

FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS PARA USO DOS ALGORITMOS ORIUNDOS DE SISTEMAS IMUNOLÓGICOS ARTIFICIAIS NO MATLAB®

Raphaela CARVALHO (1); Rhaisa TAVARES (2); Cleonilson PROTÁSIO (3) Marcus BERGER (4); Helton NASCIMENTO (5)

CEFET-MA, Av. Getúlio Vargas, Nº 4 Monte Castelo. São Luís-MA. CEP: 65030-000

(1) rap_aelacarvalho@yahoo.com.br; (2) rhaisastavares@yahoo.com.br; (3) protasio@cefet-ma.br;

(4) marberger@gmail.com, (5) helton@dee.cefet-ma.br

RESUMO

Sistemas Imunológicos Artificiais é um promissor campo da Inteligência Artificial inspirado nos Sistemas Imunológicos biológicos para reproduzir computacionalmente suas principais características, propriedades e habilidades. Uma das ferramentas extraídas dos Sistemas Imunológicos Artificiais é o Algoritmo de Seleção Negativa. A idéia base deste algoritmo consiste em gerar um conjunto de detectores a partir de candidatos escolhidos aleatoriamente e descartar aqueles que reconhecem dados próprios ao sistema monitorado. Os detectores não descartados são utilizados para detectar praticamente qualquer elemento não-próprio, i.e., uma modificação ou erro do sistema que se quer monitorar. Com a habilidade de detecção de elementos não-próprios, os Sistemas Imunológicos Artificiais demonstram ser uma ferramenta capaz de detectar previamente um comportamento anômalo de sistemas. Nesta pesquisa faz-se uso do MATLAB®, que é tanto uma linguagem de programação quanto um ambiente de computação técnica. Nesse sentido foram desenvolvidas ferramentas para utilização do Algoritmo de Seleção Negativa em MATLAB®, tais como as funções: *matching*, *generation* e *monitoring* que realizam as principais etapas do algoritmo, como a comparação entre dados, a geração de detectores e o monitoramento de erro. A partir do desenvolvimento de tais funções pode-se desenvolver um ambiente onde sistemas possam ser testados quanto a alterações em seu funcionamento.

Palavras-chave: Sistemas Imunológicos Artificiais, Seleção Negativa, MATLAB®

1. INTRODUÇÃO

A detecção de falhas em processos industriais, sistemas de distribuição, subestações, entre outros, é uma maneira de evitar danos a equipamentos, acidentes pessoais e sinistros, representando, se bem implementado, ganhos em produtividade, segurança e eficiência. Sistemas de detecção automática de falhas podem ser utilizados em diversas situações dentro do ambiente industrial, onde a ocorrência de falhas possa comprometer o funcionamento de algum processo. Algumas aplicações típicas compreendem a detecção de falhas em sistemas de potência, em sensores e em equipamentos industriais rotativos como, por exemplo, motores elétricos.

Algumas técnicas de detecção de falhas são baseadas em séries de dados obtidos no tempo, análise espectral e identificação de modelos (DASGUPTA, 1999) em que pela análise dessas séries pode-se detectar e diagnosticar possíveis falhas.

Nesse contexto, está surgindo uma nova ferramenta computacional inteligente que tem como um de seus princípios fundamentais a detecção prévia de anomalias em sistemas, os Sistemas Imunológicos Artificiais (SOUZA, 2005). Os algoritmos oriundos dos Sistemas Imunológicos Artificiais (SIA) são inspirados no sistema imunológico humano por possuir capacidade de detecção e proteção do organismo contra agentes patogênicos e possuem características relevantes tais como: unicidade, aprendizagem, memória e detecção de anomalias.

Uma das mais importantes ferramentas extraídas de SIA é o Algoritmo de Seleção Negativa (ASN) por sua eficiente aplicação em automonitoramento de erros (HOFMEYR, 2000). Este algoritmo é inspirado no mecanismo utilizado pelo sistema imunológico humano para treinar células do tipo T para o reconhecimento de células próprias e não-próprias ao corpo.

Assim, neste artigo é descrita a construção das funções, implementadas em MATLAB®, que realizam as principais etapas do algoritmo, no intuito de fornecer de maneira rápida e eficiente as ferramentas necessárias para o desenvolvimento de novas aplicações do ASN.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Sistemas Imunológicos

O sistema imunológico compreende todos os mecanismos de proteção do organismo contra agentes patogênicos, tais como bactérias, vírus e moléculas estranhas. Uma das principais finalidades desse sistema é reconhecer todas as células dentro do corpo e classificá-las como próprias ou não-próprias.

Existem dois tipos principais de mecanismos de defesa: o **inato** e o **adquirido** (ou específico, ou ainda adaptativo). Quando o organismo é invadido por um agente patogênico, o sistema inato é o primeiro a ser acionado. Em muitos casos, essa resposta protege por si só o organismo. Caso isso não aconteça, o sistema adaptativo é acionado. Como esta ação é mais específica, a resposta torna-se mais eficaz (AMARAL, 2006).

Entre as células do sistema imunológico, encontramos os linfócitos ou glóbulos brancos que podem ser de dois tipos: T e B. As células do **tipo B** são produzidas na medula óssea e se responsabilizam pela **imunidade humoral**, atuando na produção de anticorpos e no combate contra organismos extracelulares. Estas células são capazes de identificar agentes estranhos através da detecção de antígenos presentes na superfície desses agentes e destruí-los.

Já as células do **tipo T** são maturadas no Timo ainda na vida fetal e durante a infância. Essas células são responsáveis pela **imunidade celular** e pelo processo de discriminação próprio e não-próprio, ou seja, reconhecer se uma célula é própria ao organismo ou não. Durante o período de maturação, as células T passam por um processo de seleção genético-aleatório, denominado **seleção negativa**, como pode ser visto na Figura 1, no qual ocorre a eliminação das células T, que têm na sua superfície epítetos que reagem com os auto-antígenos presentes nas células próprias do corpo. Após esse processo, somente as células T que não casam com nenhuma célula do corpo são permitidas deixar o Timo e circular pelo organismo com a capacidade de detectar, caso haja, qualquer mudança em seu funcionamento. O processo de reconhecimento é então: como essas células T maturadas não casam com nenhuma célula própria ao organismo, então é altamente provável que elas casem com células fora do conjunto das próprias, ou seja, as não-próprias.

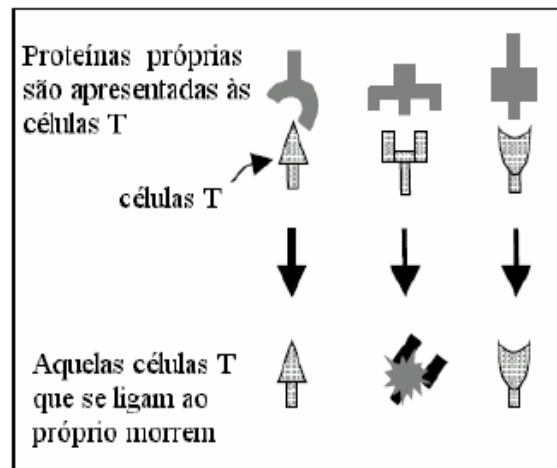


Figura 1. Maturação das células T

Com essa habilidade de detecção de células não-próprias, o sistema imunológico aparenta ser uma adequada fonte de inspiração para o desenvolvimento de algoritmos de detecção de comportamento anômalo em sistemas.

2.2 Algoritmo de Seleção Negativa (ASN)

Baseado no processo de maturação das células T, esse algoritmo funciona de forma similar ao processo de discriminação do próprio e não-próprio do corpo. De acordo com Souza (2005), primeiramente é gerado aleatoriamente um conjunto de candidatos a detectores (células T) e, em seguida, eliminam-se os que casam com os elementos denominados de próprios do sistema a ser monitorado ou protegido contra mudanças. Os candidatos não-eliminados são então potenciais detectores.

Após este processo de geração de detectores, passa-se ao processo de monitoramento em que estes detectores são utilizados para na detecção de praticamente qualquer elemento não-próprio do sistema.

O ASN é composto de três fases, descritas a seguir:

a) Definição dos dados a serem protegidos

Definem-se como elementos próprios do sistema n vetores \mathbf{P}_i ($1 \leq i \leq n$) formadores do conjunto P , que serão monitorados contra ocorrência de erros.

$$P = \{\mathbf{P}_1, \mathbf{P}_2, \mathbf{P}_3, \dots, \mathbf{P}_n\}$$

b) Geração de detectores

Os candidatos a detectores são gerados aleatoriamente e testados individualmente para verificar se casam com algum vetor de P . Se houver casamento, o candidato é rejeitado. Esse processo é repetido até que um conjunto D desejado de detectores seja alcançado, como pode ser visto na Figura 2.

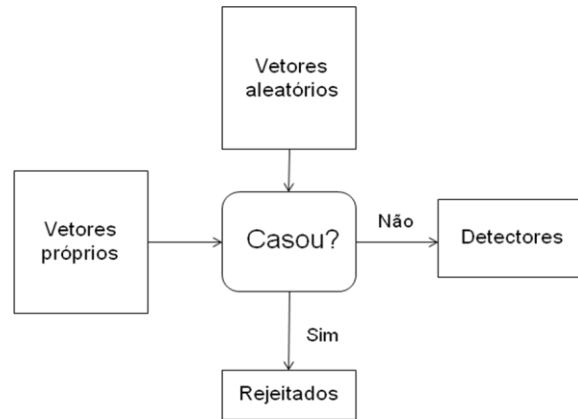


Figura 2. Geração de detectores

Para verificar se um candidato casa com um vetor próprio, é utilizado critérios de casamento parcial. Um exemplo de casamento parcial é: dois vetores casam se, e somente se, eles forem iguais em pelo menos r posições, onde r é um parâmetro escolhido.

A maior limitação na geração de detectores válidos é a dificuldade computacional em gerá-los, pois com o aumento no número de elementos em P o número de detectores que não casam cresce consideravelmente.

O Algoritmo de Seleção Negativa propõe-se a gerar detectores que não casem com os vetores próprios, e case com qualquer vetor não-próprio com alta probabilidade. A solução para esse algoritmo é interessante por que o sistema não procura por padrões específicos de erro, ele detecta qualquer atividade estranha.

c) Monitoramento de erro

Supondo que o conjunto de vetores próprios seja passível de ocorrência de erros, para saber se uma falha ocorreu, verifica-se continuamente se os detectores D casam com algum vetor de P de acordo com o critério de casamento e parâmetro r escolhidos. Se algum detector em algum momento casar com qualquer elemento de P , então um erro ocorreu, como pode ser visto na Figura 3.

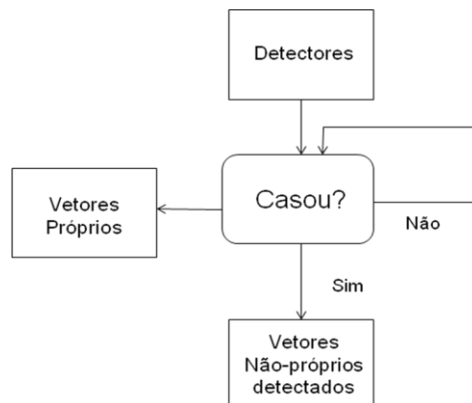


Figura 3. Monitoramento de erro

2.3 Critério de Casamento Parcial

No ASN são utilizados critérios de casamento parcial, pois um casamento completo implica que cada elemento de um vetor casa exatamente com o do detector. Dois critérios de casamento parcial são os mais comuns em sistemas de monitoramento de erros: **r-contínuos** e **r-Hamming**.

2.3.1 Critério de Casamento r-contínuos

Consiste em verificar se dois vetores de comprimentos iguais casam em pelo menos r posições de forma contínua. Suponha que dois vetores binários **A** e **B** de comprimentos iguais sejam dados. Por exemplo, os vetores abaixo casam para qualquer $r \leq 4$ usando critério de casamento r-contínuos.

A: [0 0 1 0 0 0 0 1 0 1]

B: [0 0 1 1 0 1 0 1 0 1]

2.3.2 Critério de Casamento r-Hamming

Consiste em verificar se dois vetores de comprimentos iguais casam em pelo menos r posições correspondentes, mas não necessariamente de forma contínua. Suponha que dois vetores binários **C** e **D** sejam dados como abaixo. Esses vetores casam para qualquer $r \leq 6$ usando o critério de casamento r-hamming.

C: [0 1 1 1 0 0 0 1 0 1]

D: [0 0 1 1 0 1 0 1 0 0]

Quando o alfabeto real for utilizado, é necessário que mais uma variável, o desvio, seja estabelecida para realizar o casamento entre vetores.

Definindo o desvio igual a 0.2 e considerando dois vetores **E** e **F**, como mostrados abaixo. Esses vetores casam para qualquer $r \leq 3$, estabelecido critério r-Hamming de casamento.

E: [1.2 0.5 1.8 0.95 2.0]

F: [1.4 1.0 2.3 0.76 2.1]

3. IMPLEMENTAÇÃO DAS FUNÇÕES DO ASN EM MATLAB

Para o desenvolvimento do algoritmo de seleção negativa em MATLAB foi necessário o levantamento bibliográfico sobre detecção de falhas, sobre aplicações de técnicas em inteligência computacional e um estudo aprofundado sobre Sistemas Imunológicos Artificiais, além da familiarização com o próprio software. Em seguida, utilizou-se a plataforma MATLAB® para desenvolver os processos de geração e de monitoramento base do ASN, além dos métodos de casamento parcial.

As funções desenvolvidas foram designadas de *matching*, *generation* e *monitoring*, respectivamente, operacionalizando os critérios de casamento parcial, a geração de detectores e o monitoramento de erros.

A função *matching* é responsável por realizar a comparação entre dois vetores de tamanhos iguais, considerando um critério de casamento parcial e o parâmetro requerido, além de outros argumentos, como tipo de alfabeto, isto é, se trabalhará como números **binários** ou **reais**.

A função *generation* é capaz de gerar o conjunto D detectores, e armazená-los em um formato de arquivo de extensão *.txt ou mesmo *.mat.

A função *monitoring* é então responsável pelo monitoramento e detecção de qualquer alteração que venha a ocorrer no conjunto de próprios. O critério de casamento e o parâmetro utilizado nesta fase devem ser iguais aos da fase de geração.

3.1. Exemplos de Aplicações

Na primeira fase escolheram-se os dados próprios, aqueles a serem protegidos, em seguida, geraram-se candidatos a detectores, vetores aleatórios. Fez-se a comparação entre vetores de acordo com o critério de casamento e parâmetro especificados e gerou-se um conjunto de detectores.

Para a fase de monitoramento do vetor próprio foi utilizado esse conjunto de detectores. Para verificar a capacidade de detecção de falhas inseriu-se uma mudança intencional nos valores do vetor próprio, em seguida, fez-se o teste.

Exemplo 1: Considerando o vetor $P = [(0\ 1\ 0\ 1), (1\ 0\ \underline{0}\ 0), (1\ 1\ 1\ 0), (1\ 1\ 0\ 1)]$, em alfabeto binário, como os dados a serem protegidos contra alterações e utilizando o critério de casamento r-contínuos com parâmetro $r = 4$, gerou-se um conjunto de detectores $D = [(1\ 0\ 1\ 0), (0\ 0\ 1\ 1)]$

Para fazer o monitoramento de erro, inseriu-se uma mudança no conjunto próprio, sendo agora $P = [(0\ 1\ 0\ 1), (1\ 0\ \underline{1}\ 0), (1\ 1\ 1\ 0), (1\ 1\ 0\ 1)]$.

Comparando-se os detectores gerados com o vetor próprio, verificou-se que para a alteração ocorrida em P , o detector $D_1 = [1\ 0\ 1\ 0]$ foi acionado, demonstrando que ocorreu um erro.

Exemplo 2: Considerando o vetor $P = [(1.1\ 1.3\ 1.5\ 1.8\ 0.4), (0.5\ 3.2\ 1.5\ 1.0\ 0.8), (2.8\ 1.3\ \underline{1.6}\ 1.1\ 1.0)]$, em alfabeto real, como os dados a serem protegidos contra alterações, utilizando o critério de casamento r-Hamming com parâmetro $r=3$ e desvio=0.3, gerou-se um conjunto de detectores $D = [(2.7311\ 1.4676\ 0.2468\ 0.0362\ 0.6088), (1.6466\ 1.1533\ 0.8918\ 1.2083\ 2.5992), (1.5689\ 2.3230\ 1.5288\ 3.1813\ 0.4937)]$

Para fazer o monitoramento de erro, inseriu-se uma mudança no conjunto próprio, sendo agora $P = [(1.1\ 1.3\ 1.5\ 1.8\ 0.4), (0.5\ 3.2\ 1.5\ 1.0\ 0.8), (2.8\ 1.3\ \underline{1.0}\ 1.1\ 1.0)]$.

Comparando-se os detectores gerados com o vetor próprio, verificou-se que para a alteração ocorrida em P , o detector $D_2 = [1.6466\ 1.1533\ 0.8918\ 1.2083\ 2.5992]$ foi acionado, demonstrando que ocorreu um erro.

4. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi descrito os conceitos fundamentais em Sistema Imunológicos Artificiais, suas aplicações e uma de suas principais ferramentas: algoritmo de Seleção Negativa. Em seguida foi descrito detalhadamente os processos necessários para se executar o algoritmo de Seleção Negativa. Estes processos então foram implementados em termos de funções na plataforma MATLAB®. Com isso, para o desenvolvimento de novas aplicações do algoritmo de Seleção Negativa pode-se usar de imediato estas funções em um ambiente eficiente e conhecido mundialmente com o MATLAB®.

REFERÊNCIAS

SOUZA, C. P. **Uma arquitetura autotestável para circuitos digitais baseada no algoritmo de Berlekamp-Massey e em Sistemas Imunológicos Artificiais**; Orientadores: Francisco Marcos de Assis e Raimundo Carlos Silvério Freire. Universidade Federal de Campina Grande. 2005.

SOUZA, C. P.; Assis, F. M.; Freire, R. C. S. **A BIST scheme based on self-nonsel discrimination of immune system**. In: 2004 IEEE Signal Processing Society Workshop. , 2004. p.765 - 774, São Luís.

DASGUPTA, D.; ATTOH-OKINE, N.. Immunity-based systems: a survey. In: IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, vol. 1, pp. 369-374, 1997.

MATSUMOTO, E. Y. **Matlab 7: Fundamentos**. Ed. ERICA, 2004.

AMARAL, J. L. M. **Sistemas imunológicos artificiais aplicados à detecção de falhas**; Orientador: R. Tanscheit. Rio de Janeiro. PUC, Departamento de Engenharia Elétrica, 2006.

HOFMEYER, S.A. e FORREST, S.A. 2000. Architecture for an articial immune system. **Evol. Comput.** 8, 4, Dezembro de 2000.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Maranhão (FAPEMA) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelas bolsas de iniciação científica.