

面向通侦信息融合的多层黑板模型

徐从富, 耿卫东, 潘云鹤
(浙江大学人工智能研究所, 杭州 310027)

摘要: 本文提出了一种用于通侦信息智能化融合系统的多层黑板模型, 讨论该模型的体系结构和实现方法, 给出几个关键算法和一个应用例子, 最后指出该模型对解决各级子黑板之间呈现出层次关系的一类问题具有普适性。

关键词: 黑板模型; 信息融合; 通信电子战; 通侦信息

中图分类号: TP18 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112(2001)03-0361-03

Multi-hierarchical Blackboard Model for Communication Intercept Information Fusion

XU Cong-fu, GENG Wei-dong, PAN Yun-he
(Institute of Artificial Intelligence, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: In this paper, a hierarchical blackboard model for intelligent fusion system of communication intercept information is brought forward. The architecture of this blackboard model and its implementation method are discussed, and some key algorithms and an application example are presented. The universality of this model in such kind of problem, in which the relation among all sub-blackboards tends to be hierarchical, is pointed out finally.

Key words: blackboard model; information fusion; communication electronic warfare; communication intercept information

1 引言

通侦信息智能化融合是通信电子战(通信对抗)研究的难点之一^[1]. 它通过对通侦信息进行关联、分析、综合、推理和判断, 得到敌军无线电通信网台的属性、身份、配置等, 进而掌握敌军态势和威胁. 在实际通信对抗中, 敌军经常发出一些电磁欺骗信号迷惑我军, 以隐蔽其真实作战意图, 故通侦信息中不可避免地带有不准确和虚假信息. 由于现代通信技术的突飞猛进, 特别是跳频和扩频技术的发展, 很难获取和确认敌军通侦信息, 即使有也是非常有限和模糊的. 通侦信息还有一个很重要的特点是变动性大, 敌军在和平时期采用一套通信频率, 我军通过长期的侦听可能比较熟悉, 一旦出现紧急情况(如战争或军事演习), 敌军可能立即采用另一套对我军而言完全陌生的频率. 由于敌军重要信息都是通过密报传递, 我军在破译密码之前主要通过分析技术参数、通联特征、友邻通报和人工情报来判断敌军情况. 要从这些不完整的、模糊的、不断变化的和带有虚假情报的信息中融合出正确结论是一件具有挑战性的工作. 黑板模型^[2]是一种十分有效的融合方法^[3], 人们针对不同应用领域对其做了许多改进. 为解决实时性问题, 文献[4]和[5]分别提出实时黑板模型和分布式黑板模型; 文献[6]给出一个通用黑板体系结构以满足专家系统并发处理要求; 文献[7, 8]介绍了一个具有通用性和可扩充性的基于黑板的

知识库模型, 等等^[9]. 本文考虑到通侦信息融合的上述特点, 提出一种独特的多层黑板模型. 下面首先给出黑板模型的体系结构, 然后讨论其实现和关键算法, 最后给出一个例子.

2 黑板模型的提出

由于证实正确信息尽早剔除虚假情报, 是保证通侦信息融合过程正常进行的关键, 故提出图1所示黑板模型. 图中黑板为三级层次递进结构, 即属性级高于参数级, 态势级高于属性级. 知识源也分为与黑板对应的三级. 黑板与知识源之间的刺激关系由“刺激模块”来完成, 该系统规定每级黑板可刺激与其同级及以上级别黑板对应的知识源. 为体现证据的积累过程, 使融合中间结果能不断地被新到来的证据所验证, 该模型设计一个匹配链表结构, 用于存放知识源受刺激后由“响应模块”产生的中间结果. 链表中的数据经“判断模块”处理后才更新黑板. “控制模块”负责协调上述三个模块. 匹配链表中分别存放国别、军兵种、军队级别、网台种类、通信级别、通信用途、敌军行动和威胁等级等推理中间结果. 它主要解决: (1) 当出现多个结果时, 取出最合理者; (2) 对矛盾结论的判断及取舍. 匹配链表每节点包括匹配关键字、匹配累计记数、可信度和决策优先级等. 一般威胁程度越高者其决策优先级也越高, 规定1级最高, 其余类推.

3 黑板模型的实现

3.1 黑板中的数据结构

参数级黑板:: = /技术参数, 通联特征, 友邻通报, 人工情报/

技术参数:: = /频率, 频段分配, 频段使用方式, 波段, 变频规律, 频率稳定度, 调制方式, 带宽, 信号电平, 传输速率, 最大功率, 经度, 纬度, 示向度/

通联特征:: = /呼号组成, 报号组成, 工作种类, 电报种类, 电报等级, 日报文组数, 电码符号集个数, 流水号种类, 通信术语, 通信级别, 联时特征, 信号强度, 采用语种, 业务水平, 呼叫口气, 手法特点, 音响特征/

友邻通报:: = /装载平台种类, 平台运动速度, 敌防御地区, 敌攻击部队种类, 敌战斗队形, 敌火力运用/

人工情报:: = /敌地形, 敌交通, 敌气象, 敌军兵种, 敌军队级别, 敌军番号, 敌装备技术水平, 敌火力运用, 敌军行动, 敌军意图/

属性级黑板:: = /国别, 平台种类, 网台标志, 网台种类, 电台个数, 网台部署区域, 网台配置方法, 通信级别, 通信用途, 敌军兵种, 军队级别, 敌军番号/

态势级黑板:: = /敌军装备技术水平, 敌军行动, 敌军意图, 敌军战备等级, 敌军威胁等级/

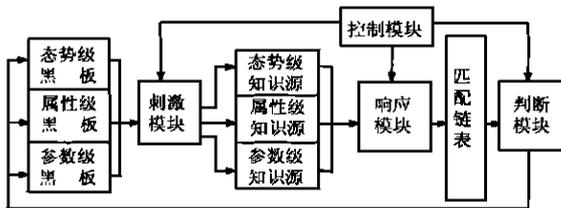


图1 黑板模型体系结构方框图

3.2 黑板模型的实现

黑板模型的实现如图2所示。该系统采用知识库形式, 库中包含50多张由前提、结论、可信度和决策优先级组成的推理规则表。从功能角度上看, 知识库、匹配链表、刺激模块、响应模块和判断模块相当于经典黑板模型^[2]中的知识源。控制模块通过调度另外三个模块以实现对黑板和知识源的协调。

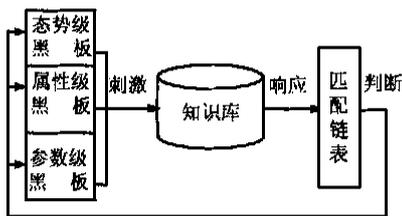


图2 黑板模型的实现

黑板模型的实现如图2所示。该系统采用知识库形式, 库中包含50多张由前提、结论、可信度和决策优先级组成的推理规则表。从功能角度上看, 知识库、匹配链表、刺激模块、响应模块和判断模块相当于经典黑板模型^[2]中的知识源。控制模块通过调度另外三个模块以实现对黑板和知识源的协调。

4 基于黑板的关键算法

该系统采用刺激、响应、判断和控制模块四个关键算法。

4.1 刺激模块算法

刺激模块根据黑板状况的变化自动刺激合适知识库。黑板的层次关系通过刺激顺序来体现, 先从最低级黑板开始刺激知识库, 依次类推。这是由于参数级黑板的某些内容可推出属性级黑板的某个(或某些)项, 属性级与态势级黑板的关系亦然。如已知敌军参数级黑板情况为平台运动速度很高、电报

等级为Z级、通信术语带紧急要求, 则一般可得平台种类很可能是飞机、通信用途为地空通信、敌军兵种为空军等属性与身份; 进而得敌军行动为特急行动、意图可能是空袭、敌军战备及威胁等级均为一级。刺激模块算法步骤如下:

步1: 若参数级黑板状态已改变, 则找到与改变内容相关的知识库, 并访问之。

步2: 若属性级黑板状态已改变, 与步1操作类似。

步3: 若态势级黑板状态已改变, 与步1操作类似。

4.2 响应模块算法

响应模块将知识库受刺激后产生的中间结果存入匹配链表, 算法步骤如下:

步1: 根据刺激模块产生的中间结果找到相应匹配链表。

步2: 在该链表中寻找匹配节点。

(1) 若有, 则对该节点的匹配记数加1; 并比较节点与中间结果可信度大小, 若节点可信度小, 则用中间结果的可信度代替之;

(2) 否则, 创建新节点并赋值, 即写入该中间结果内容(结论、可信度及决策优先级), 匹配累计记数设置为1, 并将新节点添加到匹配链表末尾。

4.3 判断模块算法

判断模块算法对匹配链表节点逐一比较, 找出匹配累计记数和可信度都为最大者; 若匹配累计记数和可信度最大的节点不是同一个, 则根据具体情况采用相应的取舍办法, 如可采用可信度最大-最小阈值法、决策优先级法。判断模块算法步骤如下:

步1: 搜索匹配链表中匹配累计记数及可信度均最大项。

(1) 若有且仅有一项, 则该项即为判断结果;

(2) 若有且多于一项, 则取决策优先级最高者(称为决策优先级法);

(3) 若匹配累计记数及可信度最大者不为同一节点, 则采用可信度最大-最小阈值法: 若匹配累计记数最大节点的可信度小于某阈值, 而可信度最大节点大于某阈值, 则取后者为判断结果; 反之, 取前者。

步2: 用判断结果更新黑板中相应内容。

4.4 控制模块算法

控制模块非常简单, 其任务是决定另外三个模块的执行顺序, 其步骤如下:

步1: 运行刺激模块。

步2: 运行响应模块。

步3: 运行判断模块。

5 应用举例*

下面举例说明利用本文所述多层黑板模型进行通侦信息融合的过程。须特别指出的是, 该系统实际运行时刺激的推理规则表远不只以下关系表, 因篇幅所限, 故未能全部列出。

例: 已侦察到某电台的信号频率88MHz, 发射功率约70w,

* 本例中的数据及结论与任何政治或军事组织无关, 仅用于学术讨论

电码符号集个数 31, 报号由 4 码组成, 采用月流水号, 电报等级为 Z 级。融合过程如下:

(1) 运行控制模块。

(2) 刺激模块根据参数级黑板最新变化搜索知识库。首先将频率转换成频段分配, 88MHz 属于甚高频 (VHF), 然后用 VHF 分别搜索频段与军兵种关系表、频段与军队级别关系表。分别

表 1 第一次链表中内容及判断结果

| 类别 | 国别 | 军兵种 | | | 军队级别 | | | | | 敌军行动 |
|-------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|------|
| | | 陆军 | 海军 | 空军 | 师 | 团 | 营 | 连 | 排 | |
| 匹配关键字 | X 国 | | | | | | | | | 特急行动 |
| 累计计数 | 1 | 3 | 2 | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 可信度 | 0.8 | 0.9 | 0.4 | 0.7 | 0.9 | 0.6 | 0.5 | 0.3 | 0.1 | 0.9 |
| 决策优先级 | 1 | 2 | 3 | 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 |
| 判断结果 | X 国 | 陆军 | | | 师 | | | | | 特急行动 |

此时属性级黑板中的国别、军兵种和军队级别分别被更新为 X 国、陆军和师, 态势级黑板的敌军行动为特急行动。

(5) 刺激模块发现属性级黑板状态出现变化, 但由于无国别、军兵种和军队级别作为前提条件的推理规则表, 故跳过随后的响应模块和判断模块。

(6) 刺激模块根据态势级黑板的变化刺激敌军行动与战备及威胁等级关系表。随后操作与上述(3)、(4)步类似, 得到如表 2 所示匹配链表内容及判断结果。

这时态势级黑板中的敌军战备等级和威胁等级均为一级。整个融合过程到此已完整地执行一遍, 若无别的信息输入即结束。融合结果如表 3 所示。

表 3 融合结果

| 类别 | 国别 | 军兵种 | 军队级别 | 敌军行动 | 战备等级 | 威胁等级 |
|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| 结论 | X 国 | 陆军 | 师 | 特急行动 | 一级 | 一级 |
| 可信度 | 0.8 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.95 | 0.95 |

6 讨论

目前, 基于本文多层黑板模型的通侦信息智能化融合系统已实现, 并在中国人民解放军某工程学院的通信对抗模拟演习得到了验证, 收到较好结果, 证明该模型是完全可行的。同现有的大部分黑板模型^[2-8]相比, 该模型的黑板结构具有层次递进关系, 黑板与知识源的耦合程度较经典模型^[2]松。该模型将知识源分成被动和主动两类, 其中知识库和匹配链表为被动, 刺激、响应和判断模块为主动, 这不仅解决了证据积累和虚假情报的剔除问题, 且大大简化了控制模块的工作, 而控制机制一直是其它黑板模型十分棘手的问题^[4,5]。因该模型对黑板结构进行合理分层, 并严格规定黑板与知识库之间的刺激顺序, 从而避免其它黑板模型普遍存在的资源需求爆炸和死锁问题^[6-8]。从功能角度上看, 因该模型不是在知识库受刺激后立即对黑板进行更新, 而是紧接着进行链表匹配和判断等操作, 有效地避免了因错误信息引起对黑板误写, 且优化了融合过程的中间结果, 判断模块与黑板的通信量也大大减少。本文多层黑板模型解决了分布式黑板模型中存在的一致性难以保持、子系统之间通信过于频繁及内存开销大等问题^[5]。此外, 该模型的实现也非常容易。综上所述, 该模型主要有以下特点: 黑板结构分层布置, 各级子黑板与知识源的对应

搜索发射功率与军队级别关系表、电码符号集个数与国别关系表、报号组成与军兵种关系表、报号组成与军队级别关系表、流水号与军兵种关系表、电报等级与敌军行动关系表等。

(3) 响应模块根据知识库搜索结果对匹配链表进行操作。

(4) 运行判断模块。这时匹配链表的内容及判断结果如表 1 所示。

表 2 第二次链表中内容及判断结果

| 类别 | 敌军战备等级 | 威胁等级 |
|-------|--------|------|
| | | |
| 累计计数 | 1 | 1 |
| 可信度 | 0.95 | 0.95 |
| 决策优先级 | 1 | 1 |
| 判断结果 | 一级 | 一级 |

关系明确; 体现了信息积累过程; 简化了刺激和响应知识源的过程; 控制和调度算法实现简单; 运行效率高, 实时性好等。军事、国防组织和操作固有的层次性决定其信息融合过程是一个层次处理问题^[3], 因此本文提出的多层次黑板模型对军事及相关领域的信息融合具有一定的普遍性和通用性。

致谢 谢谢、茹黎明、叶军诚、邢康博和刘勇等为本系统的实现做了大量的编程工作, 在此表示衷心的感谢。

参考文献:

- [1] 熊群力. 通信对抗的未来发展 [J]. 通信对抗, 1996, 2: 1-5.
- [2] Nii, H. P. Blackboard systems: the blackboard model of problem solving and the evolution of blackboard architectures [J]. The AI Magazine, 1986, 7(2): 38-53.
- [3] Llinas, J., et al. Blackboard concepts for data fusion applications [J]. Inter. Journal of Pattern Recognition and AI, 1993, 7(2): 285-308.
- [4] Johnson, J., et al. Real-time blackboards for sensor fusion [A]. Proc. of SPIE The Inter. Society for Optical Engineering: Sensor Fusion [C], Washington, 1989, 1100: 61-72.
- [5] Hamon, S. Y., et al. Sensor data fusion through a distributed blackboard [A]. Proc. of 1986 IEEE Inter. Conf. on Robotics and Automation [C], San Francisco, 1986: 1449-1454.
- [6] Stephen, D. T., et al. Implementation of a generic blackboard architecture [A]. Proc. of SPIE The Inter. Society for Optical Engineering: Applications of Artificial Intelligence V [C], Washington, 1987, 786: 116-124.
- [7] Shahbazian, E., et al. Fusion of imaging and nonimaging data for surveillance aircraft [A]. Proc. of SPIE-The Inter. Society for Optical Engineering [C], Washington, 1997, 3067: 179-189.
- [8] Shahbazian, E., et al. Multi agent data fusion workstation (MADF) architecture [A]. Proc. of SPIE The Inter. Society for Optical Engineering, Sensor Fusion: Architectures, Algorithms, and Applications II [C], Washington, 1998, 3376: 60-68.
- [9] McManus, J. W., et al. Design and analysis techniques for concurrent blackboard systems [J], IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics Part A: Systems and Humans, 1996, 26(6): 669-680.

作者简介:

徐从富、耿卫东、潘云鹤 (见本期第 396 页)