

# 基于CBR的新型防空导弹故障诊断专家系统研究

李洪刚, 赵兴锋, 李刚, 赵海涛, 董忠文

(中国人民解放军66440部队, 石家庄 050081)

**摘要:** 应用基于案例推理技术研究了某新型防空导弹的故障诊断问题。在对原理进行介绍的基础上, 采用CBR的知识表示方法及推理机制等建立了故障诊断专家系统, 给出了诊断实例, 使导弹武器系统的诊断推理保证了高效率和高质量。

**关键词:** 基于案例推理; 专家系统; 故障诊断; 防空导弹

**DOI:** 10.7643/issn.1672-9242.2013.04.021

**中图分类号:** TJ765.4      **文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-9242(2013)04-0090-04

## Anti-aircraft Missile Fault Diagnosis Expert System Based on CBR

LI Hong-gang, ZHAO Xing-feng, LI Gang, ZHAO Hai-tao, DONG Zhong-wen

(Unit 66440 of PLA, Shijiazhuang 050081, China)

**Abstract:** The Case-Based Reasoning technology was used to study the problems of anti-aircraft missile equipment fault diagnosis. The principle of CBR theory was introduced. The knowledge representation method and reasoning mechanism of CBR was used to construct the fault diagnosis expert system, and the diagnosis example of the system was given. High efficiency and high quality fault diagnosis of anti-aircraft missile equipment was realized by using the system.

**Key words:** CBR; expert system; fault diagnosis; anti-aircraft missile

某新型防空导弹武器系统是集机械、电子、计算机及自动控制等多学科先进技术为一体的高精尖系统, 各单车各分系统结构和技术状态复杂, 部件之间相互关联、紧密耦合, 导致了故障类型和故障成因复杂多变, 难以建立适宜的数学模型, 故障诊断分析困难。如何为部队维修人员故障诊断提供尽可能多的技术支持并提高整个武器系统的完好率、作战效能是目前新型防空导弹武器系统综合保障的一项重要研究内容。

针对某新型防空导弹武器系统生产调试和装备部队使用过程中的故障诊断、维修, 通过讨论故障案例库的构建、案例的检索匹配及案例的修改与维护等关键问题, 逐步实现了基于CBR分析方法的故障诊断专家系统。

## 1 CBR的基本原理

案例推理(Case-Based Reasoning, CBR)最早由

收稿日期: 2013-02-28

作者简介: 李洪刚(1981—), 男, 河北河间人, 硕士, 助理工程师, 主要研究方向为控制工程。

美国耶鲁大学 Roger Schank 教授在其 1982 年的著作 Dynamic Memory 中提出。CBR 来源于人的认知心理活动,人类在面临一个新问题时,往往将其与过去类似的案例相联系,参考过去的经验和方法来解决当前问题。作为人工智能领域新崛起的一项重要的推理技术,CBR 方法目前广泛应用于机械辅助设计、故障诊断、医疗诊断、金融和财务预警、软件成本评估等<sup>[1-3]</sup>。

基于案例推理是一种基于经验知识的推理方法,适用于没有完整、精确的数学模型,而有丰富经验和大量历史记录领域,如设计、诊断等<sup>[4-5]</sup>,尤其对于复杂的、非结构化的决策问题具有显著优势<sup>[6]</sup>。新型防空导弹武器系统结构复杂,许多故障现象难以用结构化数据进行表达,使规则提炼变得相当困难,采用基于规则推理(Rule Based Reasoning, RBR)的故障诊断方法难度较大;在生产调试过程中及装备部队后,研究人员积累了丰富的诊断经验,有很多实际诊断案例与经验知识。因此,将 CBR 方法应用于系统故障诊断和维护,可以避开规则难以提取、知识获取困难的瓶颈,同时将历史记录中难以规则化的知识和经验隐含在案例中,以案例形式表达,直观、容易理解,能够反映故障的总体概貌,有利于部队维修人员参考。

基于案例推理可表示为一个称为 4R 的循环过程:案例检索(Retrieve)→案例重用(Reuse)→案例修改/调整(Revise)→案例学习(Retain),如图 1 所示。

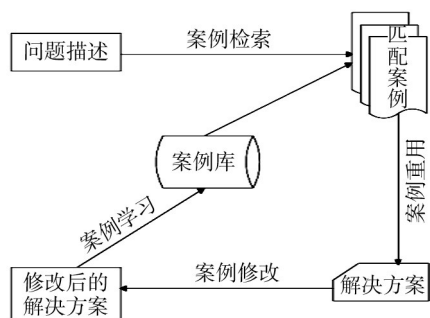


图1 基于案例推理流程

Fig. 1 Process of case-based reasoning

1) 问题描述。用户根据对当前问题的理解,用系统可以识别的语言对问题进行解释和描述。

2) 案例检索。根据新案例的特征,通过计算案例库中案例与新案例的匹配度,获得相似案例。案

例检索的目的是选出与要求最接近的案例,是目前 CBR 领域研究最多的问题,主要包括两个方面内容,一是如何提高速度,二是如何提高准确度。

3) 案例匹配。从检索出的案例中获得若干个求解方案,判断是否符合当前的求解需要。若符合,则直接利用这些方案解决问题;否则,对所检索出的案例进行修正。

4) 案例修改。根据检索出来案例的特点,对相似案例的解决方案进行修改,使之适用于新问题。

5) 案例学习。对求解结果进行分析评价,若求解结果可以接受,则保存案例,得到问题的解;否则,重新对案例进行匹配和修正,即 CBR 的学习方式。

6) 案例保存。将当前问题及其求解方案形成新的案例,根据一定的策略加入到案例库中。

## 2 基于 CBR 的故障诊断主要技术

### 2.1 案例的表示

案例表示是案例推理的数据基础,案例的表达要遵循一定的规则,形成规范的结构。合理的案例表示方法有助于提高案例检索的精度和速度。故障案例的知识表示就是特征属性提取的过程,对故障发生的具体情况尽可能详尽地描述,以便获得完整的故障信息。通过对该型防空导弹故障情况的分析,确定防空导弹故障案例由两部分组成:故障描述和故障解决方案。故障描述属性,包括故障车辆、故障现象或代码、发生时间、发生位置等;解决方案属性,包括解决方案编号、相关描述、故障原因、故障排除方法、解释、参考经验。

通过以上的特征属性,可以针对获取的导弹系统典型故障记录建立故障案例库。以导弹发射车为例,案例详细描述如图 2 所示,其中包括了案例的主要特征。

由于导弹系统故障案例各个特征属性的重要程度不同,在提取特征属性并逐个表达案例后,通过为各属性设置权重来表达不同属性对故障的影响程度。对于案例检索而言,重要的特征属性是故障现象或代码。

### 2.2 案例库的建立

案例库索引策略的合理与否直接影响到案例的

|        |                         |        |          |
|--------|-------------------------|--------|----------|
| 案例编号   | 导弹发射车001001             | 故障现象代码 | 热电池点火未执行 |
| 故障时间   | 导弹加电准备时                 | 故障位置   | 发射系统执行组合 |
| 故障描述   | 在对导弹进行加电准备时,热电池点火动作未执行  |        |          |
| 故障原因   | 执行组合的1#通道20板K10继电器故障    |        |          |
| 故障排除方法 | 打开执行组合盖板,更换检验合格的1#通道20板 |        |          |
| 案例解释   | 此故障由20板K10继电器第1脚通讯故障所导致 |        |          |

图2 导弹发射车案例描述实例

Fig. 2 Case description example of missile launching vehicle

检索效率,合理的索引结构可以缩小搜索范围,提高检索效率。根据导弹系统故障特点和部队在训练演习过程中的维修经验以及专家建议,对导弹系统维修案例库采用以下两类索引结构。

1) 基本信息类:按照导弹系统的基本信息和故障信息(如装备名称、机柜号、部队编号、故障部件、故障类、发生地点等)建立索引。

2) 结构信息类:故障通常发生于导弹系统的某个部件或组件,因此可根据导弹系统的层次结构(如液压系统、电器系统、能源系统等)建立索引。

采用关系数据库存储案例,利用关系数据库强大的数据管理功能,实现案例检索与案例添加、编辑、删除等操作。数据库结构由案例特征属性和相关辅助信息构成,一个记录对应一个案例,特征属性映射为数据库中的字段。

### 2.3 案例的检索

案例检索的目的就是从案例库中寻找一个或多个与当前问题最相似的案例。案例检索的效率与案例的索引结构、匹配算法密切相关,如何准确、快速地获得案例的解决方案是评价CBR系统的一个重要方面。导弹系统故障案例的检索分初步检索、案例匹配两个阶段进行。初步检索是根据待求解故障的突出特征,如故障类型或故障部件等,从案例库中检索出与之相关的一类案例;案例匹配是在初步筛选的一类案例基础上,全面比较所筛选出的案例与目标案例的相似性。因此,设计合理的案例匹配方法是CBR技术的关键之一。

目前使用的检索策略主要有最近相邻法、归纳索引法和知识引导法等<sup>[7]</sup>,其中最近相邻法是CBR中应

用最为广泛也较为简单的一种方法。考虑到导弹系统故障案例的描述特点,采用最近相邻法进行检索。

通过案例检索和匹配,得到了按相似度降序排列的候选案例集,维修人员可以选择相似度高的一個或几个案例作为参考。然而,所选出的排故案例与待解决的问题案例之间很难完全一致,通常存在或多或少的差异,可能无法直接应用,需要适当调整。由于系统很难实现案例内容自动修改,因此案例调整通常由人工完成。作为导弹武器系统排故,从大量的历史维修记录中找到最相似的排故方案,对维修人员具有很高的参考价值。维修人员可根据自身的知识在候选案例中选择最适合的案例辅助维修,并根据实际应用效果确定是否将此次排故过程作为一个新的案例添加到案例库。通过CBR系统的运行,不断丰富案例库,提高系统推理的准确性,促进经验、知识的学习。

### 2.4 案例的维护

随着新案例的加入和旧案例的删除,案例库不断完善和丰富,求解能力也逐渐增强。为避免案例库的无限膨胀和求解效率下降,需要对案例库进行维护。案例库维护的主要问题就是使案例的增加和删除更加科学、合理,而案例增加和删除策略的核心在于如何保持案例库的适当规模,即以最小的案例数量获取最大的案例覆盖集<sup>[8]</sup>。

1) 案例相似度决定增删策略。系统中设定相似度阈值为0.9和0.3,即相似度大于0.9时,删除新案例;相似度小于0.3时,保留新案例;相似度在两者之间的案例由专家确定。

2) 案例使用率决定增删。系统对案例库中的每个案例均设置一个字段记录案例的使用情况,当案例的使用率小于阈值0.1时,表示案例很少被重用,可根据当前案例库的案例数确定将该案例转移到临时案例库或作直接删除等处理。

在以上增删策略中,阈值可以在系统使用过程中根据案例库规模、应用情况以及专家建议等因素进行动态调整,以适应实际需求。

## 3 实例分析

基于CBR方法,应用.net开发工具实现了导弹

系统故障诊断专家系统。系统主要由基础信息管理及知识表达模块、案例库管理模块、诊断推理模块、用户界面和诊断报告模块组成,系统总体结构如图3所示。

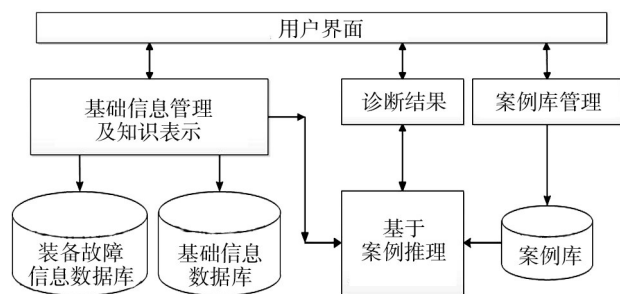


图3 系统总体结构

Fig. 3 Architectural structure of the system

以该系统导弹系统故障案例库为例,对一个新故障的诊断流程描述如下。

1) 问题案例输入。输入新故障已知的特征属性,包括故障现象或代码、发生时间和发生位置等。

2) 初步检索。根据索引策略,检索出对应的相似案例集。

3) 案例匹配。按照导弹武器系统维修专家经验,确定每个特征属性的权值;计算问题案例与候选案例各特征属性的相似度;根据最近相邻法计算问题案例与候选案例总的相似度,检索得到的候选案例匹配结果如图4所示。

| 案例编号            | 故障现象      | 故障原因              | 诊断步骤               | 相似度  |
|-----------------|-----------|-------------------|--------------------|------|
| BQ-12-21-F01002 | 伺服机构解锁未执行 | 执行组合1#通道20板X9接... | 打开执行组合盖板,重新安装...   | 0.88 |
| BQ-12-21-F01005 | 辅助支撑解锁未执行 | 执行组合1#通道20板X10... | 打开执行组合盖板,重新安装...   | 0.86 |
| BQ-12-21-F01005 | 解除保险未执行   | 执行组合2#通道50板X7接... | 执行组合2#通道50板X7继电器故障 | 0.63 |

图4 案例检索结果界面

Fig. 4 Result interface of case retrieval

4) 案例选择和重用。根据得到的案例匹配度排序结果,结合故障发生背景和实际情况,选用合适的案例作为排故的参考。

## 4 结语

把案例推理方法应用到某新型防空导弹武器系

统故障诊断中,通过建立导弹系统各类故障案例库,采用最近相邻算法计算相似度,找出与新故障相似的历史故障及维修记录,辅助装备维修技术人员对装备进行有效的维修维护。实例分析验证了该方法的可行性、实用性和有效性。

## 参考文献:

- [1] WANG W M, CHEUNG C F, LEE W B, et al. Knowledge-based Treatment Planning for Adolescent Early Intervention of Mental Healthcare: A Hybrid Case-based Reasoning Approach[J]. Expert Systems, 2007, 24(4): 232—251.
- [2] 邵荃, 翁文国. 城市火灾案例库辅助决策方法的研究[J]. 中国安全科学学报, 2009, 19(1): 113—117.
- [3] 李青, 史雅琴. 基于案例推理方法在飞机故障诊断中应用[J]. 北京航空航天大学学报, 2007, 33(5): 622—626.
- [4] 杨叔子, 丁洪, 史铁林, 等. 基于知识的诊断推理[M]. 北京: 清华大学出版社, 1993: 65—68.
- [5] CHEN W C, TSENG S S, CHEN J H, et al. A Framework of Features Selection for the Case-based Reasoning[C]// Systems, Man, and Cybernetics, 2000 IEEE International Conference on. IEEE, 2000, 1: 1—5.
- [6] CHIU C, CHIU N H, HSU C I. Intelligent Aircraft Maintenance Support System Using Genetic Algorithms and Case-based Reasoning[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2004, 24(5—6): 440—446.
- [7] LI Y, SHIU S C K, PAL S K. Combining Feature Reduction and Case Selection in Building CBR Classifiers[J]. Knowledge and Data Engineering, IEEE Transactions on, 2006, 18(3): 415—429.
- [8] 陈挺, 郭颖, 刘云超. 中文字段匹配算法[J]. 计算机工程, 2003, 29(13): 118—119.