

Artificial Immune Systems AIS

von
Dietmar Langer

Überblick :

- **Das menschliche Immunsystem**
- **Theorien des Immunsystems**
- **Modellierungsaspekte**
- **Algorithmen von AIS**
- **AIS-Entwicklung**

Das menschliche Immunsystem:

Allgemeines:

- Extrem komplexes System
- Vergleichbar mit zentralem Nerven-System
- Verteiltes System ohne zentrale Steuerung
- Es besteht aus einigen Organen
- Aus vielen Millionen freien Zellen/Molekülen
- Botenstoffen (Kommunikation)
- Spezifisches oder adaptives Immunsystem ist von Interesse

Das menschliche Immunsystem:

Das Kern-Paradigma:

- Das Immunsystem muss als erstes erkennen, dass es sich um eine gefährliche/fremde oder eigene/ungefährliche Substanz handelt.

Self / Non-Self
Discrimination

- Danach kann dementsprechend darauf mit Abwehrmechanismen reagiert werden.

Das menschliche Immunsystem:

Antikörper:

- Das Immunsystem kennt zukünftige Antigene nicht aber das Immunsystem “kennt” das Selbst
- **Negative Selektion** wird angewandt (binden an Self)
- Ein Antigen besitzt Bindungsstellen = **Epitop**
- Durch diese können sie an Epitope der Antigene andocken -> **“Dockingproblem”**
- Das Immunsystem muss nun für jedes Epitop einen passenden Antikörper herstellen -> **Adaptivität**

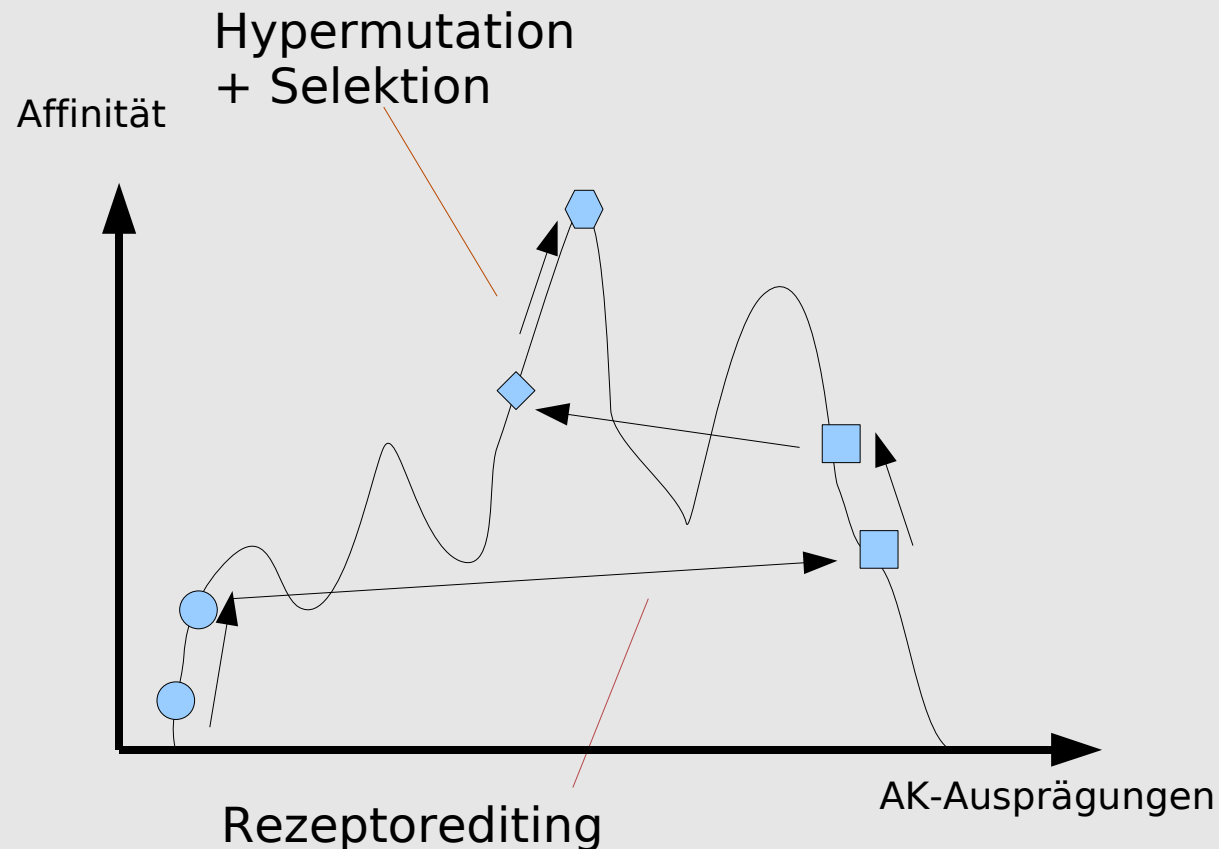
Das menschliche Immunsystem:

Die Expansion:

- Klon Selektions Theorie
- Tritt auf wenn Antigen in Körper eindringt
- Passender Antikörper muss vervielfältigt werden
- Das Antigen wählt jene Zellen aus, deren Nachfahren bzw. Klone es später vernichten werden
- Danach werden einige Zellen langlebige Gedächtniszellen

Das menschliche Immunsystem:

Die Optimierung/Adaption:



Das menschliche Immunsystem:

Die Zusammenfassung:

- Diversität durch Somatische Rekombination
- Self/Non-Self durch Test am eigenen Organismus
- Gedächtnis durch B-Gedächtnis Zellen
- Optimierung durch CST
 - Rezeptor Selektion
 - Mutation und Selektion bei Expansion
 - B-Gedächtnis Zellen

Modellierung von AIS:

Allgemeines:

- Erstmals wurde ein Artificial Immune Systems in Bezug auf “computational intelligence” 1986 veröffentlicht
- -> Lernen, Gedächtnis und Mustererkennung
- Von J. D. Farmer, N. H. Packard & Alan S. Perelson
- Am Los Alamos National Laboratory
- Veröffentlicht in: Physica/Holland

Modellierung von AIS:

Motivation von AIS:

- Selbstorganisation
- Lernfähigkeit
- Adaptionfähigkeit
- Klassifikationsfähigkeit

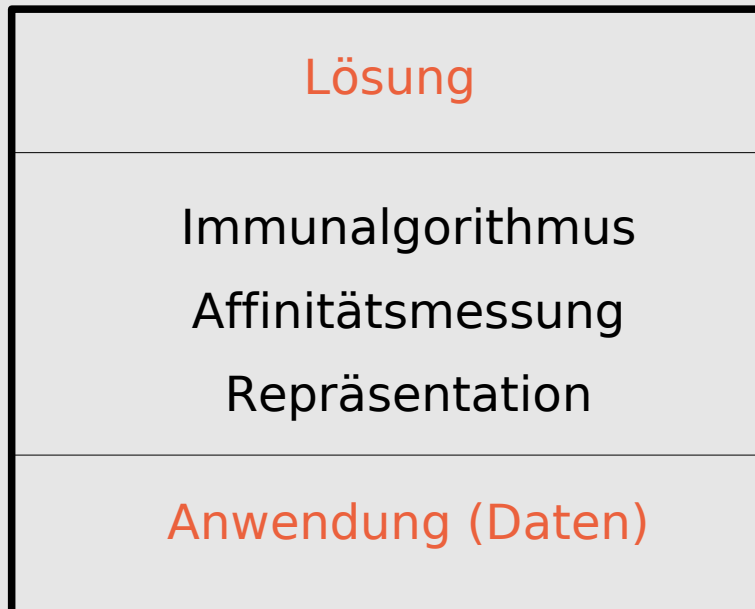
Modellierung von AIS:

Klassischer Anwendungsbereich:

- Mustererkennung
- Klassifikation von Daten
- Scheduling
- Robotik and Steuerung
- Maschinelles Lernen
- Such- und Optimierungsmethoden

Modellierung von AIS:

Schichtenmodell für AIS:



Anwendungs Bsp.

Klon-Selektionsalgorithmus

Hamming Distanz

Antikörper

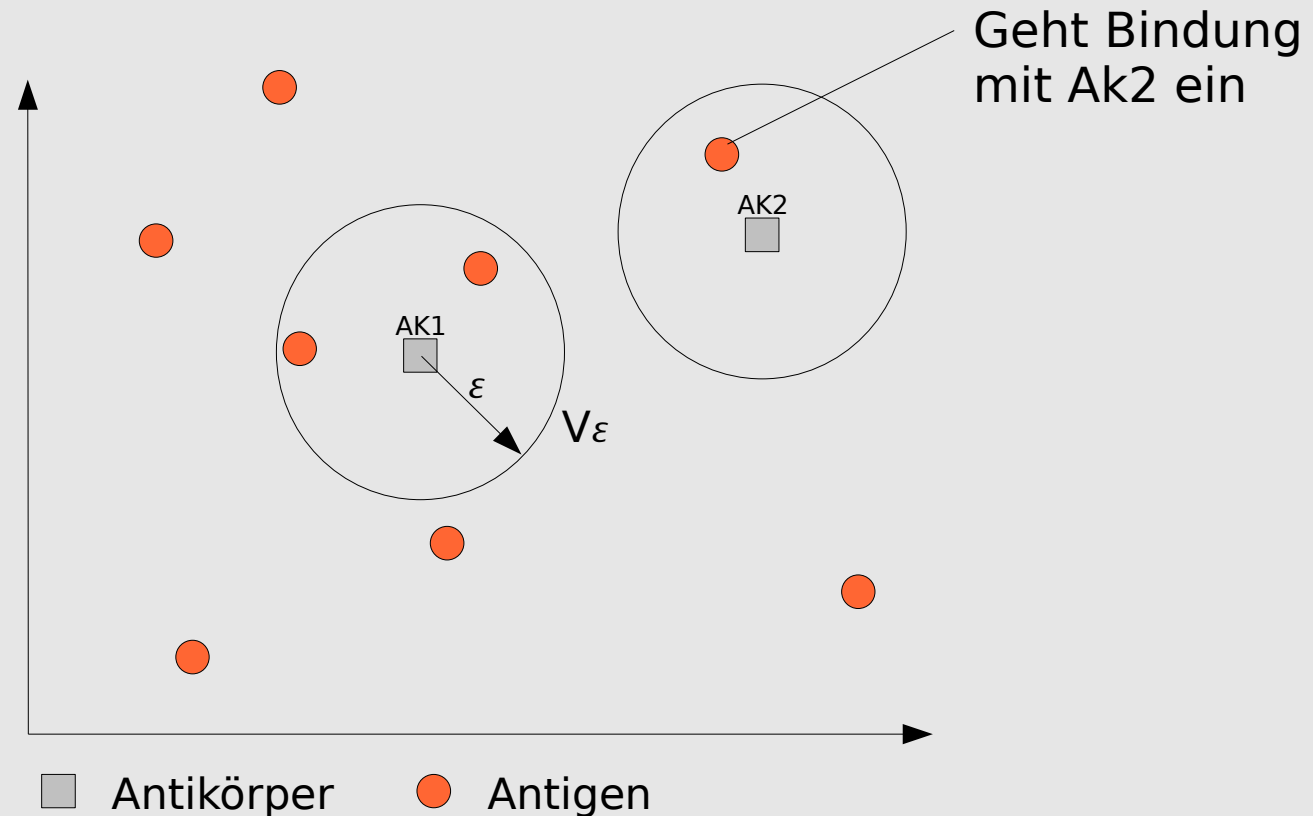
Modellierung von AIS:

Shape Space:

- Abstraktes Modell von Immunzellen
- Beschreibt Interaktion von Antikörpern und Antigenen
- Zentrale Frage: Wieviel Antikörper braucht man?
- Ist ein Mustererkennungsmodell für Formen (shapes)
- Entspricht in etwa einem Lösungsraum

Modellierung von AIS:

Shape Space:



Modellierung von AIS:

Affinitätsberechnung:

- Diskreten Shape Space:
 - Affinität = Hammingdistanz
- Realwertiger Shape Space:
 - Affinität = Euklidische Distanz
 - Affinität = Manhattan Distanz

Modellierung von AIS:

Shape Space:

- Zentrales Modell für Antikörper-Antigen Reaktion
- Liegt allen AIS-Modellen in einer Form zugrunde
- Antikörper (Output) liegt im gl. Raum wie Antigene (Input)

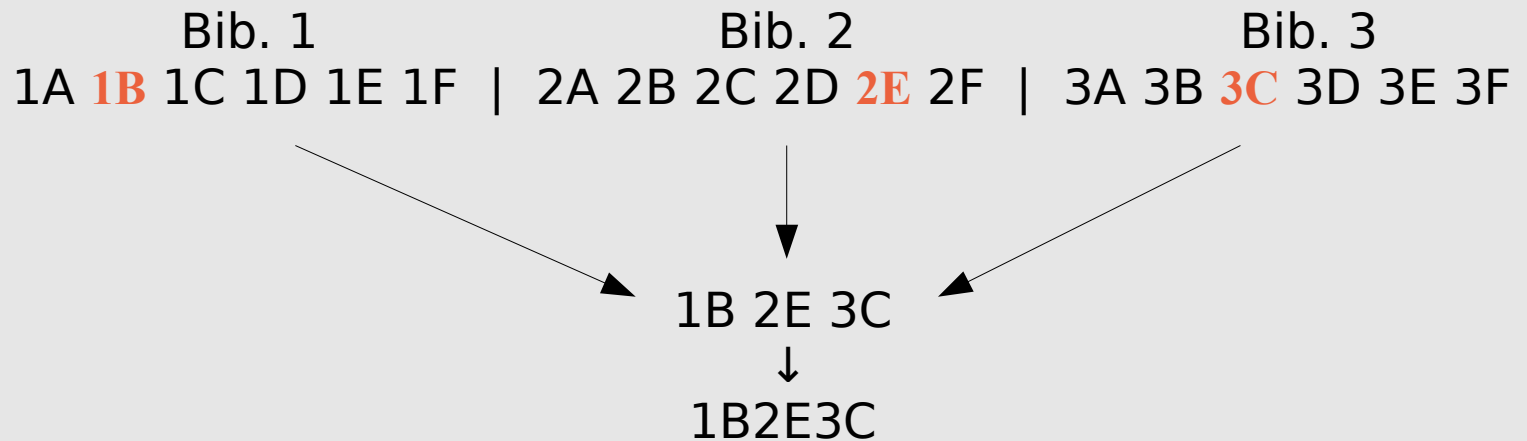
Algorithmen von AIS:

Algorithmen:

- Knochenmark-Algorithmen
- Thymus-Algorithmen
- Klon-Selektions Algorithmen
- Immunologische Netzwerk Algorithmen

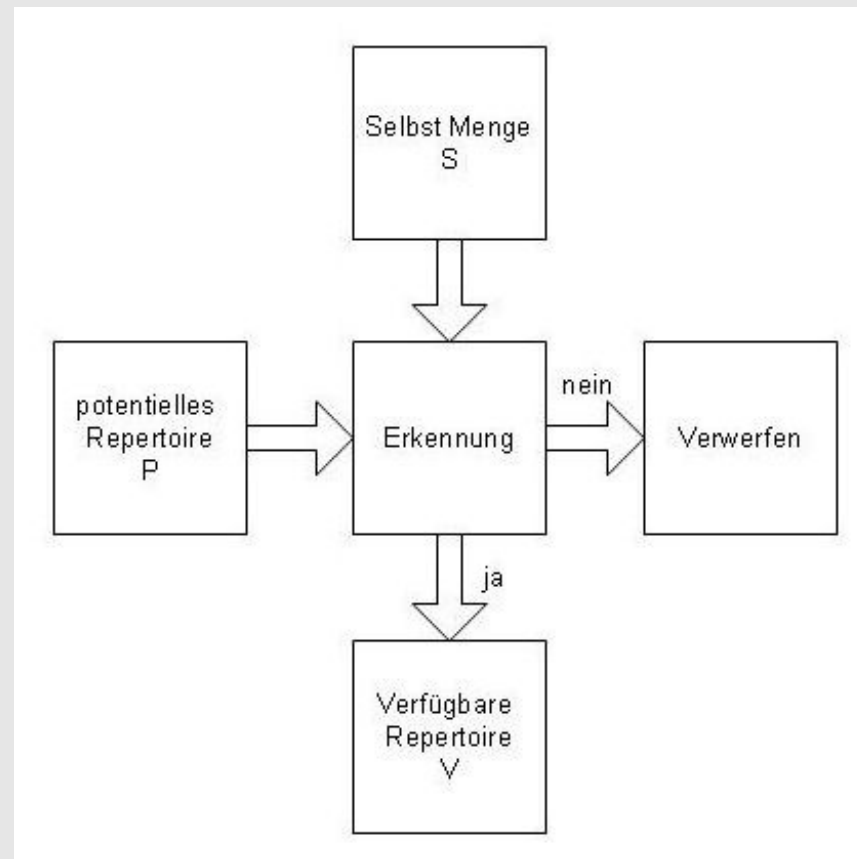
Algorithmen von AIS:

Knochenmark-Algorithmen:



Algorithmen von AIS:

Thymus-Algorithmen (positiv selektierend):



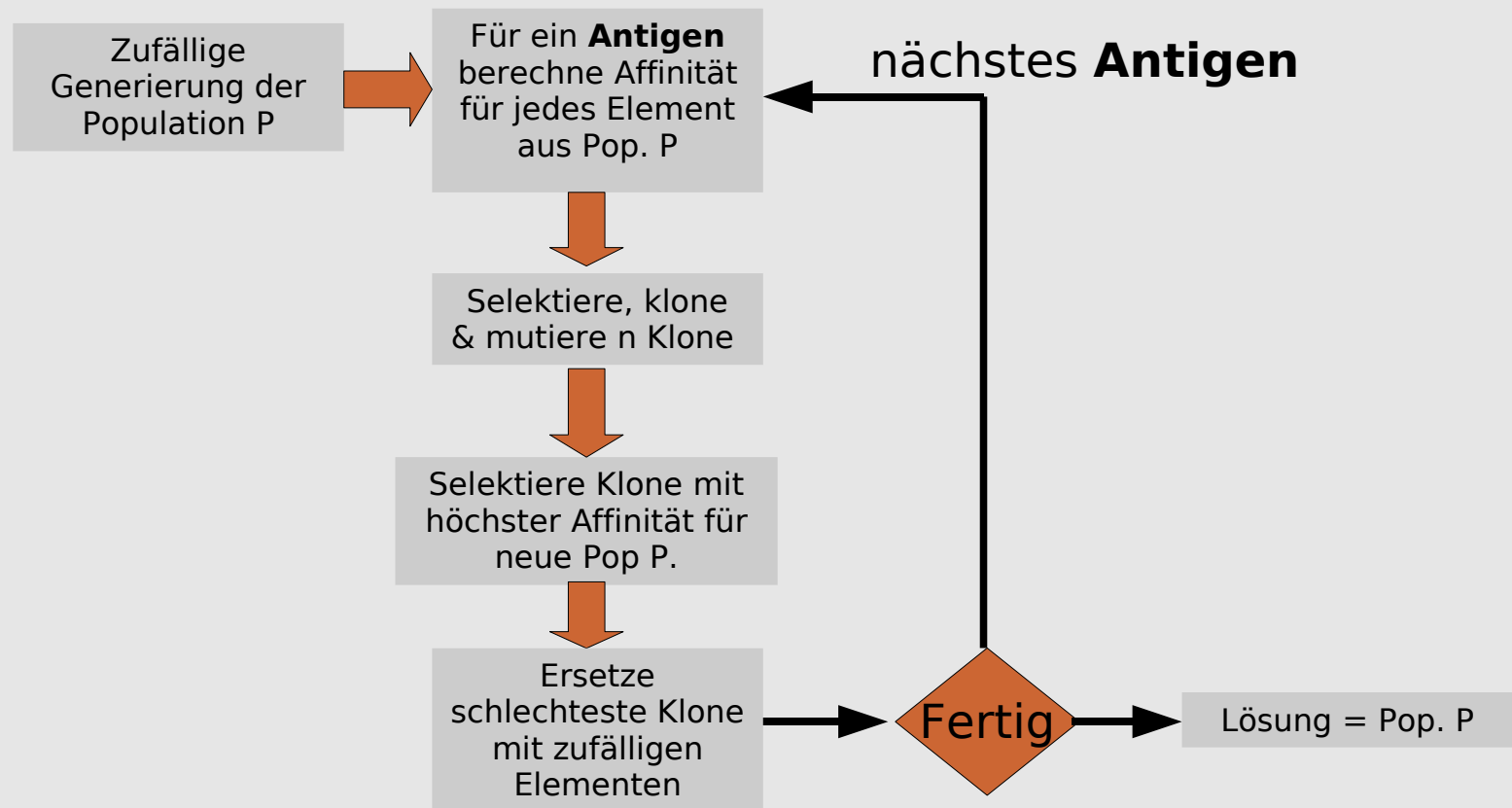
Algorithmen von AIS:

Klon-Selektions Algorithmen:

- Besitzen eine vom Antigen geleitete Optimierungsheuristik
- Die Vervielfältigungsrate der Immunzellen ist proportional zu der Affinität: Je höher die Affinität desto mehr Klone werden erzeugt (=Nachkomme) und vice versa
- Die Mutation ist invers proportional zur Affinität: Je höher die Affinität desto geringer die Mutation und vice versa

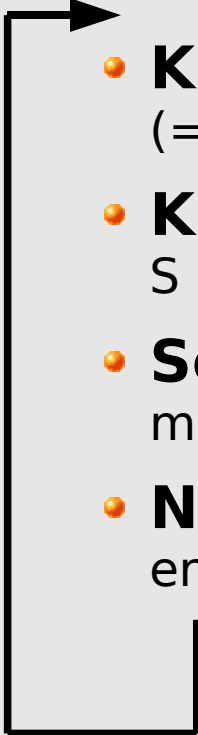
Algorithmen von AIS:

Klon-Selektions Algorithmen:



Algorithmen von AIS:

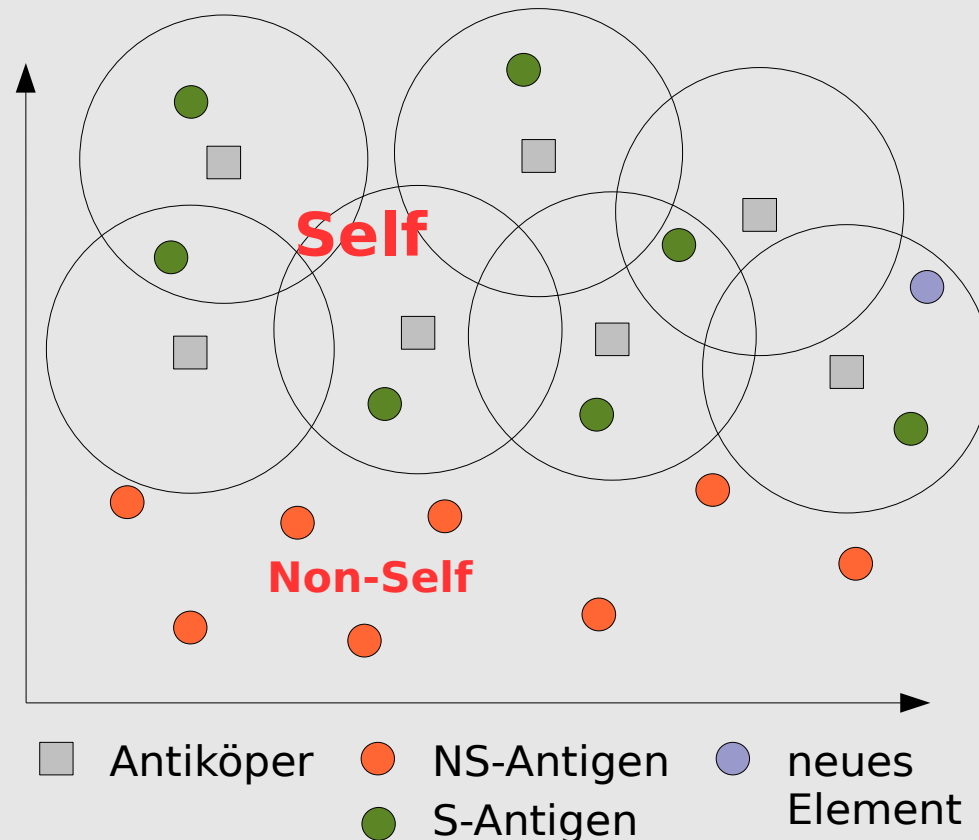
Immunologische Netzwerk Algorithmen:

- **Initialisierung:** Menge von Antikörper als Submenge der Self-Antigene erzeugen
 - **Klonale Selektion:** Stimulus S für alle Antikörper bestimmen (=Summierte Bindungswerte: Self: +1 NonSelf: -1)
 - **Klonale Expansion:** Ak. prop. zu S selektieren & Ak. prop. zu S klonieren
 - **Somatische Hypermutation:** Klone invers prop. zu S mutieren
 - **Netzwerkkonstruktion:** Füge Klone in Population ein oder erzeuge eine neue Population aus Klone
- 

Algorithmen von AIS:

2-Klassen Klassifikation:

2 dimensionaler Shape-Space:



Entwicklung eines AIS:

Allgemeines:

- Diskreter Klassifizierer
- Ziel: Minimierung der Distanz (Gleichheit)
- Immer 2 Klassen: Self/NonSelf
- Antikörper werden als eine Submenge der Self-Antigene initialisiert
- Jeder Antikörper besitzt einen veränderbaren Aktivierungsschwellwert

Entwicklung eines AIS:

Allgemeines:

- Tournament Selektion
- Ak. mit höchster Aff. wird an einer Stelle mutiert
- Schlechtester an allen Stellen
- Bindungswert ist abhängig von der Abdeckung des Antigens durch andere Antikörper
- Test mit "Wisconsin Breast Cancer" Datensatz
- Laufzeit ~3min. mit ~50 Antikörpern
- 99,5% Vorhersagegenauigkeit bei 15-fach Kreuzvalidierung

Entwicklung eines AIS:

Algorithmus:

- Generiere eine bestimmte Menge von Antikörpern als Untermenge der Self-Antigene mit zufälligem Aktivierungsschwellwert.
- Bestimme für jedes Antigen die Abdeckung durch die Antikörper.
- Bestimme für jeden Antikörper die Affinität mit den Antigenen und summiere die Bindungswerte zu dem Stimulierungswert.
- -----
- Selektiere mittels Tournament-Selektion auf Basis des Stimulierungswertes eine gleich große Population P_{tmp} .
- Mutiere jeden Antikörper aus P_{tmp} invers proportional zu seinem Stimulierungswert.
- Bestimme den Stimulierungswert für jeden Antikörper aus P_{tmp} .

Entwicklung eines AIS:

Algorithmus:

- Füge die mutierte Antikörpermenge P_{tmp} zur ursprünglichen Population hinzu.
- Generiere eine bestimmte Menge von Antikörpern als Untermenge der Self-Antigene mit zufälligem Aktivierungsschwellwert.
- Bestimme den Stimulierungswert für jeden Antikörper aus der neu generierten Menge.
- Füge diese neue Menge von Antikörpern der ursprünglichen Menge hinzu.
- Lösche 2/3 der schlechtesten Individuen, sodass die anfängliche Anzahl an Antikörpern übrig bleibt.
- Beginne von vorne mit der Tournament-Selektion.

Das war

Artificial Immune Systems

AIS

by
Dietmar Langer