

航空发动机滑油诊断专家系统

北京航空航天大学 钟榕斌** 马 枚

【摘要】 本文介绍一个应用于航空发动机滑油系统故障诊断的专家系统,它是采用 Turbo Prolog 语言在微机上实现的,便于维修现场使用。用户可采用对话方式或菜单选择方式输入故障证据,系统利用反向推理机制,按照知识库中的规则排序决定规则激发的优先权,对于推理结果还能够进行图形解释。该系统还提供了知识获取和知识库维护功能,构成了完整的故障诊断和咨询系统。

关键词: 故障诊断 专家系统 滑油系统

滑油系统的监控大致可分为3类:滑油系统运行监控、滑油屑末监控和滑油状态监控。通过这些监控,不仅能够了解滑油系统本身的状态信息,更重要的是能够了解与滑油相接触的滚动、滑动表面的磨损状态,从而对发动机关键零部件的故障状态做出判断。它是发动机监控的一种有效的技术手段,对这些监控结果的解释是一门经验性很强的工作^[1,2]。为了保证维修队伍始终具备较高的维修水准,就有必要将专家的维修经验软件化,这样能够集众专家之长为一体,便于一般维修人员得到咨询和帮助。为此,专家系统提供了一种有效的工具,它有助于提高诊断及维护的可靠性和有效性,降低维修成本,保证飞行安全。本文论述了应用于航空发动机滑油系统故障诊断的专家系统OSTM(即Oil Systems Troubleshooting Master)的设计和实现。

1 OSTM 的系统结构

OSTM 专家系统是在微机上用TurboProlog语言编制而成的,它是编译型的人工智能高级语言,是开发故障诊断专家系统的良好工具。由于所依赖的硬件是便携式微机,便于维修现场使用,能够为维修人员及时地提供帮助。OSTM 的系统结构如图1所示。知识库中包含了专家的诊断知识,它是由Prolog的谓词子句组成的,表达了故障诊断所需的事实和规则。推理机则利用知识库中的规则,依据反向推理技术和非精确推理策略,动态地产生向用户的询问信息,通过人机界面获得有关故障的原始特征数据,并将用户的输入信息及推理过程中产生的中间结论保存于动态数据库,依据动态数据库和知识库来最终确定故障部件及处理措施。系统解释机制用于对推理过程及推理结论进行解释,并且显示故障部件的图形,便于用户了解故障部件在系统中的位置及故障所影

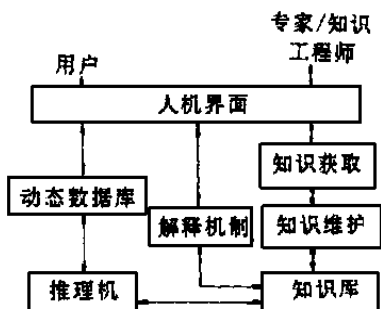


图1 OSTM 系统结构

响的范围。维修专家或知识工程师可以通过知识获取模块来建立故障诊断知识库,通过知识维护模块来进行知识库中规则的增加、删除和修改。

2 知识表示

在 Turbo Prolog 所构造的专家系统中,知识的表达通常有基于规则和基于逻辑两种方法^[3]。所谓基于规则的表达方法就是将事实和数据分类,形成 Prolog 规则;而基于逻辑的表达方法是将事实和数据构成谓词子句,形成子句知识库。由于基于逻辑的专家系统可将知识库保存在磁盘文件中,适合于知识库比较庞大的情况,因此 OSTM 选择了基于逻辑的表达方法。

以 CFM 56 发动机滑油系统故障诊断知识库为例,其表示方法如下:

```
rule(8, 14)
cond(8, 5)
cond(8, 6)
content(5, "high oil consumption/low or no oil quantity")
content(6, "oil is leaking from aft sump drain")
content(14, "damage of the seal of aft sump")
```

它表达了如下的序号为 8 的产生式规则:

```
IF      high oil consumption/low or no oil quantity,
AND     oil is leaking from aft sump drain,
THEN    damage of the seal of aft sump.
```

上述的知识表示方法使得 Turbo Prolog 在内部合一过程中仅需对代表故障代号的整数进行处理,避免了故障内容字符串的比较,加快了程序运行。为了统一规则的表达方式,简化推理机制,对于故障证据为“或”关系的规则,将其化为具有同一假设结论的多个并列规则,例如下列产生式规则:

```
IF      lubrication unit is cracked and leaking,
OR      drive shaft is sheared,
THEN    replace lubrication unit
```

化为下列二个规则:

```
(1) IF      lubrication unit is cracked and leaking,
    THEN    replace lubrication unit
(2) IF      drive shaft is sheared,
    THEN    replace lubrication unit
```

而后将上述二条规则同时转换为 OSTM 系统的内部知识表示形式。

OSTM 知识库对于诊断的最终结论也即推理网络的顶结点采用谓词 $\text{tlf}(H)$ 来定义,其中 H 为标识结点的代号(即故障代号),对于需要用户验证的故障证据也即推理网络的根结点采用谓词 $\text{bIf}(H)$ 来定义,此外在推理过程中生成动态数据库 $\text{fact}(H, C)$,它表示了结点 H 的可信度为 C 。

3 推理机制

OSTM 采用深度优先的反向推理算法,推理流程如图 2 所示。首先,系统将推理网络的顶

层结点放入假设堆栈, 然后从知识库中找出其结论部分能与假设相匹配的所有规则, 得出一个可用规则集, 而后选取一条规则验证其前提部分。如果该条规则中的所有前提条件均为叶结点且能被用户证实或被上下文匹配, 则该规则验证成功, 从假设堆栈中弹出该规则的结论并放入上下文(即动态数据库), 并按文献[4]中的主观概率计算方法求得结论的可信度值。如果该规则中的某个前提条件被用户或上下文否定, 则该规则的结论部分不能靠此规则验证, 因此返回可用规则集重新选择一条可用规则(此处考虑了上文中关于知识表示由“或”关系向并列规则的转换, 所以推理过程又略带宽度优先), 当所有的可用规则都不能验证成功时, 该结论从假设堆栈中删除。如果一条被选择的可用规则中的某些前提不是根结点且又不能被上下文所肯定或否定, 则将这些前提压入假设堆栈, 以上述相同的步骤先验证规则的前提(此过程是一个递归), 运行直至所有的顶层结点都测试过或被用户中断推理过程。

OSTM 系统的冲突消解策略是依据诊断知识库中规则顺序来决定规则激发的优先权, 知识库中排在前面的规则可获得优先激发的权利。航空发动机滑油系统往往具备一些常见故障, 这些故障得以解决后由此引发的其它故障症状将消失, 因此在维修中希望首先诊断这些常见故障, 代表这些常见故障的规则在知识库中就应该排在前列。OSTM 在推理过程中使用谓词 ignitive rule sequence (Rule Number List) 记录本次故障诊断中被激发成功的规则顺序, 用户可选择系统提供的 update 功能来更新知识库中的规则排列, 使常见故障的诊断规则在知识库中的排列位置前移。

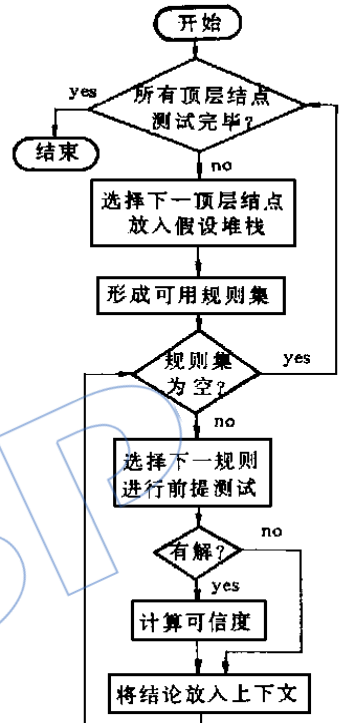


图2 OSTM 推理流程图

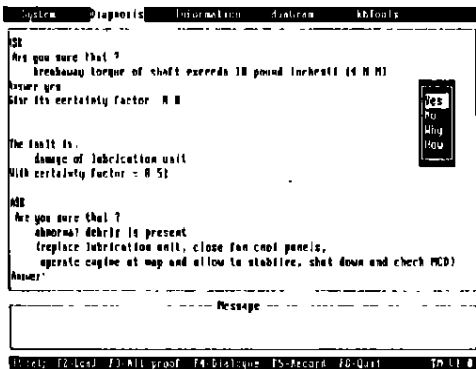


图3 顺序对话方式咨询

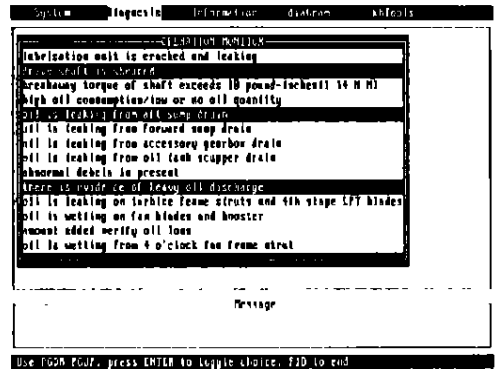


图4 菜单选择方式咨询

OSTM 在提请用户输入故障证据时有两种方式: 顺序对话方式(图3)和菜单选择方式(图4)。所谓顺序对话方式就是在推理过程中系统根据用户的反馈信息, 有针对性地扩展前提结

点,动态地控制提问用户问题的生成。这种方式能够使得用户不遗漏地输入所有的故障证据,比较适用于初级维修人员。但这种对话方式使得人机交互的时间较长,对于熟练用户可采用菜单选择的方式。OSTM 对故障证据依据来源进行了分类,分为滑油系统运行监控、滑油屑末监控和滑油状态监控 3 个大类,用户可选择进入相应的菜单。图 4 所示的菜单是一个多选择项的长菜单,可通过 PgUp/PgDn 键来滚动菜单页,系统将记录用户在菜单中的选择项,用户选择完毕后再提请用户输入所选择故障证据的可信度。菜单选择方式减少了人机交互的时间,但由于屏幕的宽度有限,菜单中的选择项只能表达系统询问问题的主要信息。

4 知识获取和知识库维护

OSTM 提供了两种知识获取的手段。一种方式是专家或知识工程师按约定好的形式将诊断知识写成“if...then”的形式。这种规则形式与自然语言较为接近,OSTM 利用规则扫描器读入记录诊断知识的磁盘文件并自动形成内部推理知识库,而后调用知识库维护功能进行知识库检查。另一种方式是系统用交互方式与专家进行对话。该知识获取模块采用了自顶向下的设计思想,其基本过程为:系统首先询问专家关于问题求解的所有最终结论结点,而后对每一结点询问确定该结点的所有因素(包括与、或关系),将这些因素又作为新的待确定结点,不断细化,直至所有底层因素都代表了维修人员可提供的故障证据。专家在建库过程中无需过问规则的内部表示,不需通过知识工程师亦可独立地完成知识获取工作,减轻了工作量,提高了工作效率。OSTM 系统提供了规则的增、删功能,以便专家对推理网络进行增枝和修剪。它的规则显示模块有两种显示方式,一种是将内部推理网络转换为“if...then”的规则易读形式,该形式可用磁盘文件保存。另一种是图形显示知识库的推理树,该显示方式比较直观,便利用户进行知识库的维护。OSTM 系统还提供了知识库的重复、冗余、矛盾、循环检查功能,以期保证知识库中新引入的知识或新修改的部分与知识库中的其它内容相一致。为了增强诊断知识库的保密性,避免不熟练操作者对诊断知识库的偶然性破坏,OSTM 仅允许持有密码的授权用户执行知识库的维护。

结论 本文介绍了利用 Turbo Prolog 人工智能语言在 PC 机上开发的航空发动机滑油系统故障诊断专家系统 OSTM。由于 Turbo Prolog 的中西文兼容特性,使得 OSTM 的汉化将相当简易,一般维护人员即可操作,在维护航空发动机这样一个复杂系统时即能够获得专家水平的咨询及帮助。通过 OSTM 专家系统的应用,将有助于提高航空发动机的诊断和维修水平。

参 考 文 献

- 1 SAE. Guide to Oil System Monitoring in Aircraft Gas Turbine Engines A IR 1828, 1984
- 2 曹泓,马枚 航空发动机润滑系统故障诊断的专家系统 第六届发动机结构、强度、振动学术交流论文集,1992
- 3 吴信东 专家系统设计:中国科学技术大学出版社,1990
- 4 Siddall J N. Expert Systems for Engineers Marcel Dekker Inc, 1990

(责任编辑 魏星禄)

APPLICATION OF FUZZY CONTROL THEORY TO DESIGNING AN ADAPTIVE DEVICE

Luo Enke and Wu Qihua

(Northwestern Polytechnical University)

ABSTRACT

A new design approach is proposed according to fuzzy control theory. It has been applied to designing the proportional and integral adaptive control device for a speed digital adaptive control system of a two-spool turbojet. Two methods (phase-plane method and membership degree method) have been used in this design. The digital simulation of the whole system has been completed. Its results demonstrate that this new approach brings the advantages of the proportional, integral and fuzzy controls into full play. It simplifies the control algorithm and enhances the control accuracy. Finally, this new design approach is suitable for nonlinear and high-order controlled object, which is lacking precision mathematical model.

AN EXPERT SYSTEM FOR AEROENGINE OIL MONITORING

Zhong Rongbin and Ma Mei

(Beijing University of Aeronautics and Astronautics)

ABSTRACT

Since oil monitoring is an effective diagnostic method in aeroengine troubleshooting, an expert system OSTM is developed, which means "Oil System Troubleshooting Master". Its goal is to help maintenance personnel to analyze the complex information acquired from the oil monitoring. This software is implemented in Turbo Prolog language and customized for use in portable personal computers. An exhaustive back-chain inference algorithm is adopted. The rule ignition superiority is determined by rule sequence in the knowledge base. Hence, common faults can be picked out at first. An explanation mechanism is included as well. Further, a menu query interface is programmed for quick manipulation of particular faults. For this purpose, the fault symptoms are classified according to their respective diagnostic domains. Moreover, knowledge acquisition and knowledge base management modules have been created. Until now, the diagnostic knowledge is mainly adopted from aircraft maintenance manual.

PATTERN RECOGNITION OF EXTREME LOAD DISTRIBUTIONS

Cheng Dejing and Sun Zhenyi

(Chinese Flight Test Establishment)

ABSTRACT

118 the largest prototypes of extreme load coefficient for a variety of flights have been obtained from pretreating extreme load data of flight tests and field surveys. Different mathematical patterns of distribution, such as Normal Distribution, Weibull Distribution, Pearson Distribution, Rayleigh Distribution and Gumbel Distribution, are applied to calculation, from which are derived both probability density function and probability distribution function in each of these patterns. By means of recognition algorithm of Fuzzy Mathematics, approximation grades of the different patterns to the prototypes are determined. Then a reliable distribution regularity of the extreme load coefficients is provided for strength and reliability analyses of the aeroengine.