od pozostałych antygenów, np. bycie najlepszym), bezwzględna (mamy stałe kryterium, np. idealną wartość cechy) lub może jej nie być w ogóle (selekcja negatywna).

2.1 Klasyfikacja

Problem klasyfikacji polega na przydzieleniu obiektu wejściowemu jakiejś klasy.

Naturalną interpretacją tego procesu w świecie sztucznych systemów immunologicznych jest odpowiedź limfocytów na kolejne rekordy zbioru przeznaczonego do klasyfikacji. W przypadku sztucznego systemu immunologicznego możemy mówić jedynie o klasyfikacji binarnej (swój, nie swój).

2.2 Optymalizacja

Tym razem z góry wiemy, że problem, który mamy do rozwiązania jest patogenem.

Rolą sztucznego systemu immunologicznego jest wyewoluować przeciwciało, które najlepiej będzie wiązało patogen. Takie przeciwciało będzie zarazem najlepszym znalezionym rozwiązaniem.

2.3 Analiza danych

Analiza danych za pomocą sztucznego systemu immunologicznego sprowadza się do "bombardowania organizmu patogenami (rekordami zbioru do przeanalizowania). Otrzymany w ten sposób stan sieci idiotypowej daje nam wiele informacji o zależnościach między rekordami.

3 Algorytmy Immunologiczne

Implementację sztucznego systemu immunologicznego inspirowanego jakimś podzbiorem cech naturalnego systemu immunologicznego, która rozwiązuje jakiś problem informatyczny nazywamy Algorytmem Immunologicznym.

3.1 Algorytm selekcji negatywnej

Algorytm selekcji negatywnej jak najprostszym z tej grupy i zarazem najszerzej wykorzystywany.

Intuicja jest taka: losujemy detektor (limfocyt). Jeśli nie rozpoznaje komórek organizmu jako obcych, dołączamy go do rozwiązania.

$O \leftarrow$ komórki organizmu
 $D \leftarrow \emptyset$

while nie masz dosyć **do**
 $d \leftarrow$ losowy detektor

for $k \in O$ **do**
 if d zjada k **then**
 $d \leftarrow \text{false}$
 break

if d **then**
 $D \leftarrow D \cup \{d\}$

W efekcie otrzymujemy zbiór detektorów wykrywających anomalie, np. przy produkcji taśmowej elementów, analizie zachowań programów (wykrywanie wirusów komputerowych przez IBM, lata 80-95).

3.2 Algorytm selekcji klonalnej

Algorytm selekcji klonalnej jest realizacją podstawowego mechanizmu systemu immunologicznego, czyli adaptacji.

Na początku losujemy populację detektorów. Najlepsze z nich mają okazję się rozmnożyć, najczęściej proporcjonalnie do dopasowania (dwa razy lepiej dopasowany z dwóch detektorów będzie miał dwa razy więcej potomków od drugiego).

Podczas rozmnażania detektorów dochodzi do hipermutacji – znacznej zmiany cech wpływającej na dopasowanie detektora do patogenu.

Nowe pokolenie ponownie podlega dopasowaniu. Najlepsze z nich zastępują obecną pulę detektorów.

Cały proces powtarzamy, aż do uzyskania satysfakcjonujących rezultatów.

$D \leftarrow$ losowy zbiór detektorów

while nie masz dosyć **do**

for $d \in D$ **do**

 zmierz dopasowanie d do problemu

$D' \leftarrow$ weź n najlepszych z D i rozmnoż

 hipermutuj D'

for $d' \in D'$ **do**

 zmierz dopasowanie d' do problemu

 zastąp m detektorów z D najlepszymi m z D'

 przeszukiwanie lokalne (opcjonalnie, ew co kilka kroków)

W najprostszej wersji zastępowanie starych detektorów nowymi następuje losowo. Nie jest to najlepsze wyjście, ponieważ możemy w ten sposób usunąć dobre rozwiązania. Nie chcemy zawsze pozostawiać przy życiu tych samych (najlepszych) detektorów, ponieważ zostawilibyśmy w minimum lokalnym.

Można wprowadzić operator, który rozwiązuje oba problemy.

Rozważmy detektor o wieku x . Jeśli jego syn jest od niego gorszy (względem funkcji dopasowania), dostaje wiek $x + 1$. Jeśli jest lepszy, dostaje nowe życie (wiek 0).

Wiek jest brany pod uwagę przy zastępowaniu starych elementów nowymi. Zależność jest prosta: im starszy detektor, tym większe prawdopodobieństwo, że zostanie zastąpiony przez nowe pokolenie.