

# 基于改进合同网的复杂装备故障诊断方法

李云飞<sup>1</sup>, 胡国平<sup>1</sup>, 李天<sup>1</sup>, 李威<sup>2</sup>

(1.空军工程大学防空反导学院,陕西西安,710051;2.93704部队,北京,101149)

**摘要** 针对复杂装备故障诊断任务分配与结果融合问题,给出了地空导弹故障诊断任务模型的描述,将案例推理与合同网任务分配方法相结合,弥补了合同网对经验知识利用不足的弱点;对传统合同网的任务分配方法进行了改进,给出了具体的算法流程描述,对招标范围和中标评估策略进行了深入研究;针对多资源参与下故障诊断结果冲突的情况,将诊断结果模糊融合算法进行了改进,实例融合结果表明其能有效修正群体决策中的偏差。

**关键词** 故障诊断;改进合同网;任务建模;任务分配;结果融合

**DOI** 10.3969/j.issn.1009-3516.2014.06.014

**中图分类号** TP206. +3 **文献标志码** A **文章编号** 1009-3516(2014)06-0063-04

## A Fault Diagnosis Method of Complex Equipment Based on Improved CNP

LI Yun-fei<sup>1</sup>, HU Guo-ping<sup>1</sup>, LI Tian<sup>1</sup>, LI Wei<sup>2</sup>

(1. Air and Missile Defence College, Air Force Engineering University, Xi'an 710051, China;

2. Unit 93704, Beijing 101149, China)

**Abstract:** Aimed at the problems of the task assignment and results fusion in fault diagnosis of the complex equipment, a certain type of ground-to-air missile fault diagnosis task model is described to make up for the weakness of CNP underutilization of empirical knowledge, and the case-based reasoning and CNP are combined. The traditional CNP task assignment method is improved, the detail description of algorithm is given, and the scope of the tender and the bid evaluation strategies are studied deeply. In order to solve the diagnosis results conflicts for the involvement of multiple diagnosis resource, the diagnosis fuzzy fusion algorithm is improved. The example of fusion results shows that the deviation of group decision can be corrected effectively.

**Key words:** fault diagnosis; improved CNP; task modeling; task assignment; results fusion

由于武器装备现代化、信息化程度的不断推进,复杂装备远程协同故障诊断的研究成为热点,远程协同诊断的关键步骤有故障诊断任务的分解、任务执行路径规划<sup>[1]</sup>、诊断资源与任务的匹配、诊断结果的融合<sup>[2]</sup>。

合同网协议是一个协商选优的过程,其成功的应用在协同设计、敏捷制造、计算网格的任务协商分配中,能够有效增加系统的柔性。对于故障诊断任务分配问题,多约束条件下的整数规划方法<sup>[3-5]</sup>和合同网方法<sup>[6-8]</sup>在故障诊断任务分配中都有一定应用,

**收稿日期:** 2013-06-19

**基金项目:** 陕西省科技研究发展计划基金资助项目(2012K06-09)

**作者简介:** 李云飞(1988-),男,陕西咸阳市人,硕士,主要从事远程故障诊断研究。E-mail: fqlyf@126.com

**引用格式:** 李云飞,胡国平,李天,等. 基于改进合同网的复杂装备故障诊断方法[J]. 空军工程大学学报:自然科学版,2014,15(6):63-66. LI Yunfei, HU Guoping, LI Tian, et al. A fault diagnosis method of complex equipment based on improved CNP[J]. Journal of air force engineering university: natural science edition, 2014, 15(6): 63-66.

但都存在一些不足,如整数规划方法对故障诊断任务分配速度较快,但对新出现的故障则任务分配能力较弱,而运用合同网分配任务时,存在任务招标范围过大,诊断资源能力评估标准不一致等问题。

本文针对传统合同网的不足,在任务分配时充分利用经验知识,而对于新生故障,采用改进的合同网进行任务分配,对合同网的招标范围,中标评估算法和多资源参与诊断下的诊断结果融合策略进行了研究。

## 1 诊断任务建模

为了使诊断任务分配到合适的诊断资源,首先需要对诊断任务进行准确全面规范化的格式进行描述。对某型地空导弹装备的故障诊断任务进行描述具体内容如下:

```
Task{
    Task ID//任务标识
    Task Content//任务内容描述
    Return Value//任务返回值
    Task type//任务类型
    Task Relation//任务关系
    Task Order//任务优先级
}
```

任务标识用来区分不同的诊断任务,其为一串字符;任务内容描述用来说明诊断具体的内容,包括装备故障信息等;任务返回值规定了诊断资源在诊断完毕时给出的故障诊断结论;任务类型用来标识故障部位所属装备处于系统中的位置,利于诊断资源的匹配;任务关系用来表示该诊断任务与其他任务是否存在串行或耦合关系;任务优先级用来表示任务的紧急程度。

## 2 改进合同网的任务分配算法

### 2.1 改进合同网的算法描述

1)故障诊断任务管理中心接收到装备诊断任务,根据装备功能结构将其分解为诊断资源能够单独处理的子任务,并根据任务模型将其初始化,形成任务列表 Task list;

2)按照 Task list 中任务的优先级大小,将其与任务分配案例库中的历史分配记录进行匹配,若相似度达到阈值,则按照历史经验进行分配,转向 6),若为新任务,则转向 3);

3)确定招标范围、中标门限值  $\delta$ 、最大中标资源数目  $S_{\max}$ ,并发放招标书;

4)诊断资源收到标书后,计算诊断资源的竞标值,并进行投标;

5)故障诊断任务管理中心对各诊断资源的标书进行评定,对达到中标门限  $\delta$  的前  $S_{\max}$  个诊断资源发放任务标书,并通知未中标的诊断资源;

6)诊断资源接收任务并进行故障诊断,将诊断结果通过故障诊断任务管理中心反馈给用户;

7)用户对诊断结果进行评价,故障诊断任务管理中心根据用户评价更新各诊断资源的能力值,若故障成功排除,转入 8),否则转入 3);

8)将此次故障诊断过程存入范例库,故障诊断任务分配结束。

### 2.2 基于案例推理的任务分配

针对基于合同网的任务分配缺乏对历史经验的利用,而对特定装备,其故障的发生往往是具有重复性和相似性的,如果每次任务分配都依靠合同网进行协商,任务分配的效率会受到一定的影响,本节将案例推理与合同网任务分配相结合,有助于提高任务分配的效率。当故障诊断任务管理中心接到任务时,首先将其与任务分配案例库中的历史记录进行匹配,匹配算法主要对 Task 任务模型中的 Task Content, Task type 2 项内容与案例库对应的内容进行匹配,见式(1)~式(2):

$$s(t_i, c_i) = \begin{cases} 1 - \frac{|t_i - c_i|}{\max(t_i, c_i)}, & \text{数值型} \\ 1, & \text{相同} \\ 0, & \text{不同, 枚举型} \end{cases} \quad (1)$$

$$\text{SIM}(T, C) = \sum_{i=1}^n \omega s(t_i, c_i) \quad (2)$$

式(1)中  $t_i, c_i$  分别为任务属性值和案例属性值,对于任务模型和案例库中的特征项,首先分别用式(1)中数值型或枚举型匹配算法进行运算,其次运用式(2)对案例中不同属性值进行加权,得到最终的案例匹配值,最后判断匹配值是否达到任务分配的阈值,达到阈值则按案例库中的诊断资源进行分配,否则通过合同网算法进行招标分配。

### 2.3 任务招标范围策略

为了避免传统合同网招标范围过大,导致所有故障诊断资源都要处理每一个招标标书,这不仅增加了系统网络的通信开销,也使得故障诊断资源的负担加重。本文的故障诊断任务管理中心维护一张诊断资源诊断范围表,通过比对诊断任务模型中 Task type 与表中的诊断范围,确定招标范围并对此范围内的诊断资源组播任务标书。

### 2.4 中标评估策略

最大中标数  $S_{\max}$  的确定与相关诊断资源的状

态和中标门限  $\delta$  相关,当确定任务招标范围后,对招标范围内的资源忙闲状态进行检查,得到空闲资源数  $l$ ,最大中标数可由下式得出:

$$S_{\max} = \begin{cases} l(1-\delta), & \text{当 } S_{\max} \geq 1 \\ 1, & \text{当 } S_{\max} < 1 \end{cases} \quad (3)$$

诊断资源能力系数:诊断资源能力系数是根据诊断资源对诊断任务完成情况动态变化的一个数值,它是影响诊断资源能否成功中标的一个关键因素,将资源接收的总任务数表示为  $T_{\text{total}}$ ,成功完成的任务数为  $T_{\text{fulfill}}$ ,成功完成时用户给出的任务质量评价值为  $T_{\text{quality}}$ ,  $T_{\text{quality}} \in (0, 1)$ ,权系数为  $a$ ,  $0 < a < 1$ ,则诊断资源能力系数  $S_{\text{ability}}$  为:

$$S_{\text{ability}} = aT_{\text{quality}} + (1-a) \frac{T_{\text{fulfill}}}{T_{\text{total}}} \quad (4)$$

诊断资源成本系数与诊断任务耗时系数:对于诊断资源成本和时间约束系数,采用5级模糊评判。诊断成本极低,耗时极短,置为等级 I;诊断成本较低,耗时较短,置为等级 II;诊断成本低,耗时短,置为等级 III;诊断成本较高,耗时较长,置为等级 IV;诊断成本高,耗时长,置为等级 V,具体系数见表1。

表1 诊断资源模糊评定方法

Tab.1 Diagnosis resource fuzzy evaluation method

诊断资源 评价项目	模糊评价等级				
	I	II	III	IV	V
诊断资源成本系数	0.8	0.6	0.4	0.2	0.1
诊断资源耗时系数	0.9	0.8	0.6	0.4	0.1

诊断资源竞标值的综合评判:诊断资源运用诊断资源能力系数、诊断资源成本系数、诊断任务耗时系数的加权和作为最后竞标的参数,其计算式为:

$$S_{\text{bid}} = \alpha S_{\text{ability}} + \beta S_{\text{cost}} + \gamma S_{\text{time}} \quad (5)$$

$$\alpha + \beta + \gamma = 1$$

$$0 < \alpha < 1, 0 < \beta < 1, 0 < \gamma < 1$$

### 3 多资源参与的结果融合算法

在故障诊断中,往往会存在多名故障诊断专家同时中标并对装备进行会诊的情况,而不同专家给出的诊断结果可能会存在一些偏差,这时便需要故障诊断任务管理中心对同一任务的不同诊断结果进行融合,以便提供给用户一个最佳的诊断结果。传统的基于隶属度矩阵结果融合的算法见例1。

例1:3名专家参与雷达接收机机柜的故障诊断,分别为  $\text{expert}_1$ ,  $\text{expert}_2$ ,  $\text{expert}_3$ ,诊断得出5种可能的故障原因,  $\text{fault}_1$  (幅度检波器插件故障),  $\text{fault}_2$  (距离鉴别器插件故障),  $\text{fault}_3$  (频率鉴别器插件故障),  $\text{fault}_4$  (相位检波器插件故障),  $\text{fault}_5$  (接收

运放插件故障)的判别结果为:

$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} 0.9 & 0.8 & 0.6 & 0.4 & 0.3 \\ 0.9 & 0.8 & 0.7 & 0.5 & 0.2 \\ 0.6 & 0.9 & 0.5 & 0.3 & 0.1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

式中元素  $f_{ij}$  表示专家  $i$  对故障  $j$  判别的置信度。

参与故障诊断的3名专家的权重设置依据其专业技术等级,本文中的专家技术级相同,故都设置为  $1/3$ 。运用模糊隶属度加权合成最终的诊断结果为  $[0.8, 0.83, 0.6, 0.4, 0.2]$ ,从矩阵中的故障隶属度值可以看出,导致故障概率最大的原因是  $\text{fault}_2$ ,但这一结果与多位专家诊断的多数意见相左。为了更合理的融合各诊断资源的诊断结果,将诊断资源的能力、诊断结果的置信度、置信度之间的相对大小综合考虑,对诊断结果进行融合。

**定义1** 诊断资源  $i$  给出可能的故障原因  $j$  和对应的置信度  $f_{ij}$ ,对本次诊断中的不同置信度值按大小进行排序,每个置信度对应的顺序为其在本次诊断中的得分  $C_i(f_j)$ ,不同诊断资源对同一故障的判别综合得分为:

$$C(f_j) = \sum_{i=1}^m C_i(f_j) \quad (7)$$

**定义2** 考虑到诊断结果的置信度  $f_{ij}$  与诊断资源的能力权值  $\omega_{\text{resource}_i}$  的影响,基于式(7),得式(8)~式(9):

$$C^*(f_j) = \sum_{i=1}^m \omega_{\text{resource}_i} C_i^*(f_j) \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^m \omega_{\text{resource}_i} = 1$$

$$C_i^*(f_j) = C_i(f_j) f_{ij} \quad (9)$$

对例1运用改进的方法对不同诊断专家给出的结果进行融合,其过程为:

$$C_1(f_1) = 5, C_1^*(f_1) = 5 \times 0.9 = 4.5$$

$$C^*(f_1) = 4.5 \times 1/3 + 4.5 \times 1/3 + 2.4 \times 1/3 = 3.8$$

$$C_i^*(f) = \begin{bmatrix} 4.5 & 3.2 & 1.8 & 0.8 & 0.3 \\ 4.5 & 3.2 & 2.1 & 1.0 & 0.2 \\ 2.4 & 4.5 & 1.5 & 0.6 & 0.1 \end{bmatrix}$$

$$C^*(f) = [3.8 \quad 3.63 \quad 1.8 \quad 0.8 \quad 0.2]$$

从矩阵  $C^*(f)$  中可以看出,最终诊断结果为  $\text{fault}_1$ ,这与实际诊断过程中的故障原因相符,也符合群体决策中采取多数专家意见进行故障排除的实际情况。

### 4 结语

改进的合同网在招投标策略上相对传统合同

网,其具有以下优点:增加了经验知识,减少了重复的工作量;缩小了投标范围,降低了系统通信负载;多元素中标评估策略的设计,使评标结果更加合理;多资源参与的结果融合算法解决了当多位专家持有不同意见时,诊断结果的融合问题,相对单一专家的故障诊断,一定程度上避免了诊断的主观因素,有效提高了故障诊断的成功率。

今后对改进合同网在故障诊断任务分配中的进一步研究工作是对耦合性强、时间约束性强的诊断任务的任务分配与协同诊断的研究,以及群体智能算法(如蚁群算法)在任务动态分配的应用。

#### 参考文献(References):

- [1] 杨军,赵磊,欧阳晓黎.基于多 Agent 的某型导弹故障诊断系统任务规划研究[J].计算机测量与控制,2012,20(5):1296-1299.  
YANG Jun, ZHAO Lei, OUYANG Xiaoli. Study on task programming of fault diagnosis system of some type of missile based on multi-agent [J]. Computer measurement & control, 2012, 20(5): 1296-1299. (in Chinese)
- [2] 刘建辉.远程协同故障诊断的任务分配研究[J].机械科学与技术,2011,30(7):1163-1167.  
LIU Jianhui. The study of task distribute for remote fault diagnosis[J]. Mechanical science and technology for aerospace engineering, 2011, 30(7):1164-1167. (in Chinese)
- [3] Zhou X J, Xia L F, Jay Lee. Reliability-centered predictive maintenance scheduling for a continuously monitored system subject to degradation [J]. Reliability engineering and system safety, 2007, 92(9): 530-534.
- [4] Morris R A, Dungan J L, Bresina J L. An information infrastructure for coordinating earth science observations [C]//Proc of the 2nd IEEE international conference on space mission challenges for information technology. Montreal, Canada: IEEE press, 2006: 232-236.
- [5] Likhachew M, Ferguson D, Gordon G, et al. Anytime dynamic a star: an anytime, replanning algorithm [C]//International conference on robotics and automation (ICAR). Bangkok, Thailand: IEEE press, 2005: 352-354.
- [6] Janos Gertler, Jin Cao. Design of optimal structured residuals from partial principal component models for fault diagnosis in linear systems [J]. Journal of process control, 2005, 15(6): 585-603.
- [7] Fery B J, Dueck D. Clustering by passing messages between data points [J]. Science, 2007, 318(2): 972-976.
- [8] Bangemann T, Rebeuf X, Reboul D. Protes-creating distributed maintenance systems through an integration platform [J]. Computers in industry, 2006, 57(6): 539-551.

(编辑:田新华)