

# 人工免疫系统在计算机安全中的应用

莫宏伟 金鸿章

( 哈尔滨工程大学 自动化学院 黑龙江 哈尔滨 150001 )

**摘 要** :主要介绍人工免疫系统计算机安全领域的研究现状 ,包括异常诊断、网络入侵检测和病毒检测三方面。首先介绍基于免疫系统阴性选择原理的阴性选择算法原理 ,不同研究人员对该算法进行了改进并应用于异常诊断和网络入侵检测系统中 ,然后总结基于阴性选择算法以及主体与免疫系统原理相结合的两种不同的计算机入侵检测系统的特点 ,最后对基于免疫识别原理的计算机病毒检测和消除系统进行归纳 ,指出人工免疫系统在计算机安全领域的发展方向。

**关键词** :人工免疫系统 ;生物免疫系统 ;异常诊断 ;网络入侵检测 ;病毒检测

**中图分类号** :TP302.7 **文献标识码** :A **文章编号** :1006-7043( 2003 )03 -0278 -05

## Application of artificial immune system to computer security

MO Hong-wei JIN Hong-zhang

( School of Automation ,Harbin Engineering University ,Harbin 150001 ,China )

**Abstract** :The present status of application of artificial immune system in computer security ,including abnormality detection ,network intrusion detection and virus intrusion detection ,is presented. Firstly ,the negative selection algorithm based on the principle of immune system negative selection is introduced. This algorithm was improved by different researchers and applied in abnormality detection and network intrusion detection systems. Secondly ,the characteristics of the two different network intrusion detection systems based on negative selection algorithm and the combination of agents and immune system principles are introduced. At last ,the computer virus detection and removing system based on the immune recognizing is induced. And the future direction and emphasis are pointed out.

**Key words** :artificial immune system ;biology immune system ;abnormality detection ;network intrusion detection ;virus detection

人工免疫系统是近些年出现的新型智能系统研究领域<sup>[1]</sup>。它是基于模拟自然免疫系统主要是人类免疫系统的一定生物系统过程 ,开发各种解决工程和科学问题的方法。人工免疫系统方法已经应用到多个领域 ,已经有许多研究和应用实例。目前关于人工免疫系统的研究成果主要涉及机器人学、自动控制、计算机安全、异常和故障诊断、模式识别、机器学习、分子生物学、图像处理、优化、数据分析等许多领域 ,该领域称为免疫工程。越来越多的计算机科学家已经仔细研究这种自然机制 ,提出计算机免疫系统模型解决不同的问题 ,包括异常诊断、病毒检测等等。

## 1 AIS 在计算机安全中的应用原理

自然免疫系统是一个多层次系统 ,是高度分布、并行、具有处理复杂信息特征的自然系统 ,以多种智能的方式对病原体输入发生反应。利用先天固有和后天获得的能力产生准确的特异应答 ,通过变异、进化、学习去适应新环境。具有记忆机制 ,能够对以前遇到的或类似的外部病原体物质产生更快的应答。对于计算机科学家和工程师有重要意义的免疫系统的特性包括 :

1) 独特性 :每一个生物个体具有自己的免疫系统 ,以及其特有的脆弱性和能力。

- 2) 模式识别 : 不属于生物体自身的有害分子被免疫系统识别并清除.
- 3) 异常诊断 : 免疫系统能够诊断并对身体从未遇到过的病原体发生反应.
- 4) 分布式诊断 : 免疫系统的细胞遍布全身 , 最重要的是不受制于任何中心控制.
- 5) 不完美匹配 : 不需要对病原体的绝对完全匹配识别 , 只需大致地匹配就可识别并结合病原体.
- 6) 强化学习与记忆 : 系统能够学习病原体的结构 , 这样未来对同样的再次入侵的病原体反应更快更强烈.
- 基于这些性质可设计出全新的计算机安全系统. 比如分布式诊断 , 是免疫系统基础构造 , 可对应应用方法提供原理支持. 其他特征可直接应用于检测技术. 比如 , 模式识别和特征提取可以应用到入侵检测和病毒检测. 从非自体中区别自体 , 可应用于计算机网络入侵检测.

## 2 AIS 在计算机安全领域的应用

### 2.1 阴性选择在异常诊断的应用

防止计算机受到病毒和未授权人员入侵 , 是一个很有研究价值的异常诊断领域. Forrest1994 年首次将计算机安全问题与免疫系统学习区分自体—非自体相比较<sup>[2]</sup> , 基于人类免疫系统的胸腺阴性选择本质原理 , 开发了一种异常诊断策略 , 称为阴性选择算法.

阴性选择算法分两个阶段. 在第 1 个阶段按照图 1 (a) 所示产生一组检测器 , 在第 2 阶段 , 通过与产生的检测器的比较 , 监督被保护数据 (图 1 (b)). 如果 2 个字符串之间的共有的邻近位数量大于或等于  $r$  , 则认为字符串互相匹配. 作者还提出估计两个随机字符串之间的在至少  $r$  个邻近位置发生匹配的概率和对不同的系统结构变化检测概率.

阴性选择算法的主要特征是 :

1) 检测概率可调的 2) 检测器大小不必随所保护的字符串数成长 3) 检测概率随无约束诊断算法指数级增加 4) 检测是对称的 5) 产生的检测器与自体集合规模具有指数级代价关系.

为了克服上述策略的主要缺点 , D haeseleer 1996 年提出 2 个关于输入规模成线性时间比例的异常检测器产生算法<sup>[3]</sup> . 也讨论了对算法如何设定指令系统规模、匹配概率、检测失败概率、对邻近  $r$  位匹配规则等参数. 算法基于动态规划运行.

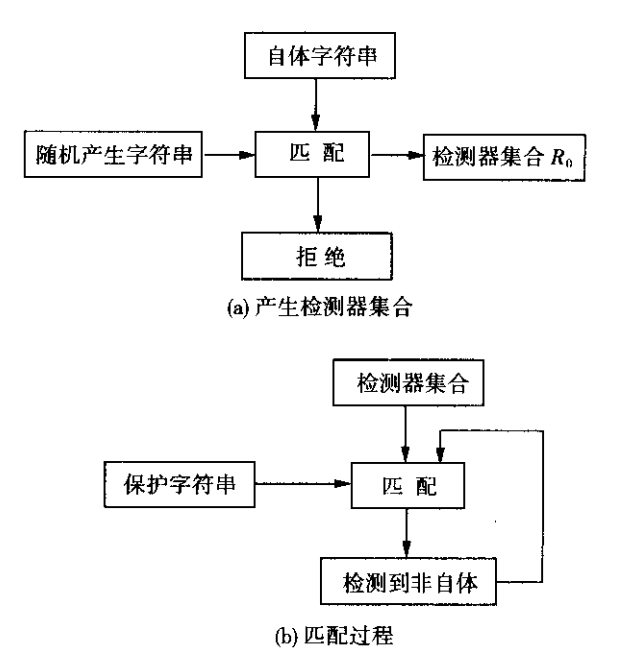


图 1 阴性选择算法示意图  
Fig. 1 Diagram of negative selection algorithm

阴性选择的随机搜索特征导致检测不同网络入侵时的失败 , 要求网络通信数据进行大量地细致观察. 这样该方法只能检测有限数目的网络入侵. 于是 Kim 提出由 AIS 克隆选择算法提供的小生境策略<sup>[4]</sup> . 为了解决独立的阴性选择算法的变换问题 , Kim 提出的人工免疫系统采用克隆选择算法 , 体现阴性选择算子 , 并用 3 个来自 UCI 库的数据集对新机器学习算法进行了测试. Kim 在 2000 年的研究成果显示 , 对网络入侵检测问题只采用阴性选择策略时 , 处理大量网络通信数据会遇到严重的变换问题<sup>[5]</sup> . 虽然 Hofmeyr 对采用阴性选择的网络入侵检测研究取得令人兴奋的结果<sup>[6]</sup> , 但是 Kim 指出他的结果只当阴性选择应用于小规模网络通信数据集时才能成功.

### 2.2 网络入侵检测

目前的计算机安全技术并不理想. 计算机安全问题和生物处理信息过程的比较首先由 Adelman 提出<sup>[7]</sup> , 免疫系统和计算机安全之间的联系在文献 [8, 9] 中给出 , 并在文献 [10, 11] 中详细阐述. 计算机系统是动态的 , 不断地改变行为模式 , 如程序添加或删除、新用户加入等. 系统变化使得入侵者有机会通过非正常途径侵入计算机系统. 一个计算机安全系统应该保护一台机器或者一组机器不受入侵的外部代码的破坏 , 与免疫系统保护人体不受有害微生物侵害的功能类似. 由于这些相似性 , Forrest 和 Hofmeyr 在 1996 年、1997 年、1999 年和 2000 年已经对具有分布性、鲁棒性、动

态性、多样性和适应性的人工免疫系统问题进行了研究,并将抽象出来的原理应用到计算机网络安全,提出 ARTIS 系统,用 LISYS 系统实现<sup>[11,12]</sup>,建立计算机免疫学框架.表 1 描述免疫系统与 ARTIS 的映射关系.在该系统中,通过定义抽象细胞和分子的有用特性的检测器简化生物免疫细胞和分子.检测器细胞有几个可能的状态,大致对应淋巴细胞,初始 B 淋巴细胞(未分化的 B 细胞)和记忆 B 淋巴细胞.检测器用固定长度的位字符串状态表示.通过考虑两个字符串之间的  $r$ -邻近位数字字符串匹配过程进行入侵检测.阴性选择算法执行自体的定义并负责系统学习.系统使用置换掩码得到多样检测器.

作者给出计算机网络入侵诊断应用结果,同时指出人工免疫系统也可以用于其它类型的网络,比如社会网络、市场网络和神经学或者生态学上的网络.基于这些网络, Kim 和 Bentley 致力于研究受免疫系统启发的网络入侵诊断系统<sup>[4,13~14]</sup>.她们研究并评估了人类免疫系统和网络入侵诊断系统之间的相似性,目的是提取能成功地用于计算机网络防御入侵的免疫系统特征.提出了基于网络入侵诊断设计目标的 3 个基本要求:分布( distribution ),自组织( self-organization )和轻便( being lightweight ).该模型不同于 Hofmeyr 和 Forrest 的工作,开发了针对网络入侵检测 AIS<sup>[14]</sup>,这个 AIS 主要依赖阴性选择产生成熟检测器.

在进一步的工作中<sup>[4]</sup>,作者提出网络入侵诊断小生境阴性选择算法.指出整个网络入侵诊断人工免疫模型由 3 个截然不同的进化阶段组成: 1)阴性选择 2)克隆选择 3)基因库进化.这个模型强调免疫系统 3 个重要机制的整合.

小生境阴性选择算法用检测器朝非自体方向的进化取代检测器的随机产生.在阶段 1),用修改的 NSA 建立自体轮廓,用合适的数据表示法编码.在阶段 2)小生境 NSA 开始产生检测器.之后,分解新捕捉到的网络包建立新自体轮廓.阶段 3),每一个检测器集合中的检测器模型与每一个对应的新自体轮廓中的模型比较.如果任何检测器模型和新自体模型之间的相似性超过预先设定的阈值,则发出警报信号.

Dasgupta 对网络计算机中入侵和异常诊断及响应提出一种基于 agent 的系统<sup>[15]</sup>.在他的方法中,基于免疫系统的 agents 在节点和监督网络情况的路由器周围巡游.该系统最大特点是:灵活性、适应性和协作.免疫 agent 能够自由地、动态

地与环境及互相之间相互作用.

表 1 免疫系统与 ARTIS 比较

Table1 The comparison between immune system and ARTIS

免疫系统	ARTIS
抗体决定基/蛋白质/抗原决定基	二进制字符串
受体	二进制字符串
淋巴细胞( $B, T$ )	检测器
抗体可变区	检测器字符串
抗体恒定区	位字符串编码应答
记忆细胞	记忆检测器
病原体	非自体二进制字符串
结合	字符串大致匹配
位置	图象中的顶点
循环	流动检测器
中心耐受	无
胸腺	无
MHC	表示法参数
细胞因子	敏感水平
外围耐受	分布式负检测
信号 1	匹配超过活化阈值
淋巴细胞克隆	检测器复制
病原体检测	检测事件
信号 2	操作员
病原体清除	响应
亲合度成熟	记忆检测器竞争

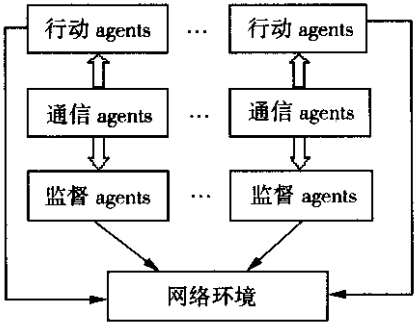


图 2 多 agents 入侵诊断系统

Fig. 2 Multi-agents intrusion detection system

图 2 描述使用的 agent 类型和等级协调. 决策/行动 agent 假设为辅助、杀伤或抑制 agents, 类似 T 细胞的功能. 通信 agent 对应淋巴因子(由 T 细胞分泌调节免疫应答). 一些监督工作在互补空间监督变化(非自体),而其他 agents 则具有已知入侵的知识.

2.3 计算机病毒检测和消除<sup>[6]</sup>

Kephart 开发的系统中,产生一组没有遇到过

计算机病毒的抗体促进对未来感染病毒时更快更强烈的反应. 考虑了最大程度降低自体免疫应答的风险, 在自体免疫应答中, 计算机免疫系统会错误地识别合法软件为非法.

通过与病毒( 信号 ) 中发生相对短字节序列的准确或模糊匹配, 识别特异病毒. 该计算机免疫系统分几个阶段检测软件是否含有病毒. 在整体监督阶段, 对程序和数据文件整体检查, 其中的自体概念是: 原始和当前版本的任何文件之间的差别做为自体标识. 但是, 仅靠非自体实体的证据本身不足以触发计算机免疫应答, 同时还要运用“ 认识敌人 ” 的互补策略. 与免疫系统通过抗原提呈细胞消化抗原的过程类似, 该系统通过陷阱诱骗程序( 保存在记忆中的不同策略区 ) 捕获病毒样本. 在计算机免疫系统中, 感染文件由免疫系统的另一个部分处理, 称为信号抽取, 由此发展出病毒识别器.

计算机免疫系统有生物系统不具备的其他功

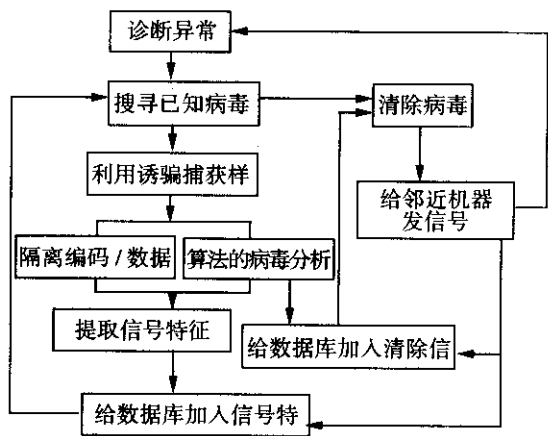
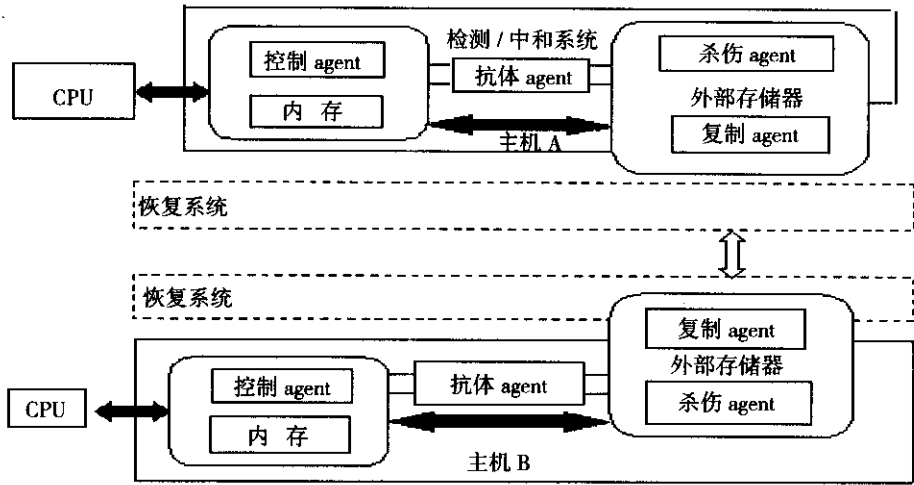


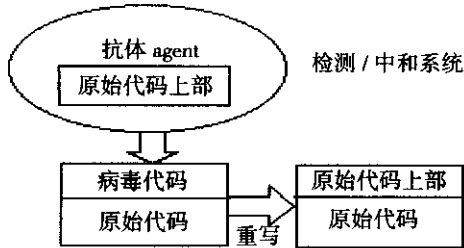
图 3 基于免疫应答病毒消除系统

Fig. 3 Virus clearing system based on immune response

能是: 它要从诱骗文件中提取关于病毒如何附着宿主的信息, 这样被感染的宿主能够被修复( 如果可能的话 ). 因此, 系统自动地发展了识别病毒的识别器和修复算法.



(a) 抗病毒系统的示意图



(b) 抗体抗原中和病毒

图 4 基于 agents 的病毒消除系统

Fig. 4 Virus clearing system based on agents

在病毒发作时消灭病毒这个意义上说, 通过单个计算机病毒检测能够沿病毒的传播路径触发杀死信号. 图 3 描述免疫系统的主要部件和各自

的功能. 其它关于计算机病毒诊断和消除的参考文献可在 [ 16-17 ] 中看到. Okamoto 和 Ishida 提出一种通过自治异类 agents 诊断并消除计算机病毒

的分布式方法<sup>[18-19]</sup>. 该系统通过匹配当前主机文件的自体信息(像文件头的前几个字节,文件大小和路径)来诊断病毒. 通过重写感染文件上的自体信息来消除病毒. 通过计算机网络从其它未受感染主机拷贝同一个文件来恢复感染文件. 图 4 是基于 agents 的病毒消除系统机制示意图. 系统由以下几种类型 agents 组成:诊断/消除 agents,负责诊断和消除病毒;杀伤 agents(模仿杀伤 T 细胞)负责清除被抗体抗原中和而改变的文件;复制 agents,在整个计算机网络发送和接受复制未感染文件请求;控制 agents(模仿辅助 T 细胞)负责控制抗病毒系统进程. 该方法主要缺点一是抗体抗原使用的头文件大小不易确定(太长的头文件会消耗很多内存,而太短又起不到效果)二是通过网络恢复容易引起死机或者二次感染.

### 3 结束语

以上介绍了人工免疫系统在计算机安全领域的应用. 计算机安全问题的解决是一个综合性问题,涉及到诸多因素,包括技术、产品和管理等. 目前国际上已有众多的网络安全解决方案和产品,如为了防御病毒,新墨西哥大学以及 IBM 等公司的科学家们正在致力于人工免疫技术,能够为计算机提供模拟人类生物学的高级免疫系统. 由于出口政策和自主性等问题,不能直接用于解决我国自己的网络安全,因此我国的网络安全只能借鉴这些先进技术和产品,自行解决. 目前国内已有一些网络安全解决方案和产品,比如武汉大学软件工程国家重点实验室以演化计算为基础,结合生物免疫的原理,研究人工免疫的机理,提出一个计算机网络安全免疫的模型. 该模型弥补了传统安全模型中在环境独立性、自适应性、系统多样性、分布性、群体协同性上的不足. 未来的研究方向可望在以下几方面取得进展:

1) 改进现有计算机免疫安全系统在可靠性、稳定性方面以及免疫系统固有的保密性缺陷带来的问题,完善现有的基于免疫系统的入侵检测系统. 研究者重点是结构和表示问题.

2) 改进现有计算机免疫系统中的算法的效率,发展新的算法,比如动态性克隆选择算法,阴性选择算法与克隆选择算法的结合.

3) 进一步开发基于智能 agent 技术的计算机免疫系统,比如免疫 agent 在计算机安全方面的应用.

4) 完善计算机免疫学原理,进一步利用免疫

系统中还有待开发利用的原理,比如免疫系统分子中信息传递方式的研究有助于开发新型计算机通信技术.

5) 基于免疫系统分布式和并行运行机制的分布式计算和并行计算技术的研究. 免疫系统强大的并行和分布式处理信息的能力将有助于发展极具前途的并行计算和分布式处理技术,提供新的并行计算和分布式处理技术思路. 将计算机免疫系统与现有入侵检测技术、防病毒技术结合,开发新型的计算机网络安全系统.

国内在这方面的研究才刚刚起步,希望本文有助于促进国内在人工免疫系统方面的研究特别在计算机工程技术方面的研究.

### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] FORREST S, PERELSON A, ALLEN L, *et al*. Self-non-self discrimination in a computer[A]. Proceedings of the IEEE Symposium on Research in Security and Privacy[C]. Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 1994.
- [3] D'HASESELEER P, FORREST S, HELMANP. An immunological approach to change detection: algorithms, analysis, and applications[A]. Proceedings of the IEEE Symposium on Research in Security and Privacy[C]. Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 1996.
- [4] KIM J, BENTLEY P. Negative selection and niching by an artificial immune system for network intrusion detection[A]. Proceedings of Genetic and Evolutionary Computation Conference[C]. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, 1999.
- [5] KIM J, BENTLEY P. Negative selection within an artificial immune system for network intrusion detection[A]. Proceedings of Genetic and Evolutionary Computation Conference[C]. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, 1999.
- [6] HOFMEYER S A, FORREST S. Immunity by design: an artificial immune system[A]. Proceedings of Genetic and Evolutionary Computation Conference[C]. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, 1999.
- [7] COHEN F. Computer viruses[J]. Computers & Security, 1987, 6: 22-35.
- [8] FORREST S, HOFMEYER S A. Design principles for immune systems and other distributed autonomous systems. New York: Oxford Univ Press, 2000.
- [9] KEPHART J O. A biologically inspired immune system for computers[A]. Artificial Life IV Proceedings of the Fourth International Workshop on the Synthesis and Simulation of Living Systems[C]. Cambridge: MIT Press, 1994.

(下转第 286 页)

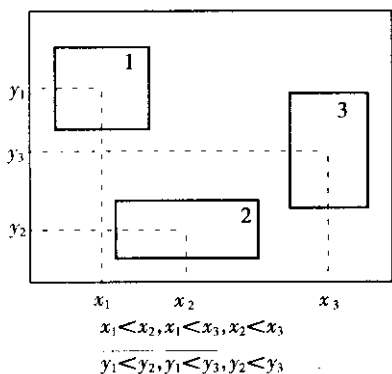


图 4 3 个区域和表征它们空间关系的二元关系集

Fig. 4 Three regions and set of binary relationships corresponding to their spatial configuration

## 4 结 论

“基于用户、交互式”是本文提出的检索技术的关键,换句话说,“内容”不再被独一无二的固定的全局特征所定义,而是用户根据自己的需要在几乎无数的查询请求中任意定义.这样不仅可以提高检索效率,而且查询结果图像集往往更能

满足用户的需求.以后的研究重点应该是更加高效的数据库筛选算法,使得待查图像库中的图像数量减到最少,这对提高检索速度是至关重要的.其次,对于某些对空间布局要求十分严格的图像库,可以考虑在最匹配两个区域位置不符时,直接拒绝该图像(停止其他的计算).总之,这样的系统不仅可以用于通常的图像库检索,也可以用于某些专业图像数据库,例如地理图库、医疗 X 光片图库等等,这些领域空间布局都扮演着十分重要的角色.

## 参考文献:

- [1] SCHIELE B, CROWLEY J L. Object recognition using multidimensional receptive field histogram[ A ]. European Conference on Computer Vision[ C ]. ECCV, 1996.
- [2] 李向阳, 庄越挺, 潘云鹤. 基于内容的图像检索技术与系统[ J ]. 计算机研究与发展, 2001(3): 344-354.
- [3] SWAIN M, BALLARD D. Color indexing[ J ]. International Journal of Computer Vision, 1991, 7(1): 10-32.
- [4] 张健沛. 一种基于色彩空间的图像检索方法[ J ]. 哈尔滨建筑大学学报, 1998(2): 78-82.

[责任编辑:刘玉明]

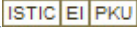
(上接第 282 页)

- [10] FORREST S, HOFMEYR S, SOMAYAJI A, et al. A sense of self for UNIX proceedings[ A ]. Proceeding of the IEEE Symposium on Research in Security and Privacy[ C ]. Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 1996.
- [11] FORREST S, HOFMEYR S A, SOMAYAJI A. Computer immunology[ J ]. Communications of the ACM, 1997, 40(10): 88-96.
- [12] HOFMEYR S A, FORREST S. Architecture for an artificial immune system[ J ]. Evolutionary Computation, 2000, 7(1): 45-68.
- [13] KIM J, BENTLEY P. The human immune system and network intrusion detection[ A ]. Proceeding of 7th European Congress on Intelligent Techniques Soft Computing[ C ]. Aachen: Springer Press, 1998.
- [14] KIM J, PETER J B. Towards an artificial immune system for network intrusion detection: an investigation of dynamic clone selection. Proceedings of World Congress on Computational Intelligence. Piscataway: IEEE Press, 2002.
- [15] DASGUPTA D. Immunity-based intrusion detection sys-

tem: a general framework[ A ]. Proceedings of the 22nd National Information Systems Security Conference[ C ]. Crystal City: NIST Publishers, 1999.

- [16] KEPHART J O. Biological inspired defenses against computer viruses[ A ]. Proceeding of 14th Joint Conference on Artificial Intelligence[ C ]. Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 1996.
- [17] KEPHART J O, SORKIN G B, SWIMMER M. Immune system for cyberspace[ A ]. Proceeding of International Conference on Systems, Man and Cybernetics[ C ]. Orlando: IEEE Press, 1997.
- [18] OKAMOTO T, ISHIDA Y. A distributed approach to computer virus detection and neutralization by autonomous and heterogeneous agents[ A ]. Proceeding of 4th International Symposium on Autonomous Decentralized Systems[ C ]. Los Alamitos: IEEE Press, 1999.
- [19] OKAMOTO T, ISHIDA Y. Multiagent approach against computer virus: an immunity-based system[ A ]. Proceedings of the 4th International Symposium on Artificial Life and Robotics[ C ]. Hajime: Tokyo Press, 1999.

[责任编辑:刘玉明]

作者: 莫宏伟, 金鸿章  
作者单位: 哈尔滨工程大学, 自动化学院, 黑龙江, 哈尔滨, 150001  
刊名: 哈尔滨工程大学学报   
英文刊名: JOURNAL OF HARBIN ENGINEERING UNIVERSITY  
年, 卷(期): 2003, 24(3)  
被引用次数: 17次

## 参考文献(19条)

1. 莫宏伟 [人工免疫系统原理与应用](#) 2002
2. [FORREST S;PERELSON A;ALLEN L Self-nonsel self discrimination in a computer](#)[外文会议] 1994
3. [D' HASESELEER P;FORREST S;HELMANP An immunological approach to change detection: algorithms, analysis, and applications](#) 1996
4. [Kim J;BENTLEY P Negative selection and niching by an artificial immune system for network intrusion detection](#) 1999
5. [Kim J;BENTLEY P Negative selection within an artificial immune system for network intrusion detection](#) 1999
6. [HOFMEYR S A;FORREST S Immunity by design: an artificial immune system](#) 1999
7. [Cohen F Computer viruses](#) 1987
8. [Forrest S;HOFMEYR S A Design principles for immune systems and other distributed autonomous systems](#) 2000
9. [Kephart J O A biologically inspired immune system for computers](#) 1994
10. [FORREST S;HOFMEYR S;SOMAYAJI A A sense of self for UNIX proceedingesses](#) 1996
11. [Forrest S;HOFMEYR S A;SOMAYAJI A Computer immunology](#)[外文期刊] 1997(10)
12. [Hofmeyr S A;FORREST S Architecture for an artificial immune system](#)[外文期刊] 2000(01)
13. [Kim J;BENTLEY P The human immune system and network intrusion detection](#) 1998
14. [Kim J;PETER J B Towards an artificial immune system for network intrusion detection:an investigation of dynamic clone selection](#) 2002
15. [DASGUPTA D Immunity-based intrusion detection system: a general framework](#)[外文会议] 1999
16. [Kephart J O Biological inspired defenses against computer viruses](#) 1996
17. [Kephart J O;SORKIN G B;SWIMMER M Immune system for cyberspace](#) 1997
18. [Okamoto T;ISHIDA Y A distributed approach to computer virus detection and neutralization by autonomous and heterogeneous agents](#)[外文会议] 1999
19. [Okamoto T;ISHIDA Y Multiagent approach against computer virus: an immunity-based system](#) 1999

## 本文读者也读过(3条)

1. 李慧颖,李志一,LI Hui-ying,LI Zhi-yi [计算机病毒检测模型的初步构建](#)[期刊论文]-[电脑知识与技术](#) 2009, 5(23)
2. 崔志磊, CUI Zhi-lei [基于人工免疫的计算机安全行为防范模型](#)[期刊论文]-[兰州理工大学学报](#) 2009, 35(4)
3. 洪征, 吴礼发, 胡谷雨, 王元元, HONG Zheng, WU Li-fa, HU Gu-yu, WANG Yuan-yuan [AIS在计算机安全领域的应用与展望](#)[期刊论文]-[解放军理工大学学报\(自然科学版\)](#) 2005, 6(6)

1. [李斌](#) [基于人工免疫系统的计算机网络安全策略](#) [期刊论文] - [太原科技](#) 2007 (8)
2. [孙夫雄](#), [黄天成](#) [入侵检测系统中非完备性问题研究](#) [期刊论文] - [计算机工程](#) 2007 (1)
3. [黎海波](#) [基于人工免疫的计算机系统研究与应用](#) [期刊论文] - [广西质量监督导报](#) 2008 (8)
4. [杨丁](#), [杨惠忠](#), [郭晓波](#), [黄云峰](#) [一网通智能化技术在国都枫华府第项目中的应用](#) [期刊论文] - [智能建筑与城市信息](#) 2008 (3)
5. [邢小东](#), [韩燮](#), [李顺增](#) [一种基于免疫原理的计算机免疫系统模型](#) [期刊论文] - [华北工学院学报](#) 2005 (4)
6. [王勇](#), [段存升](#), [罗静](#), [洪月好](#) [计算机病毒免疫系统的仿真实验教学](#) [期刊论文] - [实验室研究与探索](#) 2006 (2)
7. [鱼静](#), [戴宗友](#), [王峰](#) [基于免疫的自适应性网络入侵检测模型设计](#) [期刊论文] - [合肥工业大学学报 \(自然科学版\)](#) 2005 (11)
8. [王维](#), [张鹏涛](#), [谭营](#), [何新贵](#) [一种基于人工免疫和代码相关性的计算机病毒特征提取方法](#) [期刊论文] - [计算机学报](#) 2011 (2)
9. [鱼静](#), [王峰](#) [基于免疫的入侵检测模型中空洞的分析及对策](#) [期刊论文] - [计算机应用](#) 2008 (6)
10. [吴华瑞](#), [李美英](#), [赵春江](#), [朱华吉](#), [朱成礼](#), [杨宝祝](#) [基于人工免疫系统的RFID数据过滤模型研究](#) [期刊论文] - [计算机应用研究](#) 2008 (6)
11. [章登科](#), [葛红](#) [基于人工免疫系统的计算机安全研究](#) [期刊论文] - [网络安全技术与应用](#) 2007 (1)
12. [李斌](#) [基于人工免疫机制的网络安全研究](#) [学位论文] 硕士 2005
13. [周特](#) [计算机免疫系统GECISM中非我集的建立](#) [学位论文] 硕士 2005
14. [路秋静](#) [基于人工免疫的网络入侵检测算法研究](#) [学位论文] 硕士 2005
15. [王立功](#) [基于负选择免疫机制网络入侵检测技术的研究](#) [学位论文] 硕士 2005
16. [蔡凌宏](#) [人工免疫系统在电子政务安全中的应用研究](#) [学位论文] 硕士 2005
17. [孙照焱](#) [基于生物免疫机制的附网存储关键技术研究](#) [学位论文] 博士 2004

本文链接: [http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_hebgcdxxb200303010.aspx](http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_hebgcdxxb200303010.aspx)