

专家控制技术在船舶机舱监测报警系统中的应用研究

郑恒持, 蒋丁宇, 任光, 陈龙

(大连海事大学 轮机工程学院, 大连 116026)

摘要: 为提高船舶自动化程度, 实现无人机舱, 将专家控制技术应用到机舱监测报警系统中; 详细阐述了专家控制系统的结构、原理, 从受控对象、专家控制器、规则库、推理机四方面介绍了建模过程; 并结合结构功能、知识表示、传感数据预处理完成了智能机舱监测报警系统的建立; 最后通过大连海事大学开发的 DMS-2015 轮机模拟器对专家控制型机舱监测报警系统进行了验证, 结果表明, 该系统的应用, 使机舱故障报警更加精确, 故障排除更加方便, 大大降低了轮机员工作值班的疲劳强度, 而且为船舶机舱监测报警提供了一个新思路。

关键词: 监测报警; 专家控制系统; 结构; 建模

Implement and Research of Expert Control Technology in Marine Engine Room Monitoring and Alarm System

Zheng Hengchi, Jiang Dingyu, Ren Guang, Chen Long

(Marine Engineering College, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China)

Abstract: To improve the degree of ship-automation, realizes the unmanned engine room, the expert control technology applied to the engine room monitoring and alarming system. The structure and principle of the expert control system is expounded in detail. The modeling process is introduced from the controlled object, the expert controller, rule base and reasoning machine. Combined with the function structure, knowledge representation and sensor data preprocessing, the establishment of intelligent engine room monitoring alarm system is completed. Finally, expert control engine room monitoring alarm system is verified in DMS-2015 that Dalian maritime university develops marine engine room simulator. The application of the system, makes the alarming more accurate and troubleshooting more convenient, greatly reduces the engineer's work on fatigue strength, and provides a new way of thinking to engine room monitoring alarm.

Keywords: monitoring and alarm system; expert control system; structure; modeling

0 引言

随着科技的进步, 船舶正向着智能化方向发展。机舱监测报警系统是船舶自动化发展程度的一个重要环节, 它的功能是精确地监测机舱内所有重要设备的运行状态, 一旦运行设备发生了故障, 自动发出声、光报警信号^[1]。这极大地提高了船舶运行的安全性、可靠性, 也可以降低船员值班带来的疲劳强度。

机舱监测报警系统发展到目前为止共经历了 5 个阶段: 常规仪表、集中监视、集散型系统、现场总线型全分布式系统、智能监视系统^[2]。然而目前绝大多数船舶都还停留在前 4 个阶段, 对智能型机舱监测报警系统应用较少。本文主要研究专家控制型机舱监测报警系统。

1 专家控制系统的结构与原理

1.1 专家控制系统的结构

专家系统 (expert system, ES) 是一种模拟人类专家解决

领域问题的计算机程序系统。专家控制系统是一个应用专家系统技术的控制系统^[3]。该系统全部行为都能够被自适应地支配, 能够重复解释当前状况, 预测未来行为, 诊断出现问题的原因, 制定补救规划, 监视规划的执行, 确保成功。

随着应用场合和控制要求不同, 专家控制系统结构也可能不同。然而, 几乎所有的专家控制系统都包括知识库、推理机、控制规则集、控制算法等^[4]。

1.2 专家控制系统的原理

专家系统有两个要素:

1) 知识库——存储某个专门领域中经过事先总结的按某种格式表示的专家水平的知识条目。

2) 推理机制——按照类似专家水平的问题搜索求解方法, 调用知识库中的条目进行推理、判断和决策^[5]。

专家系统的知识库与推理机在组织结构上分离建造, 而在运行过程中又相互作用, 这使得系统具有极大的灵活性; 知识的增删、修正和更新独立于推理机制, 推理的结论和根据可以通过接口与系统外部交互, 因而专家系统还具有很好的透明性。

总之, 专家系统将专门领域中的问题求解思路、经验、方式组织成一个实际运行的形式系统, 表现出一种拟人的智能性, 它与传统的自动控制理论和方法结合, 形成了专家系统控制的基本思想。图 1 为专家控制系统原理图。

收稿日期:2016-03-19; 修回日期:2016-05-18。

作者简介: 郑恒持 (1990-), 男, 硕士, 主要从事轮机自动化及智能化方向的研究。

任光 (1952-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事轮机自动化与智能化方向的研究。

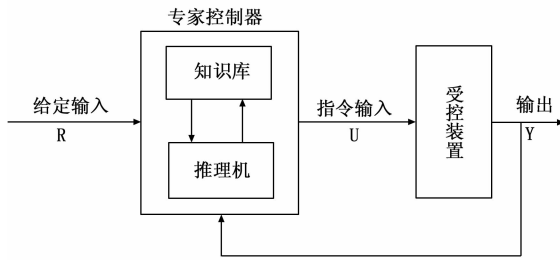


图 1 专家控制系统原理图

2 专家控制系统建模

2.1 受控对象模型

假设受控对象可由模型 G 表示，即能够实际表示一定类型的离散事件系统：

$$G = (X, E, f_e, \delta_e, g, E_o) \quad (1)$$

式中， X 为受控对象状态 x 的集合； $E = E_u \cup E_d \cup E_o$ 为事件的集合，而 E_u 为对象指令输入事件的集合， E_d 为对象扰动输入事件的集合， E_o 为对象输出事件的集合； $g: X \rightarrow P(E_u \cup E_d) - \{\phi\}$ ，为可实现函数，而 P 表示能力集合； $f_e: X \rightarrow X, e \in P(E_u \cup E_d) - \{\phi\}$ ，为状态转换映射； $\delta_e: X \rightarrow E_o, e \in P(E_u \cup E_d) - \{\phi\}$ ，为输出映射； E_o 为全部有效事件轨迹的集合。

2.2 专家控制器建模

专家控制器具有如下模型：

$$C = (X^c, E^c, f_e^c, \delta_e^c, g^c, E_o^c) \quad (2)$$

式中， $X^c = X^b \times X^i$ 为专家控制器状态 x^c 的集合， X^b 为知识库状态 x^b 的集合， X^i 为推理机状态 x^i 的集合； $E^c = E_u^c \cup R \cup E_o^c$ 为专家控制器事件的集合，而 $E_u^c \subset P(E_o \cup E_d) - \{\emptyset\}$ 为给定输入集合 (E_u^d) 和对象输出事件 (E_o) 的集合， R 为专家控制器知识库内的规则集合， $E_o^c \subset P(E_u) - \{\emptyset\}$ 为专家控制器输出事件的集合； g^c 为可实现函数； f_e^c 为状态转换映射； $\delta_e^c: X^b \times X^i \rightarrow E_o^c$ 为输出映射； $E_o^c \subset E^c$ 为有效推理环轨迹（控制器事件轨迹）的集合。

2.3 规则库建模

规则库中的规则形式如下：

$$r = \text{IF } \Phi \text{ THEN } \Psi \quad (3)$$

式中，只有当 Φ 估计为真时，才能采取 Ψ 作用。例如，对于规则 $r' = \text{IF } \Phi' \text{ THEN } \Psi'$ ，如果 Φ' 在时刻 k 对知识库状态 x^b 和指令输入 $e_{u,k}^c$ 的估计为真，那么 $r' = \text{IF } \Phi' \text{ THEN } \Psi'$ ，就是一条在时刻 k 可实现的有效知识库规则。如果 $e_{k'}^c = \{r', e_{u,k}^c\}$ 是可实现的而且出现了，那么控制器的下一状态 x_{k+1}^b 的知识库分量是在时刻 k 把 Ψ' 应用到 x^b 而生成的。推理机状态的更新是以所有可实现规则 $r \in R$ 和被激活规则 r' 为基础的。把输入事件包含规则库，允许专家控制器的设计者把受控对象的输出反馈和给定输入变量直接作为规则的一部分进行合并。

2.4 推理机建模

要建立推理机制模型，必须表示下列 3 个一般函数分量：

- 1) 匹配阶段规则的前提与存储在知识库内的当前事实和数据以及给定输入受控对象输出相匹配。
- 2) 选择阶段选择一条准备被激活的规则。

3) 动作阶段包括在激活规则后项中的动作，作用于知识库，更新推理机状态，并对受控对象生成输入^[6]。

3 专家控制系统在机舱监测报警中的应用

为保证船舶安全运行，在机舱设置几百个数据采集点，通过分析这些数据，确定设备运行状况^[7]。但是，要想准确地完成船舶机舱监测报警功能，并对故障进行快速排除，许多操作还是要依靠轮机员的经验或该领域专家的知识。因此，有必要引入专家控制系统来改善机舱监测报警系统。开发和建立专家控制系统来完成机舱监测报警功能，其主要目的有以下 3 个：

- 1) 利用人工智能技术，建立准确的机舱监测报警系统。
- 2) 将船舶机舱监测报警技术规范、标准化。
- 3) 灵活地处理经常性的系统变化。

3.1 机舱监测报警专家控制系统的结构与功能

专家控制型机舱监测报警系统由三部分组成。一是异常情况预测系统，用于预测设备运行情况；二是监控系统，用于机舱重要设备参数的实时监测以及故障报警；三是故障诊断系统，用于对故障进行分析诊断。

专家控制型机舱检测报警系统能够处理时间序列数据，具有实时性。为了保证能准确地完成对故障预测、监控、诊断，系统应具有两部分功能，见图 2。其一是推理的预处理部分，他用常规的方法在过程计算机上执行，采集传感器的数据，并把他们寄存在时间序列数据库中，经预处理后形成推理所需的事实数据，并且显示推理结果；其二是推理部分，它用知识工程技术在 AI（人工智能）处理器上实现，利用前者所产生的实时数据和知识库的规则，对机舱监测的状况进行推理。

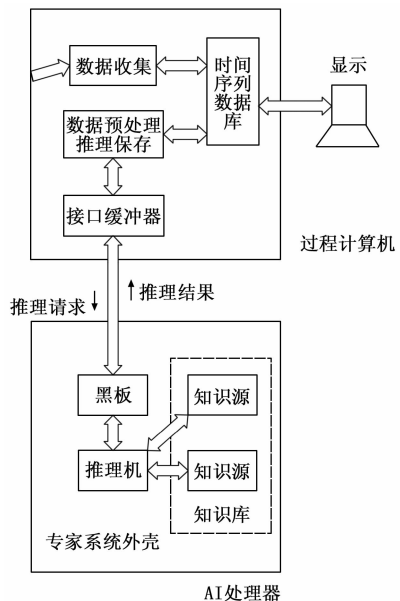


图 2 机舱监测报警专家系统的结构

3.2 机舱监测报警专家控制系统开发过程

机舱监测报警专家控制系统，其开发过程如图 3 所示，图中各阶段的工作内容说明如下：

- 1) 决定目标。明确系统的功能与所涉及的范围。
- 2) 获取知识。仔细查阅研究有关机舱监测报警领域的技术文献资料；从领域专家搜集知识。

3) 知识的汇编与系统化。把专家的思维过程进行归纳整理分类; 检查其合理性和存在的矛盾; 传感器数据模式整理和分类、数据滤波、分级和求导; 知识模糊性的表示^[8]。

4) 规则结构的设计。将规则分组和结构化, 考虑推理的速度。

5) 系统功能的划分。实现在线实时处理; 将系统按功能分为预处理和推理两部分。

6) 构造原型系统。描述规则和黑板模型; 将实际与测试系统规则化。

7) 评估与调整。利用离线调试系统; 检查系统的有效性; 调节确定性因子的值。

8) 应用和升级。增加和校正规则。

上述的各个步骤中, 获取知识最为关键, 它要解决以下 3 个问题:

1) 如何表达知识库和规则库中的经验知识的不确定性以便构成高度准确的系统。

2) 如何获取专家自己意识不到或不明确的知识(对专家而言这种知识也许是常识性的)。

3) 如何对密集型知识进行分解。

专家控制系统的开发中必须得到领域专家、轮机员的全力协助。

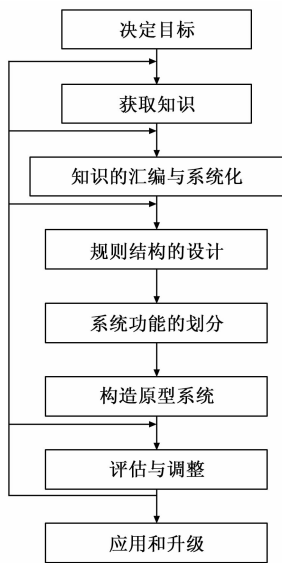
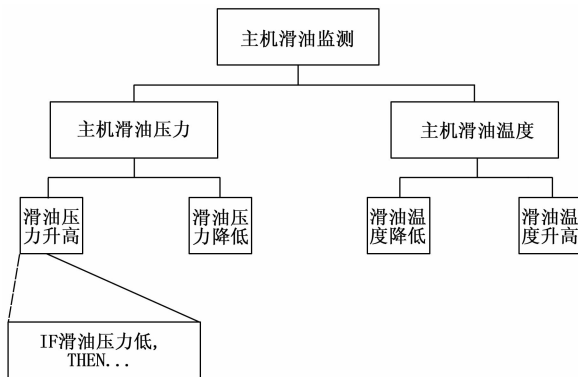


图 3 系统开发过程框图

3.3 专家系统的知识表示与知识库结构

由领域专家和轮机员采集到的机舱监测报警领域的知识和启发性规则都存放在 AI 计算机的知识库中, 基本上采用产生式规则来表示知识。在机舱监测报警中, 关键是根据传感器的信息来判断机舱中重要设备的运行情况, 预测异常状况的发生, 采取合适的操作。因此, 专家控制系统应该构造特征分析型的系统。根据对给定数据的分析结果, 选择几种假设中排列在前面且最合适的假设。

为了能够实时在线推理, 按照传感器的功能属性, 将知识库划分为由若干规则集合组成的几个子知识库^[9]。整个知识库采用递阶式结构, 以主机滑油的状态监测为例, 如图 4 所示。



这种设计具有下列优点:

1) 知识库按照递阶形式构成, 方便以不同的方式来表示各子库的专家知识。

2) 将规则集分到各子知识库, 便于检查各规则集的有效性。

3) 采用递阶式多知识库结构来划分规则, 可以改善推理效率。

3.4 传感数据的预处理

以前时间序列数据的模式识别是由专家来完成的, 如今可以由计算机来执行, 并用人工智能方法来处理。由于机舱监测报警系统监测的数据量大, 并且为实时性的所约束, 以至于至今还没有合适的工具来处理, 所以实际上采用以下两个步骤对传感器数据进行推理的预处理。

第一步是对传感器采集的数据进行平滑处理。机舱监测报警系统中有成百上千个监测数据, 不同的数据, 会受到不同程度的影响。例如锅炉的蒸汽压力, 往往受到扰动和间歇式点火造成的非周期性变化影响。为了消除类似的影响, 采用线性回归过程做平滑处理, 也就是统计法。

在这个过程中, 利用每分钟测量一次的 N 个数据 $T_c(t)$, $t=1, 2, \dots, N$, 并以此拟合成线性方程 (4)、(5):

$$f(t) = C_0 + C_1 t \tag{4}$$

使得:

$$S = \sum_{t=1}^N \{T_c(t) - f(t)\}^2 \tag{5}$$

为最小, 由此决定系统 C_0 和 C_1 , 从 $T_c(N)$ 中计算 $f(t)$ 。这也就是最小平方。

第二步则是采用第一步的结果, 抽取传感器数据特定的交变模式。抽取过程如下:

1) 比较数据变化的趋向。例如, 计算锅炉蒸汽压力、水位的变化率。

2) 计算数据的级别。例如, 计算锅炉蒸汽压力、水位变化范围, 看他们是否超过极限值。

3) 计算方差。

4) 计算数据的积分值。

5) 预测(拟合)典型的变化模式

6) 计算变化的量。

在机舱监测报警系统中, 由于专家和操作人员本身所具有的经验不同, 即使观察到的数据相同, 判断状况的结果也会有

所差别。因此系统的判断经常会带有某种程度上的不确定性。有时候即使传感器的数据发生变化，情况也未必不正常。相反，在不正常情况发生之前，传感器的数据也不一定变化。为了改善系统运行品质，就需要采用确定性因子（CF 值）和隶属函数来处理其模糊性^[10]。

3.5 实验结果与分析

将专家控制型机舱监测报警系统应用到大连海事大学开发的 DMS-2016 轮机模拟器中。实验结果表明，此监测报警系统故障报警更加精确，故障排除更加方便，而且也会大大降低轮机员的工作强度。对船舶自动化发展有及其重要的作用，也为无人机舱的推广提供了便利条件。

4 结语

专家控制技术是一项重要的智能控制技术，它为控制领域提供了新思路，实现了解析规律与启发逻辑的结合。基于专家控制技术的机舱监测报警系统的应用，将为智能船舶的推广提供有效的探索。这里只提出了一种想法，具体的实施还需进一步进行验证。

参考文献：

[1] 马驰誉. 船舶机舱监测报警系统的研究 [D]. 大连：大连海事大学，2009.
 [2] 雍强. 船舶机舱监测报警系统的研究与设计 [D]. 大连：大连海事大学，2014.

(上接第 60 页)

产生来源是空气中的 N₂，其值和燃油消耗存在着稳定的关系，即不管是等速或是加（减）速工况，NO 的产生总是和燃油消耗存在着一种对应关系，而 CO 的来源取决于燃油和空气的相对量，随着空气量的相对增大，其排放就相应降低。故而从燃油消耗对污染物 CO 和 NO 的预测是可行的。这也从另一个角度暗示预测模型不能对 HC（由于其成因不仅来源于油耗，也有蒸发排放的影响）进行模拟预测，如图 7 所示为 HC 排放率与燃油消耗量之间原始数据的对应曲线，图中显示它们之间并不存在着明显的相关性，其皮尔森相关系数和斯皮尔曼相关系数分别为 0.201 和 0.199。

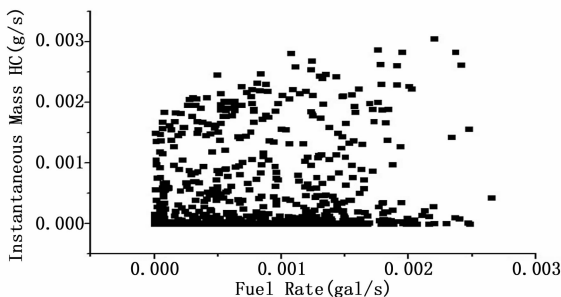


图 7 HC 排放率与燃油消耗量对应曲线

4 结论

本文为通过燃油消耗量来预测污染物排放提供了一种可行的方法，它也从污染物产生的根源出发而建立了和污染物排放的车外可观测影响因素之间的联系。利用建立的微观综合预测模型可以在输入相应车外可观测数据的情况下实时预测出 CO、NO 两种污染物的排放情况，这为研究城市机动车尾气

[3] 蔡自兴, 余伶俐, 肖晓明. 智能控制原理与应用 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2014.
 [4] Walker T C, Miller R K. Expert Systems Handbook, An Assessment of Technology Applications [M]. The Fairmont Press Inc, 1990.
 [5] Linkens D A, Chen Minyou. Expert control systems—I. Concepts, characteristics and issues [J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 1995, 84:1.
 [6] Tian Kelun, Design of Expert PID Control System on Temperature and Humidity Verifying Box [J]. Science & Technology View, 2012, 24: 80-82.
 [7] 孙建波, 郭晨, 张旭. 船舶机舱检测和抱紧系统的设计与实现 [J]. 系统仿真学报, 2006, 18 (2): 851-856.
 [8] Min Wu, She Jin Hua, Michio Nakano. An expert control system using neural networks for the electrolytic process in zinc hydrometallurgy [J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2002, 145.
 [9] Chul Kim, Chul Woo Park. Development of an expert system for cold forging of axisymmetric product [J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2006, 295.
 [10] Nazmi Etik, Novruz Allahverdi, Ibrahim Unal Sert, Ismail Saritas. Fuzzy expert system design for operating room air-condition control systems [J]. Expert Systems With Applications, 2009, 366.

排放量，控制交通污染和发展低碳交通提供了一种可行的方法。预测模型并不能对 HC 污染物进行预测，这说明此污染物的产生来源不仅仅是燃料燃烧而产生的，很可能是其他因素（如油箱、曲轴箱等的蒸发排放）导致的燃油消耗和 HC 排放之间的相关系数较小，通过燃油消耗并不能实现对其的预测，有待结合扩散模式进行进一步的研究。对于怠速工况下的油耗模型，需要结合车内可观测影响因素进行研究。此外，对于更高速区的污染物排放的预测，需要结合污染物 CO 和 NO 的产生机理，有待进一步的研究。

参考文献：

[1] Chan C K, Yao X H. Air pollution in mega cities in China [J]. Atmospheric Environment, 2008, 42 (1): 41-42.
 [2] 董红召, 徐勇斌, 陈宁. 城市交通中机动车尾气排放与扩散特性的研究 [J]. 内燃机工程, 2011, 32 (2): 12-13.
 [3] 郝吉明, 傅立新, 贺克斌, 等. 城市机动车排放污染控制 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2001.
 [4] 郭慧, 张清宇, 施耀, 等. 杭州市区机动车危险气态污染物排放的模型计算 [J]. 浙江大学学报 (工学版), 2007, 41 (7): 1223-1228.
 [5] 郝艳召, 宋国华, 邱兆文, 等. 基于浮动车数据的机动车排放实时测算模型 [J]. 中国环境科学, 2015 (2): 396-402.
 [6] 王海龙, 冯斌. 机动车非常规污染物排放特性研究 [J]. 环境工程, 2014 (SD): 474-477.
 [7] USEPA. User's Guide to MOBILE6.1 and MOBILE6.2 [J]. Environmental Protection Agency of United States, EPA420-R03-010, 2003.
 [8] 王晓宇, 张宏智, 付亚君. 机动车尾气排放量计算方法研究 [J]. 公路交通技术, 2016, 32 (1): 130.
 [9] 余志生. 汽车理论 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.