

MAS 故障诊断系统中的任务分解与分配^{*}

严建峰 李伟华

(西北工业大学计算机学院 西安 710072)

摘要 多 Agent 系统的很多特点使其成功应用于故障诊断系统。为提高 MAS 故障诊断系统的通用性和智能性,首先分析了某型飞机的任务分解的层次结构,据此设计了任务分解的知识表示机制。其次应用了改进的合同网协议进行任务分配;重视利用任务分配经验知识,缩小任务招标的有效对象范围,对同一任务允许多种方法求解。在某型飞机故障诊断的应用中,该任务分配分解机制显示出较高的准确性和智能性。

关键词 多 Agent 系统,故障诊断,任务规约图,合同网,任务规则

Task Decomposition and Distribution in Fault Diagnosis System Based on MAS

YAN Jian-feng LI Wei-hua

(School of Computer Science, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract MultiAgent System (MAS) provides a number of characteristics that makes it well suited for fault diagnosis system. To improve intelligence of fault diagnosis system, a prototype system based on MAS is proposed. Architecture of task decomposition is analyzed, based on which a knowledge presentation mechanism for task decomposition is designed. Optimized contract net protocol is applied to distribute tasks from three aspects; emphasis on utilization of task distribution experience, reduction of amount of potential task bidders, allowance of multiple bid winners. The mechanism is applied in a fault diagnosis system, and has showed high accuracy and intelligence.

Keywords Multiagent system, Fault diagnosis, Task presentation graph, Contract net, Task rule

1 引言

随着现代复杂装备技术程度的提高和智能信息处理技术在设备中的广泛应用,大型复杂设备的维修保障问题日渐突出。设备的功能单位和组合部件产生故障的原因错综,故障表现出不均匀性、渐进性和并存性等特点。传统的故障诊断系统建立在对象精确的数学模型和准确、完备的诊断知识的基础上,这种单系统封闭形式的故障诊断机制已经不能满足大型复杂设备的测试与维修任务的需要。

多 Agent 系统是针对大系统的智能求解而逐步发展起来的。在问题求解机制上,多 Agent 系统通过对问题域的描述、分解和分配,将一个复杂诊断问题分解成面向特定领域的诊断任务集,从而可以在各个子系统中采用相对简单的诊断方法,并行协作解决大规模诊断问题。

为提高系统的标准化和通用性,本文分析了复杂系统的任务分解原理,提出了通用的任务分解知识表示机制;分析了传统合同网协议应用于多 Agent 系统的任务分配时的不足,从三方面进行改进;基于任务规则和逆向推理机制,提出了基于任务规则的结果决策机制。

2 故障诊断多 Agent 系统结构

故障诊断的多 Agent 系统^[1]主要包括各类功能 Agent 和辅助 Agent。功能 Agent 主要包括数据采集与预处理 Agent、任务管理 Agent、任务分解 Agent、任务分配 Agent、任务执行监控 Agent、结果决策 Agent 和诊断 Agent。数据采集与预处理 Agent 负责将原始测试数据预处理后,传送到任务管理 Agent。任务管理 Agent 负责处理数据采集与预处理 Agent 发

送的任务请求,形成一个全局诊断任务,并调用任务分解 Agent 进行任务分解,调用诊断任务分配 Agent 进行任务分配。任务分解 Agent 负责将全局诊断任务分解成面向特定领域的子任务集;诊断任务分配 Agent 负责将各个子任务通过合同网进行分配。结果决策 Agent 负责将任务结果集进行综合,得到全局诊断任务的最终结果。任务执行监控 Agent 负责向用户提供图形界面,形象地显示全局诊断任务的分解、分配过程,并监控任务集的执行情况。任务诊断 Agent 负责调用合适的诊断方法完成子任务。系统中主要功能 Agent 之间的交互结构如图 1 所示。

辅助 Agent 主要包括 Agent 名字服务器(ANS)和 Agent 通讯服务器(Facilitator)。前者主要提供 Agent 名称服务,显示系统中所有活动 Agent 的地址,负责接收 Agent 对其它 Agent 地址的询问并作出反应。Agent 通讯服务器存储其他 Agent 的能力,主要功能是负责接收 Agent 对其它 Agent 能力的询问并作出反应。

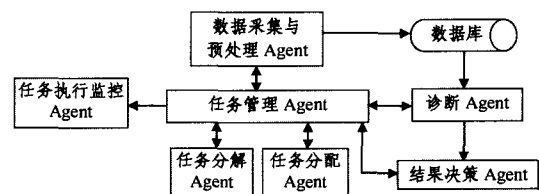


图 1 MAS 故障诊断系统中主要功能 Agent 结构

故障诊断多 Agent 系统中,诊断任务的分解、分配问题,与所应用的系统相关性不大,并且其设计机制直接决定了系统解决任务的通用性和灵活性,是系统实现的关键技术。

^{*}基金项目:国家部委基金(51315080404);(9140A17050206HK03)。严建峰 博士研究生,主要研究方向为远程自动测试系统、智能故障诊断等;李伟华 博导,教授,主要研究方向为远程自动测试系统、智能决策支持系统、网络安全等。

3 故障诊断系统任务分解

3.1 复杂系统的层次分解机制

通过将一个全局诊断任务分解为面向特定领域的子任务集,是应用多 Agent 系统对复杂装备进行故障诊断的前提。任务分解的目标是使子任务集中的任务耦合程度尽量降低,以减少相应诊断 Agent 之间的协作和通信开销。常用的任务分解方法包括按结构分解和按故障类型分解^[2]。按结构分解方法注重于分析复杂装备的系统结构,按照结构组成把复杂系统从总体结构分解成下一层结构,一直分解到最低层次的基本零部件。按故障类型分解方法首先建立系统的故障树。故障树按故障层次进行组织,上层故障是对下层故障的总结概括。按结构分解是粗粒度分解,按故障类型分解相对来说是细粒度分解,在研究过程中,我们把两种分解方式结合起来进行综合分解,在高层次上按照系统结构进行分解,在低层次上按照故障类型进行分解,把一个全局诊断任务分解成诊断 Agent 可解的简单任务。如对某型号飞机系统的故障可按照如图 2 所示进行分解。

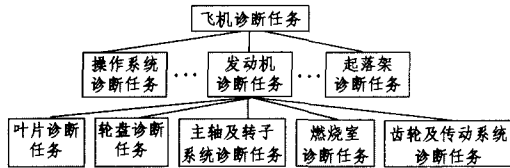


图 2 故障诊断任务分解后的层次结构

对复杂装备的综合分解是一个复杂的过程,由于系统的结构一般都是确定的,因此粗粒度的系统结构分析较容易完成。但细粒度的故障类型分析需要大量的专家知识和系统维修人员的实际操作经验,是一个增量和迭代的过程。

3.2 任务规约图与任务分解知识表示

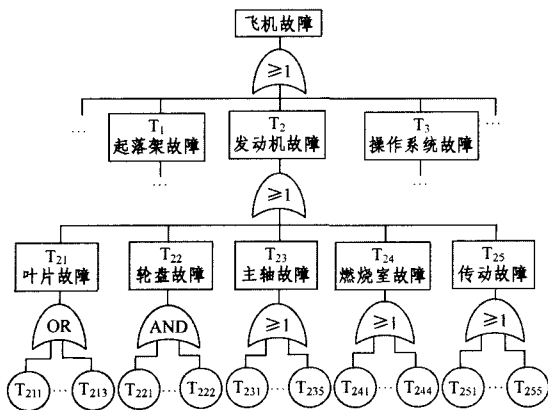


图 3 故障诊断任务归约图

对复杂装备的综合分解完成或者趋于稳定后,为了进行任务的分解推理,还必须将任务分解层次结构组织成知识的形式。本文中,任务分解层次结构的知识表示分成两步完成。首先借用图论中的似图结构^[3],将任务分解层次结构表示成任务归约图,或称为与或图的形式,如图 3 所示。其次,将任务归约图中的可解节点组织成类产生式规则的形式,构建相应的可解规则集和可解节点集。

任务归约图的表示用到图论中一些通用的概念,如父/子节点,弧线、起始节点,此外,还需扩展一些定义。

元节点,或称叶子节点,该节点的问题是直接可解的,即是某一诊断 Agent 能够独立解决的,如最下层的任务节点

T_{211} 至节点 X_{255} 。

与节点:必须解决此节点的全部子节点对应的问题,才能解决该节点的问题,如 T_{22} 轮盘故障诊断任务。与节点用符号“AND”表示,对应谓词演算符号“ \wedge ”。

或节点:解决此节点的某一个子节点对应的问题,就能解决该节点的问题,如 T_{21} 叶片故障诊断任务。或节点用符号“OR”表示,对应谓词演算符号“ \vee ”。

综合节点:解决此节点的某一个子节点对应的问题,或者通过解决此节点的某些子节点的集合(但不是全部子节点)对应的全部问题,就能解决该节点的问题,如 T_{23}, T_{24}, T_{25} 。综合节点用符号“ ≥ 1 ”来表示,根据需要,可将“ ≥ 1 ”分解成谓词演算符号“ \wedge ”,“ \vee ”的表达式。任务归约图中的大多数节点都是综合节点。

可解节点:指该节点对应的故障是可分析求解的。对于与节点,其全部子节点必须可解;对于或节点,至少有一个子节点或子节点的集合可解;对于综合节点,可将其分解后求解;任何元节点都是可解节点。

对一个系统的综合分解完成后,最理想的情况是其分解层次结构转换成的任务归约图包含的所有节点都是可解节点,但在系统设计与应用的初期,任务归约图的节点往往只有一部分是可解节点。随着对系统结构与故障分析的深入细化和专家知识的积累,任务归约图中可解节点才能不断增加。

可解规则、可解规则集和可解节点集:对于任何一个可解节点,都可以建立一条类产生式规则来说明任务分解情况,称为可解规则。如或节点 T_{21} 是一个可解节点,那么其子节点 $T_{211}, T_{212}, T_{213}$ 至少有一个可解。根据谓词演算,可以建立一条可解规则: $T_{21} \leftarrow T_{211} \vee T_{212} \vee T_{213}$ 。某个系统中全部的可解规则组成面向该系统的可解规则集。系统中全部的可解节点组成可解节点集。可解节点集中的每一个节点,都对应一条可解规则。

通过可解规则集和可解节点集,任务分解层次结构被组织成为类产生式规则的知识,构成了远程故障诊断多 Agent 系统进行任务分解推理的基础。

3.3 任务分解的逆向推理过程

构建了复杂系统的任务分解知识库,便可以进行具体的任务分解推理。本文讨论的多 Agent 系统采用逆向推理过程,推理过程如下:

1) 采用粗糙集^[4]将故障定位至系统的某一部位,即将故障映射至故障诊断任务归约图的某一节点 T_n ,称该节点为任务切入节点。

2) 在可解节点集中查找任务切入节点 T_n ,若有,则该全局诊断任务是可分解的;若无,则对当前系统来说,任务是不可分解的。

3) 在可解规则集中查找条件为 T_n 的规则,将规则中的子节点按照“或”关系划分成多个子集;若规则中没有“或”关系,则该子集为其本身。

4) 对于第一个子集中的节点,按照深度遍历的方式,在可解规则集中进行规则匹配和分解,直至将所有节点分解为元节点。若该子集不能成功分解成为元节点,则对下一个子集进行相同操作,直至最后一个子集。

5) 若某一个子集成功的完全分解成元节点的形式,则所有这些元节点的集合就构成了该全局诊断任务的子任务集。

4 基于合同网的任务分配

基于任务分解的知识表示和逆向推理机制,把一个全局诊断任务分解成诊断任务集后,系统需根据一定的控制策略,

选择合适的任务 Agent 完成任务集中的诊断任务。由 Randall Devis 和 Reid G. Smith^[5] 提出的合同网协议 (Contract Net Protocol) 是关于任务和资源分配的经典协调策略, 为 Agent 之间的协商提供了良好且明确的交互模型。合同网协议本身是完全分布式的求解过程, 符合多 Agent 系统问题求解的机制, 是多 Agent 系统中使用的最多的任务分配协议。合同网建立在一个非集中式的市场结构基础上, 在协议中主要有两种角色: 任务管理者 (Manager) 和任务承包者 (Contractor), 对应于故障诊断系统中的任务管理 Agent 和诊断 Agent。传统的基于合同网的任务分配协商过程可以分为三个主要阶段: 首先任务管理 Agent 向诊断 Agent 宣布任务; 诊断 Agent 根据任务属性、自身能力和拥有资源对任务进行评估, 根据评估结果向任务管理 Agent 投标; 任务管理 Agent 接收标书并对标书进行评估, 根据评估结果选择一个诊断 Agent 分配相应任务。

对于故障诊断多 Agent 系统, 合同网协议还存在一些不足, 主要包括:

1) 同一系统中的故障往往具有重复性和再现性, 专家采用相同的诊断分析方法来解决相同或高度类似的问题是一种自然的逻辑。与此相对应, 在故障诊断多 Agent 系统中, 诊断任务也具有重复性, 而合同网协议本身没有利用经验知识的设计。

2) 合同网协议进行任务发布的对象是系统中所有的诊断 Agent, 而在故障诊断多 Agent 系统中, 发布的任务都是经过分解的, 面向特定领域的, 因此只有具有相应知识的诊断 Agent 才可能中标。发布任务的对象太广必然引起大量不必要的协商和通信开销。

3) 合同网协议选择一个理论上效用最好的诊断 Agent 作为任务中标者, 但多 Agent 系统的一大优点就是可以综合利用多种诊断方法来解决任务。采用单一中标者的机制会降低系统的灵活性。

针对以上问题, 本文对传统的合同网进行了相应的改进, 引入范例推理机制来利用任务分配经验知识; 引入任务响应域值机制来缩小任务发布对象范围; 引入多任务中标者机制和相应的冲突消解策略来综合利用多种诊断方法。

4.1 基于规模压缩混合蚁群算法的范例推理机制

在本文的多 Agent 系统中, 任务管理 Agent 每次成功地通过合同网分配了任务集之后, 都把故障信息和相应任务分配方案存入历史数据库中, 形成任务分配知识库。范例推理机制指任务管理 Agent 在发布一个分解后的诊断任务集之前, 首先在任务分配知识库中查找任务分配经验, 若已有相应任务分配知识, 则直接利用历史经验进行任务集的分配; 若找不到相关分配经验, 则再发布任务集。对任务分配知识的查找过程与传统的 TSP 问题中的路径搜索有很大的相似性, 在文献[6]提到了应用基本蚁群算法搜索知识的机制, 但应用中发现其收敛速度太慢。本文采用的基于规模压缩的混合蚁群算法^[7]来查找任务分配知识。基本参数设置 $Q=100, \alpha=\rho=0.1, \beta=2$, 片断长度比例参数 $g=10\%$, 次优解参数 $h=5$, 蚂蚁数量设为任务集中子任务的个数。与基本蚁群算法相比, 新方法的收敛的时间缩短了 60% 左右, 并且解的质量有显著改善。

4.2 基于响应阈值的任务招标

响应阈值的概念是 Bonabeau^[8] 等人提出来的, 最初应用于蚁群系统的任务分工机制。其机制是: 当个体 (蚂蚁) 在任务关联的刺激超过它们的域值时开始参与任务, 若刺激强度较高或者个体本身的域值较低时, 个体完成任务的可能性大为增加。在多 Agent 系统中, 任务管理 Agent 在发布某项任务时, 从缩小任务发布对象范围的考虑出发, 自然愿意选择有较大可能性完成该任务的 Agent 群体作为任务发布对象。为

了应用响应阈值机制, 首先基于复杂系统的任务分解过程的分析, 预定义基本任务类型。其次, 任务管理 Agent 为发布的任务设立面向特定领域的任务刺激强度参数 t_s , 包括任务类型与刺激强度值两个属性; 与此相对应, 各个诊断 Agent 设立任务响应参数 t_r , 同样包括任务类型与值两个属性。如果某个诊断 Agent 只有一个类型的任务响应参数, 则称这类 Agent 是面向单任务的类型; 如果某个诊断 Agent 维护多个类型的任务响应参数列表, 则称该类 Agent 是面向多任务的类型。最后, 任务管理 Agent 维护系统中所有诊断 Agent 的任务响应参数表, 来进行任务类型的匹配与阈值响应的判断。

对于某一个具体子任务, 如果存在一个以上诊断 Agent 的 t_r 与该任务的 t_s 类型匹配 (即诊断 Agent 与发布的任务属于同一领域) 且 $t_r \geq t_s$, 则称该任务是可被响应的; 如果存在一个以上 t_r 与 t_s 类型匹配, 且 $t_r < t_s$, 则称该任务是潜在被响应的; 如果没有一个诊断 Agent 的 t_r 与 t_s 类型匹配, 则称该任务是不可响应的。

若任务是可被响应的, 则所有能够响应该任务的 Agent 构成了该任务的发布对象集合。若任务是潜在被响应的, 则应考虑降低该任务的刺激强度, 增加能够响应该任务的诊断 Agent 数量; 若任务是不可响应的, 说明系统中缺少能够解决该类问题的 Agent。

4.3 冲突消解策略

当一个任务是可被响应的, 任务管理 Agent 就把该任务向所有响应诊断 Agent 发布。根据权重、信任度和任务开销等综合因素考虑, 任务管理 Agent 可以选择一个以上的诊断 Agent 作为任务中标者。在传统的合同网协议中, 只有一个理论上效用最好的诊断 Agent 成为任务中标者; 在本文讨论的系统中, 可以存在多个诊断 Agent 成为任务中标者。对于同一任务, 如果多个诊断 Agent 得出了完全一致的结论, 则称该任务的诊断结果是协调一致的; 但在大多数情况下, 各个诊断 Agent 得出的诊断结果往往是不一致的, 称为诊断结论的冲突。系统中, 诊断 Agent 诊断结果的主要形式是对可能引起故障的可能性的模糊推理结论, 本文中主要讨论对模糊集合或者故障隶属函数形式的结论进行冲突消解的机制。

如对某型号飞机发动机的故障诊断结果形式上为一个二维表:

表 1 发动机故障诊断结果表示

故障原因	叶片	轮盘	齿轮	...
隶属度	0.95	0.25	0.17	...

设对该诊断任务, 神经网络诊断 Agent 和模糊诊断 Agent 都是任务中标者, 但对于发动机叶片问题可能性的判定有不同的结论, 且各个 Agent 对同一任务结论的权重根据其算法精确性等指标而有所不同, 必须进行冲突消解。

有多种模糊判决方法可以选用, 如重心法、最大隶属度法、隶属度限幅元素平均法等。但这些方法存在一定的缺陷, 如重心法的计算比较复杂, 而最大隶属度法未综合考虑各个隶属度的影响。在系统中, 最终的隶属度 u 采用系数加权平均法来确定:

$$u = \sum k_i * x_i / \sum k_i \quad (1)$$

式中 k_i 指诊断 Agent 的权重, x_i 指诊断 Agent 的隶属度。

基于神经网络方法的诊断 Agent 认为故障隶属是 0.80, 而应用模糊方法的诊断 Agent 得出的结论是 0.70。Agent 的权重由系统预设, 并根据用户的对任务结果的反馈进行调整。设系统分配给神经网络诊断 Agent 和模糊诊断 Agent 的权重分别是 0.6 和 0.4。根据式 (1), 冲突消解后的最终故障隶属度是 0.76。

结束语 通过与环境以及个体之间的交互协作, 多 A-

gent 系统涌现出一定的智能性,能够解决传统技术无法解决的复杂问题,其思想十分适合大规模故障诊断系统的设计和实现。为解决复杂装备日渐突出维修保障问题,作者研究了 MAS 故障诊断系统,重点探讨了任务分解与分配策略。与传统故障诊断系统相比,MAS 故障诊断系统具有诸多优点:集体智能性、可扩充性、资源重用能力和容错性等。发展基于多 Agent 系统的远程故障诊断系统也符合复杂装备维修保障需求的网络化和智能化趋势。在某国家部委项目的应用中,该原型系统显示出了较高的准确性和智能性。

参考文献

[1] Wooldridge M. 石纯一,等译. An Introduction to MultiAgent Systems [M]. 北京:电子工业出版社,2003
 [2] 高庆,李田,魏震生. 层次分析在故障诊断中的应用[J]. 火力与指挥控制,2006(2)

[3] 蔡自兴,姚莉. 人工智能及其在决策系统中的应用[M]. 长沙:国防科技大学出版社,2006
 [4] 李千目,戚湧,张宏,等. 基于粗糙集神经网络的网络故障诊断新方法[J]. 计算机研究与发展,2004(10)
 [5] Leonardi E, Mellia M, Neri F. Bounds on Average Delays and Queue Size Averages and Variances in Input-queued Cell-based Switches [J]//Proc. IEEE INFOCOM. 2001(2):1095-1103
 [6] 刘建辉,张俊利,王爽. 基于 Agent 的远程协同故障诊断系统研究[J]. 计算机测量与控制,2006(1)
 [7] 严建峰,李伟华,杜北. 基于规模压缩的混合蚁群算法[J]. 控制与决策,2007(9)
 [8] Guerin R, Peris V. Quality-of-service in Packet Networks: Basic Mechanisms and Directions [J]. Computer Networks, 1999, 31(3):169

(上接第 104 页)

否则它不能被更具体化。

使用上面的定义,我们可以简洁地描述 TEIRESIAS 问题:

问题定义:给定一个输入字符串集合 $s = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ 以及参数 L, W, K 。找到所有最大的 $\langle L, W \rangle$ 模式,且这些模式最少支持 K (即:它们至少出现在属于 S 的 K 个独立字符串中)。

3.2 DNA 算法在邮件过滤上的应用

DNA 算法是解决搜索问题的一种通用算法,对于各种通用问题都可以使用。搜索算法的共同特征为:①首先组成一组候选解;②依据某些适应性条件测算这些候选解的适应度;③根据适应度保留某些候选解,放弃其他候选解;④对保留的候选解进行某些操作,生成新的候选解。

大量的病毒通过邮件这个载体感染计算机,于是反垃圾邮件技术就成为了信息安全防范的一个重要措施和研究热点,目前常用的垃圾邮件过滤技术包括白名单和黑名单、内容过滤、身份验证等,基于上述 DNA 算法的特性,下面就用 DNA 算法中的 TEIRESIAS 算法来实现在邮件中对垃圾邮件的过滤。具体做法是从训练集中识别出正常邮件和垃圾邮件的模式集合,采用模式匹配的方法识别垃圾邮件。

3.2.1 邮件的表示

采用贝叶斯分类,邮件 D_i 被表示为一个向量 $D_i = \{W_{1i}, W_{2i}, \dots, W_{mi}\}$, 这里 $W_{1i}, W_{2i}, \dots, W_{mi}$ 分别表示邮件 D_i 在属性 X_1, X_2, \dots, X_n 上的权重。将邮件转换成这样一组向量需要三个步骤:从训练集中得到所有符合一定条件的属性;根据某算法,选择一定数量的属性构成属性集;根据邮件对属性集中所有属性的匹配情况,计算邮件对各属性的权值。下边分别介绍这三个步骤。

(1)传统的贝叶斯垃圾邮件过滤中,采用词作为属性。对于英文,词与词之间有空格隔开,词语的抽取非常容易。处理中文邮件则需要引入中文词法分析系统,以从邮件中抽取中文词语。基于模式的贝叶斯垃圾邮件过滤是以模式(正则表达式)作为属性。本文采用第 2 节所介绍的 TEIRESIAS 算法从邮件中获取模式。首先获取出现次数超过一定阈值 K 的基本模式,再通过卷积得到所有最大模式。

(2)本文采用信息增益算法来选择属性。计算每个属性的信息增益值,选取具有最大增益值的 N 个属性构成用于过滤的属性集。信息增益值, G 的计算公式如下:

$$IG(X) = \sum_{x \in \{0,1\}, c \in \{SPAM, HAM\}} P(X=x, C=c) \log$$

$$\frac{P(X=x, C=c)}{P(X=x)gP(C=c)}$$

(3)最简单的权值计算办法是布尔方法:邮件中出现某个属性。邮件对其权为 1, 否则为 0。采用布尔方法。

3.2.2 训练和分类算法

根据贝叶斯公式,邮件属于某类的概率可以通过下式计算:

$$P(C=c/D_i) = \frac{P(C=c)P(D_i/C=c)}{P(D_i)}$$

上式中, $P(C=c)$ 和 $P(D_i)$ 都容易根据训练集得出,问题的关键在于计算 $P(D_i/C=c)$ 。朴素贝叶斯假设所有属性是相互独立的,于是有:

$$P(D_i/C=c) = \prod_{i=1}^n P(X_i/C=c)$$

一般认为将一封正常邮件错判为垃圾邮件所造成的损失要远大于漏过一封垃圾邮件。假设错判一封正常邮件的代价是漏过一封垃圾邮件代价的 A 倍,则一封邮件 D_i 被分类器判断

为垃圾邮件应该满足:

$$\frac{P(C=SPAM/D_i)}{P(C=HAM/D_i)} > \lambda$$

由于 $P(C=SPAM/D_i) = 1 - P(C=HAM/D_i)$, 设 $t = \frac{\lambda}{1+\lambda}$, 则将 D_i 判断为垃圾邮件的前提是 $P(C=SPAM/D_i) > t$ 。

结束语 信息安全是一个综合性的课题,涉及技术、管理、使用等许多方面,既包括信息系统本身的安全问题,也有物理的和逻辑的技术措施,一种技术只能解决一方面的问题,而不是万能的。目前更多更新的算法方法都被应用到信息安全的各个方面中来,只有严格的保密政策、明晰的安全策略以及高素质的人才才能完好、实时地保证信息的完整性和确证性。

参考文献

[1] Adleman L M. Molecular computation of solutions to combinatorial problems[J]. Science, 1994, 266(5187):1021-1023
 [2] Lipton R J. DNA solution of hard computational problems[J]. Science, 1995, 268(5210):542-545
 [3] 胡志望. 互联网上隐私信息的安全问题研究[J]. 微计算机信息, 2006(7):94-97
 [4] 陆正伟. 一种应用免疫原理的入侵检测原型系统[J]. 微计算机信息, 2006(7):97-100
 [5] 李士勇. 模糊控制神经网络和智能控制论. 哈尔滨工业大学出版社, 1998:116-119
 [6] 任立红,等. 采用 DNA 遗传算法优化设计的 TS 模糊控制系统. 控制与决策, 2001, 16(1):16-24