

基于人工免疫系统的导弹智能诊断模型

郭小生^{1,2,3}, 杨建华^{1,2}

(1. 浙江大学 计算机科学与技术学院, 浙江 杭州 310027; 2. 浙江大学 网格计算研究中心, 浙江 杭州 310027;
3. 云南楚雄 96213 部队, 云南 楚雄 675000)
(gxs96213@163.com)

摘 要:提出了基于人工免疫系统的导弹智能诊断技术的概念,研究了故障诊断细胞模型、故障诊断基因库模型,并对故障基因库的生成与进化和基于人工免疫系统的智能诊断原理进行了探讨。

关键词:人工免疫系统;导弹;智能诊断

中图分类号:TP18 **文献标识码:**A

Intellectualized diagnosis model for the missile fault based on artificial immune system

GUO Xiao-sheng^{1,2,3}, YANG Jian-hua^{1,2}

(1. College of Computer Science and Technology, Zhejiang University, Hangzhou Zhejiang 310027, China;
2. Grid Calculate Research Center, Zhejiang University, Hangzhou Zhejiang 310027, China;
3. Unit 96213 of PLA, Chuxiong Yunnan, 675000, China)

Abstract: A conception of missile intelligent fault diagnosis technology based on artificial immune system was presented, the fault diagnosis cell model and the fault diagnosis gene model were analyzed. How to create and evolve the fault diagnosis gene model was introduced, and the intelligent fault diagnosis principle based on artificial immune system was discussed.

Key words: artificial immune system; missile; intellectualized diagnosis

0 引言

导弹武器系统是一个大型复杂系统,其故障表现具有耦合性、层次性和关联性等特点,使得对导弹故障的诊断与分析较为困难,为了对导弹武器系统各运行设备进行快速准确的故障定位和分离,研究具有自动故障发现、辅助故障诊断的导弹武器故障诊断技术就尤为必要。

目前,国内在导弹故障诊断领域做了很多研究。文献[1]提出了基于系统辨识的小波分析的诊断方法,对导弹一级变放的故障诊断进行了研究。该方法以某个准则在模型类中选择一个与被辨识系统的观测数据拟合得最好的模型,利用小波分析方法对故障幅相曲线进行分析,从而对故障进行定位。文献[2]利用基于神经网络的技术对某导弹的姿态控制系统的故障诊断进行了研究。文献[3]提出了基于神经网络和专家系统的混合故障诊断方法,研究了导弹武器系统部件与系统存在的耦合作用而引起的复杂导弹故障的诊断。上述方法和模型对导弹分系统或导弹全武器系统的故障诊断进行了研究,然而在导弹武器系统多故障同时出现时的故障检测诊断能力没有进行讨论,其故障检测诊断能力仍有不足。

为此,提出了基于人工免疫系统的智能诊断模型。基于免疫原理的免疫识别、免疫学习和免疫记忆在导弹武器系统的故障诊断中有着独特的特性,能够较好地解决上述方法存在的不足,是导弹武器系统等大型复杂系统故障诊断的一个较好的方法,人工免疫网络等其他一些软计算理论在故障诊断领域的应用研究将是故障诊断技术研究的发展趋势^[4]。

1 自然免疫机理

自然免疫系统的免疫细胞主要包括由骨髓产生的 B 细胞和 T 细胞。B 细胞的主要功能是产生抗体,且每个 B 细胞只产生一种抗体;T 细胞的主要功能是调节其他细胞的活动或直接攻击抗原。B 细胞和 T 细胞共同作用并相互影响和控制对方功能。免疫系统的智能性主要体现在以下三个方面^[5]:

(1) 抗原识别:某种抗原首次入侵免疫系统后,免疫系统对抗原的初次识别称为初次免疫应答。当 B 细胞探测到抗原后,其中一部分 B 细胞转化为浆细胞,产生与抗原相应的抗体,抗体通过其表面的抗体决定基和抗原表面的抗原决定基之间模式互补的匹配度对抗原进行识别,匹配度越高,识别效果越好。

(2) 免疫学习:主要通过克隆选择机制进行。B 细胞可产生不同的抗体,能够识别抗原的抗体进行分裂增生,并大量进行克隆,这些克隆细胞存活下来并成长,而不能识别抗原的克隆细胞将会死亡。

(3) 免疫记忆:在初次免疫应答中,部分没有转化为浆细胞的 B 细胞成为记忆细胞,并学习记忆了抗原的特征,当同类抗原再次侵入时,就会对免疫记忆产生刺激作用,与抗原对应的 B 细胞和抗体数量迅速增加,从而快速消灭抗原。因此,自然免疫系统是一个自组织、自学习、分布式的动态信息处理系统。基于自然免疫机理的人工免疫系统在机器学习、模式识别、海量数据处理、计算机入侵检测及故障诊断^[6~8]等方面已显示出其特有的优势。

收稿日期:2005-06-23;修订日期:2005-09-05 基金项目:航天支撑技术基金资助项目(2003-2.07-ZD02)

作者简介:郭小生(1973-),男,山西长治人,工程师,硕士研究生,主要研究方向:人工智能、故障诊断; 杨建华(1973-),男,浙江台州人,讲师,博士,主要研究方向:人工智能、网络计算。

2 基于人工免疫网络的导弹智能诊断模型

在模型中,类似于自然免疫系统,故障基因库生成故障检测细胞(抗体),并对其进行变异和克隆,故障信号(抗原)入侵故障基因库(检测器)后,抗原对每一个抗体进行亲合度计算(故障匹配度计算),选取 n 个亲合度最高的抗体进行变异(故障基因间的融合),得到新抗体后,计算新抗体与抗原的亲合度,从中选 N 个亲合度高的新抗体加入故障基因库(自学习、优化基因库),而亲合度最高的抗体将作为故障诊断结果输出。

亲合度的定义如下:

$$(A_g)_k = \frac{1}{1 + t_k} \quad (1)$$

其中 $(A_g)_k$ 是抗原和抗体之间的亲合度, t_k 是抗原和抗体 k 的结合强度, $(A_g)_{k \in (0,1)}$, $(A_g)_k = 0$ 时表示抗体与抗原理想结合,得到最优解。

结合强度 t_k 如下式所示:

$$t_k = \sqrt{\sum_{i=1}^l |ab_i - ag_i|} \quad (2)$$

其中,抗体由 $\langle ab_1, ab_2, \dots, ab_l \rangle$ 给定,抗原由 $\langle ag_1, ag_2, \dots, ag_l \rangle$ 给定, $i = 1, 2, \dots, l$, l 为维数。

模型结构如图1。模型的优点是:只需要积极的故障样本,其学习的模式可以清楚地检验,另外,由于其自组织性,不要求优化任何参数。

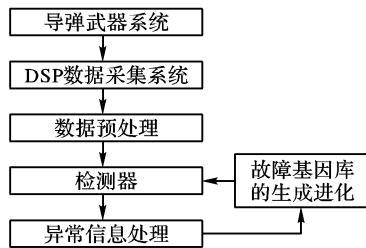


图1 基于人工免疫系统的故障诊断模型

2.1 故障诊断细胞模型

故障诊断细胞的作用相当于自然免疫系统中的抗体,其数学定义如下:

定义 S 是实数 R 一个形态空间, $S \in R$ 。故障诊断细胞表示为 L 维的向量 $M = \langle m_1, m_2, m_3, \dots, m_l \rangle$,它可以看做 L 维空间中的一个点 $M \in S^l \subseteq R$ 。

在故障基因库中,每个故障诊断细胞作为网络中的一个节点。这样,每个网络节点就代表一个潜在的故障现象。故障诊断细胞的结构如图2所示。

Field	Value	Type
FaultID	n	Int
FaultParameter		Double
FaultLocation		String
FaultCause		String
FaultDisposal		String

图2 故障诊断细胞模型

故障诊断细胞(节点)的数据结构描述如下:

```

struct DiagnosisCell
{
    Int FaultID;
    Double FaultParameter;
    String FaultLocation;
    String FaultCause;
    String FaultDisposal;
} DiagnosisCell
  
```

2.2 故障基因库模型

故障基因库相当于自然免疫系统中的骨髓,故障诊断细胞(B细胞)在这里产生。故障诊断细胞经训练集初始化后,构建初步的故障基因库,然后经过进化(自体耐受检验、进化训练和克隆变异),产生成熟的故障基因库,成熟的故障检测细胞进入检测器,就可对故障进行检测和识别。一旦检测与识别出新的故障(抗原),则故障基因库将利用该新抗原对基因库进行新的训练和进化,并把抗原信息存储于故障基因库中,以便在二次应答中快速准确地对该抗原进行识别。这是一个自学习、自适应的过程。模型结构如图3。

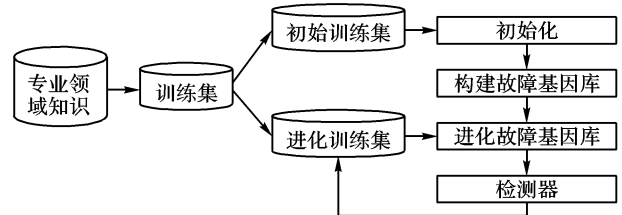


图3 故障基因库模型

3 故障诊断原理

3.1 故障基因库的生成与进化

首先,从导弹专业领域获取专业领域知识,要充分收集导弹各运行设备故障模式的数据信息,将数据分析整理后,形成训练集。故障基因库的生成与进化在逻辑结构上分为三个阶段:即初始化、构建基因库和进化基因库。

3.1.1 初始化

在初始化阶段,系统从初始训练集随机读入一个训练案例,并添加到案例列表的尾部。此时,故障基因库是一个无网络结构的松散的状态,每个节点都可能是其他节点的关联对象。只有当初始训练集中的所有案例都进入系统后,才开始进行网络的构建。

3.1.2 构建故障基因库

对每一个节点,计算其对其他节点的相似性,将其与大于某一相似性阈值的 n 个节点连接起来构成网络;若两个节点完全相同,则删除相同的节点(即自体耐受检验)。节点间的连接关系表明如下两点:1)两个连接的节点表明两个故障诊断细胞存在着一定的关联性;2)一组连接的节点表明这些故障诊断细胞有着某种共同的特征。由于免疫网络是一个自组织网络,因此,它对于缺少领域知识的学习与信息挖掘有着特殊的作用。

3.1.3 进化故障基因库

当一个新抗原(故障信号)进入故障基因库后,就要对其进行识别和学习,这就需要对现有的故障基因库进行进化。对新的抗原,根据一个距离度量,确定其对所有网络细胞的亲和度,选取 n 个亲合度大于匹配选择阈值的故障诊断细胞,并对所选择的 n 个细胞进行克隆,克隆数与亲合度成正比。这些克隆细胞将发生以下两种随机变化:

1)不变化:克隆细胞将以原细胞的精确复制品而存在于网络中。

2)变异:首先,克隆细胞与抗原进行比较,所有两者相同的元素将保留在克隆细胞内,而其他不同的元素将以通配符取代,从而变异为新的细胞;其次对该变异细胞任选其他克隆细胞的元素取代通配符。变异完成后,重新计算变异细胞与抗原的亲合度,根据亲合度阈值保留有利的变异、剔除不利的变异,从而实现对新知识的学习与记忆,也完成了故障基因库的进化。

为使故障基因库避免随着细胞的克隆和变异而无限地扩

大,维持一个合理的网络规模,一部分细胞就必须死亡。在上述确定的故障诊断细胞与抗原的亲合度中,选取亲合度 $A_g < \varepsilon$ 的 n 个节点,并将其删除,然后确定剩余各节点间的相似度,重新构建网络。

3.2 故障诊断

故障基因库进化后,就是一个成熟的检测器,导弹测试信号经数据采集和处理后进入检测器,首先验证其是否与某个故障诊断细胞或正常状态相临近。如果它落在正常状态区域内,则不激活检测器,如果它落在某个故障诊断细胞的检测区域内,则产生该类型故障产生。

3.3 实现过程

```
//Initialization
Do { Read a fault training case;
    Add the fault training case to the end of the list;
    DiagnosisCell_Number ++;
} While( InitialTrain_Number = 0)
//Construct the fault gene set
if (i = 1, i < DiagnosisCell_Number, i ++ )
{ if (j = i + 1, j < DiagnosisCell_Number, j ++ )
    { Calculate the "similarity" of the fault diagnosis cell;
      Linked fault diagnosis cell i and j, if the similarity is above
      the threshold;
    }
}
//Evolve fault gene set
Do { if (i = 1, i < DiagnosisCell_Number, i ++ )
    { Calculate the "affinity" between the antigen and fault
      diagnosis cell;
    }
    Select n of all fault diagnosis cell which affinity is above the
    threshold and clone a random times;
    Random select j of cloned cell and mutated;
    Restructuring fault gene set;
} While( antigen_Number = 0)
```

4 仿真结果及分析

按照上述方法构造人工免疫网络,其中亲合度阈值 ε 的选取对于人工免疫网络的规模有着重要的影响,并且影响到故障诊断的正确率和故障诊断的实时性。仿真中,采样十个 ε 值进行分析,采样数据如表 1 所示。

从表 1 可以看出, ε 值的选取对于网络规模、故障诊断的准确率和诊断时间都有着影响。因此,人工免疫网络中 ε 值的选取适当否,将直接影响到系统的性能。

表 1 数据采样表

ε 值	网络 结点数	故障类型	诊断准确 率(%)	诊断 时间/s
0.10	129	一级变放 α 通道参数超差	95	0.057
0.20	118	一级变放 β 通道参数超差	93	0.051
0.30	107	一级变放 γ 通道参数超差	92	0.043
0.40	98	伺 1 工作电压超差	89	0.036
0.45	92	伺 2 工作电压超差	89	0.031
0.50	85	伺 3 工作电压超差	87	0.023
0.55	81	伺 4 工作电压超差	83	0.019
0.60	74	K1 随动开关失效	80	0.015
0.65	63	K2 随动开关失效	76	0.011
0.70	61	II 伺压力传感器失效	72	0.009

本文讨论了基于人工免疫系统的导弹武器智能诊断模型,详细分析了故障基因库的构建和进化,对于解决导弹武器等大型复杂系统的故障诊断提供了一个新的方法。但人工免疫系统是一个非常复杂的系统,现在正处于研究的初始阶段,还需在理论和工程实践的研究中取得更大的突破。

参考文献:

- [1] 周治杰, 胡昌华, 王志贤. 基于系统辨识的小波分析在导弹一级变放故障诊断中的应用研究[J]. 导弹与航天运载技术, 2003, (1): 45-49.
- [2] 李炯, 黄树彩. 基于神经网络的某导弹姿态控制系统故障诊断[J]. 航天计算技术, 2002, 32(2): 4-6.
- [3] 吴梅, 许东, 王鹏. 导弹复合故障诊断专家系统研究[J]. 弹箭与制导学报, 2002, 22(1): 34-36.
- [4] PATTON RJ, UPPAL FJ, LOPEZ-TORIBIO CJ. Soft computing approaches to fault diagnosis for dynamic systems: a survey[A]. 4th IFAC Symposium on Fault Detection Supervision and Safety for Technical Processes[C]. Budapest, Hungary, 2000. 298-311.
- [5] 莫宏伟. 人工免疫系统原理与应用[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社. 2002.
- [6] DASGUPTA D, FORREST S. Artificial Immune Systems in Industrial Applications[EB/OL]. <http://www.cs.unm.edu/~forrest/publications/dasgupta.pdf>, 2005-05.
- [7] BRANCO PJC. Using Immunology Principles for Fault Detection[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2003, 50(2): 362-373.
- [8] TANIGUCHI S, DOTE Y. Sensor fault detection for uninterruptible power supply (UPS) control system using fast fuzzy-neural network and immune network[A]. IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics[C]. Tucson, Arizona, USA, 2001. 99-104.

(上接第 2767)

Web 服务环境,将越来越受到人们的重视。将 XACML 与 ABAC 结合起来,提出的访问控制模型,具有提供细粒度的访问控制、增加互操作性等优点。

参考文献:

- [1] World Wide Web Consortium. Web Service[EB/OL]. <http://www.w3.org/2002/ws>.
- [2] LI N, MITCHELL JC. RT: A Role-based Trust-management Framework[A]. Proceedings of the DARPA Information Survivability Conference and Exposition (DISCEX) [C]. Washington, DC, 2003.
- [3] PARK J, SANDHU R. The UCONABC Usage Control Model[J]. ACM Transactions on Information Systems Security, 2004, 7(1): 128-174.
- [4] OASIS Standard. eXtensible Access Control Markup Language

(XACML) Version 1.0[EB/OL]. <http://www.oasis-open.org/committees/xacml>, 2003-02.

- [5] MALER E, MISHRA P. Assertions and Protocol for the OASIS Security Assertion Markup Language (SAML). V1. 1. OASIS Standard[S]. 2003.
- [6] Simple Object Access Protocol (SOAP) V1. 1[EB/OL]. <http://www.w3.org/TR/2000/NOTE-SOAP-20000508>, 2000-05.
- [7] WINSBOROUGH WH, JACOBS J. Automated Trust Negotiation in Attribute-based Access Control[A]. Proceedings of the DARPA Information Survivability Conference and Exposition (DISCEX) [C]. Washington, DC, 2003.
- [8] WINSLETT M, YU T, SEAMONS T, et al. Negotiating Trust on the Web[J]. IEEE Internet Computing, 2002, 6(6): 30-37.