

12-13-2019

Modeling and Simulation of Complex Equipment Health Management System Based on Cloud Computing

Tianrui Zhang

1. School of Mechanical Engineering, Shenyang University, Shenyang 110044, China; ;2. School of Mechanical and Automation, Northeastern University, Shenyang 110819, China;

Chuansheng Qu

1. School of Mechanical Engineering, Shenyang University, Shenyang 110044, China; ;

Baoku Wu

1. School of Mechanical Engineering, Shenyang University, Shenyang 110044, China; ;

Jianan Xu

1. School of Mechanical Engineering, Shenyang University, Shenyang 110044, China; ;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Modeling and Simulation of Complex Equipment Health Management System Based on Cloud Computing

Abstract

Abstract: For complex equipment operation safely, the health management problems of complex equipment life cycle is analyzed. In order to realize remote service, *complex equipment health management mode based on cloud computing is proposed*. Aiming at the accuracy problem in the process of extracting and recognizing complex equipment characteristic data, *the feature knowledge acquisition method based on ontology is researched, and the expression and acquisition algorithm of state characteristic knowledge is proposed*. A *task sequencing algorithm faults based on fuzzy comprehensive evaluation method is proposed, an appropriate task assignment model is selected for scheduling health management technicians*. Aiming at the problem of remote service and *integrating multi-information service system, a health management system based on SOA is developed* to verify the correctness and feasibility of the model.

Keywords

cloud computing, complex equipment, health management, knowledge acquisition

Recommended Citation

Zhang Tianrui, Qu Chuansheng, Wu Baoku, Xu Jianan. Modeling and Simulation of Complex Equipment Health Management System Based on Cloud Computing[J]. Journal of System Simulation, 2019, 31(11): 2356-2365.

基于云计算的复杂装备健康管理系统建模与仿真

张天瑞^{1,2}, 曲传声¹, 吴宝库¹, 徐佳楠¹

(1. 沈阳大学机械工程学院, 辽宁 沈阳 110044; 2. 东北大学机械工程与自动化学院, 辽宁 沈阳 110819)

摘要: 为使复杂装备安全运行, 分析了其全生命周期的健康管理问题, 为实现远程服务, 提出了基于云计算的复杂装备健康管理模式。针对复杂装备特征数据提取与识别过程中的准确度问题, 研究了基于本体的特征知识获取方法, 提出了状态特征知识表达与获取算法和基于模糊综合评价方法的故障任务排序算法, 以选取恰当的任务指派模型进行健康管理技术服务调度; 针对远程服务问题, 融合多信息服务, 开发了基于 SOA 的健康管理系统, 通过仿真验证了所构建模型的正确性与可行性。

关键词: 云计算; 复杂装备; 健康管理; 知识获取

中图分类号: TP391.9 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2019) 11-2356-10

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.19-FZ0345

Modeling and Simulation of Complex Equipment Health Management System Based on Cloud Computing

Zhang Tianrui^{1,2}, Qu Chuansheng¹, Wu Baoku¹, Xu Jianan¹

(1. School of Mechanical Engineering, Shenyang University, Shenyang 110044, China;
2. School of Mechanical and Automation, Northeastern University, Shenyang 110819, China)

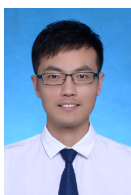
Abstract: For complex equipment operation safely, the health management problems of complex equipment life cycle is analyzed. In order to realize remote service, *complex equipment health management mode based on cloud computing is proposed*. Aiming at the accuracy problem in the process of extracting and recognizing complex equipment characteristic data, *the feature knowledge acquisition method based on ontology is researched, and the expression and acquisition algorithm of state characteristic knowledge is proposed*. A task sequencing algorithm faults based on fuzzy comprehensive evaluation method is proposed, an appropriate task assignment model is selected for scheduling health management technicians. Aiming at the problem of remote service and *integrating multi-information service system, a health management system based on SOA is developed* to verify the correctness and feasibility of the model.

Keywords: cloud computing; complex equipment; health management; knowledge acquisition

引言

在全球化进程中, 高新技术不断涌现、客户个

性化需求日趋提高, 装备制造业产品呈智能化、自动化发展趋势^[1-3]。复杂装备全生命周期的健康管理问题亟待解决, 尤其是复杂装备制造企业设计部门对生产部门的服务, 中间辅助环节对生产、销售等过程的服务, 企业与用户之间的服务等。在新的制造模式下, 企业在生产过程中为制造装备提供健康管理服务正在由独立承担向产品生命周期全过



收稿日期: 2019-05-30 修回日期: 2019-07-19;
基金项目: 工信部重大专项(201675514), 辽宁省自然科学基金项目(20180551001);
作者简介: 张天瑞(1985-), 男, 河北深州, 博士, 讲师, 硕导, 研究方向为制造系统工程等。

<http://www.china-simulation.com>

• 2356 •

程服务进行转变, 传统的产品维修模式已无法满足企业和用户的个性化需求, 而云计算的提出和不断应用为这一变化带来了信息化方法^[4-6]。云计算条件下的健康管理技术采用云计算的架构构造一个健康管理平台, 通过分布在不同地理位置的开发、设计、制造、销售、维护等技术人员, 处理复杂装备工作过程中出现的各类问题。在此基础上, 以复杂装备的典型代表——全断面掘进机(Tunnel Boring Machine, TBM)为具体研究对象, 提出了基于云计算的复杂装备全生命周期健康管理模式, 研究了健康管理平台中基于本体的特征数据识别与获取方法, TBM 健康状况评估与故障诊断方法, 技术服务故障任务列队与技术服务人员调度指派方案。

1 基于云计算的健康管理模式

1.1 健康管理

在制造领域, 健康管理是以监测、诊断、评估为主要手段, 具有智能化、协同化和自主化的典型特点, 并且需要建立在状态/信息感知、融合和辨识行为的基础上, 以感知为中心的决策过程和执行过程^[7-9], 以区别于医学上的健康管理问题研究。复杂装备的健康管理过程是对设备的各关键部件健康危险因素进行监测与评价、诊断与维护、再监测与再评价等的过程, 其中诊断与维护是其核心内容^[10-11]。其系列活动可分为诊断和预测、缓解/减轻影响、修复、检验等^[12-13]。

1.2 基于云计算的健康管理模式

云计算是指通过网络将大量的计算程序存储到大量的分布式计算机当中, 由专业计算机和第三方服务运行商构建计算机存储和计算服务中心, 将各类大规模计算的资源虚拟化为“云”后进行集中存储的方法。用户端通过 Web 界面请求服务, 管理云端通过服务等级协议动态调度计算资源, 且资源可无限扩展、随时获取、按需使用付费^[14-17]。复杂装备全生命周期中的健康管理问题亦是一种分

布式、并行的管理模式, 因此, 构建基于云计算的健康管理平台, 可实现企业的降本增效, 提升企业的服务水平和在市场上的核心竞争力。基于云计算的健康管理平台层次模式包括资源层、虚拟资源层、核心服务层、应用设备层、应用层, 具体结构如图 1 所示。

2 健康管理中的知识获取技术

健康管理知识获取是一种基于特征分析的语义识别技术, 以自然语言为基础, 借助统计模型和计算语言, 在知识关联模型下完成语义地识别。

2.1 知识本体构建

在人工智能领域, 本体是领域内部不同主体之间进行交流的一种语义识别与表达的基础, 由语义本体来提供一种明确定义的基本共识^[11-13]。根据本研究中应用的知识领域和服务需求, 可采用 Gruber 提出的最大单调可扩展性、本体约定最小原则、编码依赖程度最小等准则构建不同的知识领域本体。

知识本体构建常采用的方法一般有: Bernaras 方法、Gruninger & Fox 的“评估法”、METHONOTOLOGY 方法、Uscholddede & King 的“骨架法”和 SENSUS 方法。

2.2 基于知识本体的健康管理知识表达

监测、评估、预测、诊断等 TBM 健康管理之基础, 为了满足健康知识重用和健康知识表达高柔性, 拟采用面向 TBM 全生命周期健康管理知识表达的 3 层框架模型, 如图 2 所示, 以表示各类健康管理知识。

3 层框架结构既保证了健康管理知识的重用性、规范性和共享性, 又降低了健康管理知识的建模难度。另外, 构建元本体不依赖于具体语言, 故该表达方法可在健康管理知识获取时中呈现高服务柔性。

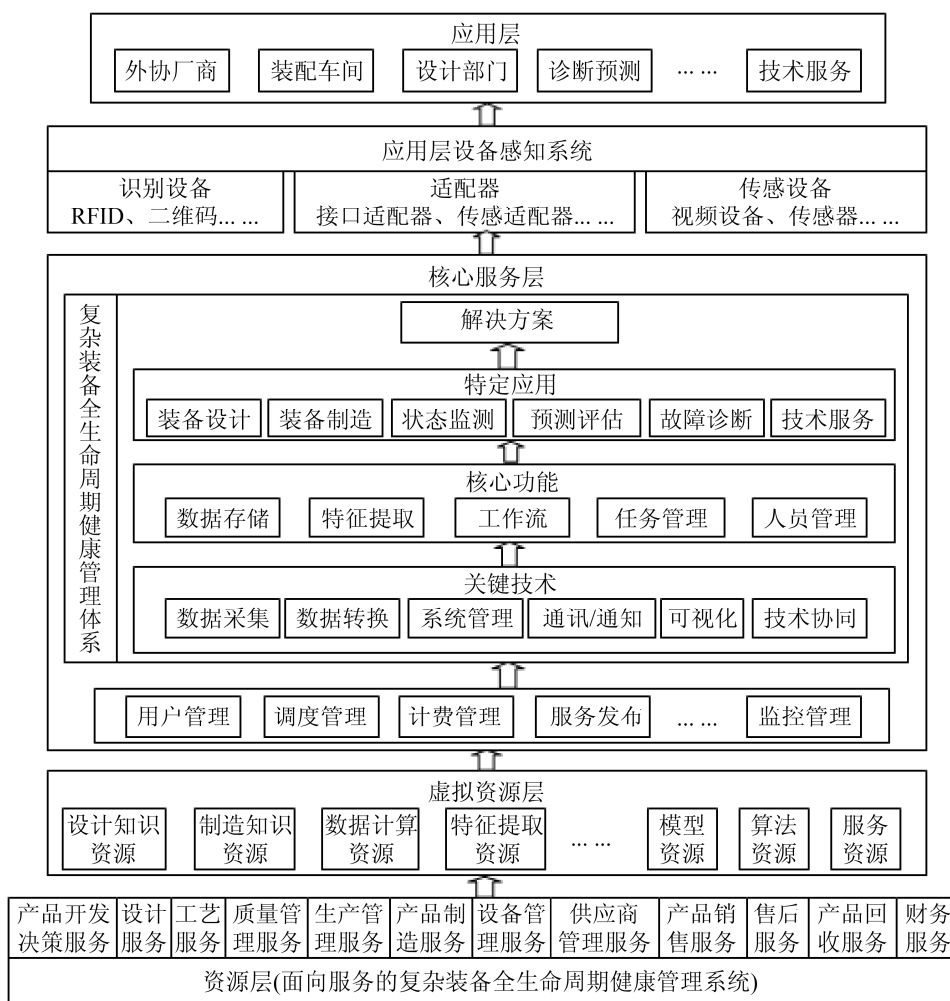


图 1 基于云计算的复杂装备健康管理系统层次模式图

Fig. 1 Cloud computing-based hierarchical model of health management system for complex equipment

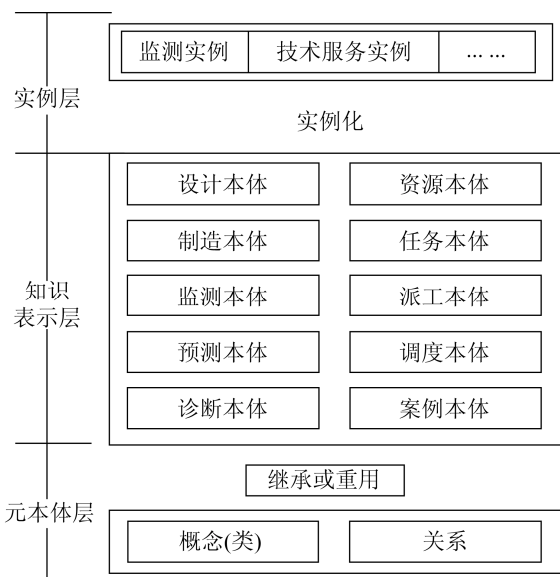


图 2 基于本体的健康管理框架

Fig. 2 Ontology-based health management framework

2.3 健康管理信息的知识获取算法

在 TBM 掘进过程中, 健康管理信息的知识获取算法包括文本概念相似度计算、语句相似度计算、数值相似度计算和基于实例本体的相似度计算 4 类。本文基于实例本体相似度开展计算。

案例本体相似度是指相互匹配的两个案例之间的相似程度, 其相似度达到预定阈值时, 认为其相似, 否则不相似。设 A 与 B 为两个待比较的技术服务案例, A_0 与 B_0 分别表示 A 与 B 本体类描述集合同义词、属性。则 A 与 B 之间的相似度可用公式(1)、(2)计算:

$$EetSim(A, B) = \frac{|A \cap B|}{|A \cap B| + \alpha(A_0, B_0)|A/B| + (1 - \alpha(A_0, B_0))|B/A|} \quad (1)$$

$$\text{且 } \alpha(A, B) = \begin{cases} \frac{\text{depth}(A_0)}{\text{depth}(A_0) + \text{depth}(B_0)} & (\text{depth}(A_0) \leq \text{depth}(B_0)) \\ 1 - \frac{\text{depth}(A_0)}{\text{depth}(A_0) + \text{depth}(B_0)} & (\text{depth}(A_0) > \text{depth}(B_0)) \end{cases} \quad (2)$$

式中：“ \cap ”为交运算，“ $|$ ”为模(势)运算，“ $/$ ”为求异运算，即 $A/B = A - (A \cap B)$ 。 α 表示非公有特性的相对重要程度函数，函数 $\text{depth}()$ 表示本体领域概念 A_0 到本体概念 B_0 具有相交点的最短路径。当 A_0 与 B_0 为本体域类相同概念时，则 $\alpha(A_0, B_0) = 0.5$ 。

复杂装备健康管理过程中，涉及到关键部件状态监测、预测评估、故障诊断、技术服务等环节，并将结果反馈到装备的设计与制造部门进行产品的升级改造。鉴于前期相关研究成果的发表，且限于篇幅，本文仅介绍健康管理中的技术服务应用。

3 技术服务支持模型构建

TBM 在运行过程中，故障任务和技术服务人员存在着一定的不确定性，需由实际情况建立动态列队与指派模型。

3.1 技术服务支持模型总体框架

为满足有限资源和无限任务的实际情况，建立图 3 所示动态技术服务支持模型框架。在此基础上，结合服务任务顺序和技术服务人员情况，建立图 4 所示技术服务流程图。

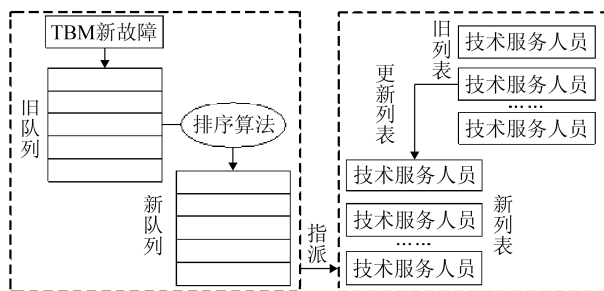


图 3 技术服务总体框架
Fig. 3 Overall framework of technical services

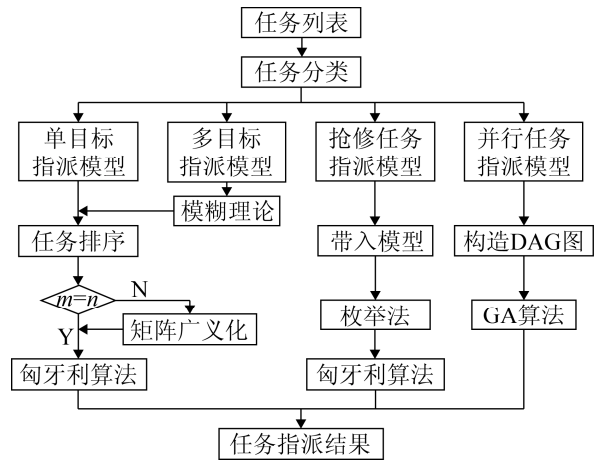


图 4 技术服务总体流程
Fig. 4 Overall process of technical service

鉴于复杂装备故障任务数量、紧急性和相关性等多方面原因，由图 4 可知，建立了单目标指派、多目标指派、并行任务指派和抢修任务指派模型。

3.2 基于 FAHP 的故障总排序

健康管理系统技术服务请求任务列队指各服务子系统按服务请求时间、服务请求的重要度、服务请求的紧急度对故障服务请求消息进行总排序。

3.2.1 模糊层次分析法

设矩阵 $R = (r_{ij})_{m \times m}$ ($0 \leq r_{ij} \leq 1$) 为模糊矩阵，若对任意 k 有 $r_{ij} = r_{ik} - r_{jk} + 0.5$ ，则模糊矩阵 R 为模糊一致矩阵。由于模糊矩阵不满足中分传递性，因此需要将其经转换变为模糊一致矩阵。若模糊矩阵按行求和为 $r_i = \sum_{j=1}^m r_{ij}$ ，经数学变换 $a_{ij} = (r_i - r_j) / 2m + 0.5$ ，建立模糊一致矩阵 $A = (a_{ij})_{m \times m}$ 。

3.2.2 技术服务排序模型构建

(1) 建立特征集优先关系矩阵^[15]

建立目标特征集 $Q = \{O_1, O_2, \dots, O_k\}$ ($k=1, 2, \dots, n$)，则各目标特征优先关系由不同隶属度模糊数表示，建立特征集优先关系矩阵 $A = (a_{ij})_{n \times n}$ 。

(2) 构建故障维护任务较同一特征的优先关系矩阵

m 个服务任务 T_i ($i=1, 2, \dots, m$) 在 n 个技术特

征 $O_k (k=1, 2, \dots, n)$ 下进行多目标决策, 以得到 n 个模糊优先关系矩阵 $B_k = (b_{ij}^k)_{m \times m} (k=1, 2, \dots, n)$ 。

(3) 模糊一致矩阵

将 $A = (a_{ij})_{n \times n}$ 和 $B_k = (b_{ij}^k)_{n \times n} (k=1, 2, \dots, n)$ 转换为模糊一致矩阵 $R^0 = (r_{ij}^0)_{n \times n}$ (其中 $r_{ij}^0 = (r_i - r_j) / 2n + 0.5, r_i = \sum_{j=1}^n a_{ij}$) 和 $R^k = (r_{ij}^k)_{m \times m}$ (其中 $r_{ij}^k = (r_i - r_j) / 2m + 0.5, r_i = \sum_{j=1}^m b_{ij}^k$)。

(4) 单特征排序

由方根法计算服务任务 T_i 在技术特征 O_k 下优

$$\text{先值 } S_i^k, S_i^k = \frac{\bar{S}_i}{\sum_{j=1}^m \bar{S}_j} \text{ (其中 } \bar{S}_i = \left[\prod_{j=1}^m r_{ij}^k \right]^{1/m} \text{), } S_i^k \text{ 越大,}$$

则优先度越高。同理, 可计算得各特征权重 w_k 。

(5) 多技术特征排序

计算各待服务任务的总体优先值,

$$V_i = \sum_{k=1}^n w_k S_i^k, \text{ 以进行总体排序。}$$

3.2.3 技术服务任务排序计算

由故障维护技术服务需求构建 TBM 故障任务结构模型。选取故障任务时间、任务严重程度、完成任务耗时为任务特征, 排序原则如下:

- (1) 故障任务时间 A: 按照时间顺序安排, -1 为第 1 个, 依次类推;
- (2) 任务严重程度 B: 3 重度 > 2 中度 > 1 轻度;
- (3) 完成任务耗时 C: 3 很长 > 2 一般 > 1 很短;
- (4) 技术人员数 D: 3 代表多于 4 个; 2 代表 2~3 个; 1 代表只需 1 个。

技术服务任务排序层次结构如表 1 所示。

表 1 技术服务任务排序结构

Tab. 1 Technical service task sequencing structure

特征层(O)	A	B	C	D	特征层(O)	A	B	C	D
任务 1	-1	3	3	2	任务 5	-5	1	3	2
任务 2	-2	3	1	3	任务 6	-6	3	1	3
任务 3	-3	1	1	3	任务 7	-7	2	3	2
任务 4	-4	2	2	2	任务 8	-8	1	3	3

(1) 依专家经验构建特征集优先关系矩阵 A:

$$A = \begin{bmatrix} 0.5 & 1.0 & 1.0 & 1.0 \\ 0.0 & 0.5 & 0.0 & 1.0 \\ 0.0 & 1.0 & 0.5 & 1.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.5 \end{bmatrix}$$

(2) 构建优先关系矩阵 $B_1 \sim B_4$

(3) 求解特征集模糊一致矩阵 R^0 , 则任务层模糊一致矩阵 $R^1 \sim R^4$

(4) 单特征排序: 由 $R^1 \sim R^4$ 得出特征权重:

$$\omega = (0.3527, 0.2169, 0.2854, 0.1450)$$

(5) 各任务单特征下的优先值如表 2 所示, 8 项故障任务优先排序结果为:

$$u = (1, 2, 4, 7, 3, 8, 5, 6)。$$

表 2 故障任务单特征下优先值

Tab. 2 Priority value under fault task single feature

特征层(O)	A	B	C	D
任务 1	0.1852	0.1674	0.1586	0.0915
任务 2	0.1684	0.1675	0.0827	0.1584
任务 3	0.1515	0.0822	0.0828	0.1584
任务 4	0.1344	0.1255	0.1169	0.0915
任务 5	0.1172	0.0822	0.1586	0.0915
任务 6	0.0996	0.1674	0.0827	0.1584
任务 7	0.0814	0.1254	0.1586	0.0915
任务 8	0.0619	0.0822	0.1586	0.1584

(6) 多特征任务总排序:

$$V = (0.1602, 0.1423, 0.1179, 0.1213, 0.1177, 0.1181, 0.115, 0.1079)$$

3.3 基于匈牙利算法的 TBM 故障任务指派

将排序结果 u 应用于技术服务人员调度指派。

3.3.1 TBM 故障任务指派模型

设: 故障任务集合 $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots\}$, 技术服务人员集合 $Y = \{B_0, B_1, B_2, B_3, \dots\}$, 则故障任务指派可表示为 $F: X \rightarrow Y$ 。即, 经函数 F 将故障任务 X_i 指派给技术服务人员 Y_j 。

3.3.2 TBM 故障抢修任务指派模型

由图 4 知, TBM 故障任务指派分为 4 类, 由于已有文献对单任务指派和多任务指派在生产线上

任务上有所应用, 限于篇幅, 在此仅对第 3 类抢修任务指派模型进行介绍。

(1) 抢修任务指派模型

该任务指根据紧急程度, 不考虑时间顺序而优先解决的任务。TBM 技术服务中心 m 位维护服务人员拟完成 n 项故障任务, 且 $m \leq n$, 由第 i 个人完成第 j 项任务的效益值为 c_{ij} , 构成效益矩阵 C 。

$$C = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 & \dots & J_n \\ c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{m1} & c_{m2} & \dots & c_{mn} \end{bmatrix}$$

式中: J_i 为第 i 项任务的紧急程度, 即

$$J_k = \begin{cases} 1 & \text{非常紧急} \\ 2 & \text{紧急} \\ 3 & \text{一般} \end{cases} \quad k = 1, 2, 3, \dots, n$$

任务紧急程度与优先顺序保持一致。将完成所有维护任务总时间最短设置为决策函数目标, 则设备的抢修故障任务人员指派调度模型为

$$\min Z = \max(\sum f_{A_i}, \sum f_{B_i}, \sum f_{C_i}, \sum f_{D_i})$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} \sum_{i=1}^m x_{ij} = 1 & j = 1, 2, \dots, n \\ \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} = n \\ x_{ij} = 0 \text{ 或 } 1 \\ \sum_{i=1}^m a_i = m & a_i = 1, 2, \dots, n \end{cases}$$

$f_{A_i}, f_{B_i}, f_{C_i}, f_{D_i}$ 为故障维护服务人员完成第 i 项任务的用时, $x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{指派第 } i \text{ 人做第 } j \text{ 事} \\ 0, & \text{不指派第 } i \text{ 人做第 } j \text{ 事} \end{cases}$ 。

(2) 模型求解

接下来, 根据故障抢修的紧急程度不同, 将应用匈牙利算法对其进行求解, 设备故障维护的任务紧急度为 J_k , 从效益矩阵 C 中提取出来第 J_k 列, 共有 L_k 项, 根据实际服务中心情况, 假设故障维护服务人员数为 m_k , 可构成效率矩阵 $(C_k)_{(m_k \times L_k)}$,

由匈牙利算法求解, 得:

$$\min f_k = \sum_{i=1}^{m_k} \sum_{j=1}^{L_k} c_{ij} \cdot x_{ij} \quad k = 1, 2, 3$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} \sum_{j=1}^{L_k} x_{ij} = 1 & i = 1, 2, \dots, m_k \\ \sum_{i=1}^{m_k} x_{ij} = 1 & j = 1, 2, \dots, L_k \\ x_{ij} = 0 \text{ 或 } 1 \end{cases}$$

鉴于技术服务的完成过程属于随机事件, 并且考虑到在一定的时间范围内事件具有充分的稳定性, 研究可进行如下假设: ①完成任务期间, 任务量恒定; ②技术人员仅参与 1 次维修; ③故障维护服务人员的完成质量与给定的最佳效益矩阵相一致, 可借助枚举法进行求解。

(3) 模型应用分析

由某一 TBM 技术服务中心 4 名技术服务人员 (A, B, C, D) 来完成 6 项故障维修服务, 其中前 3 项服务属于非常紧急, 第 4, 5 项服务属于紧急, 最后 1 项一般。根据 4 名技术服务人员的综合能力建立任务维护效益矩阵 C (行为技术服务人员, 列为抢修服务任务), 任务完成总时间最短为优化目标。

$$C = \begin{matrix} & J & \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 2 & 2 & 3 \end{bmatrix} \\ \begin{matrix} A \\ B \\ C \\ D \end{matrix} & \begin{bmatrix} 2 & 15 & 13 & 7 & 12 & 6 \\ 10 & 4 & 14 & 5 & 7 & 9 \\ 9 & 14 & 16 & 10 & 15 & 8 \\ 7 & 8 & 11 & 8 & 11 & 7 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

前 3 项任务的效益矩阵 C_1 :

$$C_1 = \begin{bmatrix} 2 & 15 & 13 \\ 10 & 4 & 14 \\ 9 & 14 & 16 \\ 7 & 8 & 11 \end{bmatrix}$$

效益矩阵扩展, 得:

$$C'_1 = \begin{bmatrix} 2 & 15 & 13 & 0 \\ 10 & 4 & 14 & 0 \\ 9 & 14 & 16 & 0 \\ 7 & 8 & 11 & 0 \end{bmatrix}$$

经由匈牙利算法, 得: $F_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$

$A \rightarrow 1, B \rightarrow 2, D \rightarrow 3; f_{A_1} = 2, f_{B_1} = 4, f_{D_1} = 11;$

第 4, 5 项任务的效益矩阵 $C_2 = [10 \ 15]$

仅技术服务人员 C 于现场, 显然有 $C \rightarrow 4,$

$\min f_{C_1} = 10。$

根据只要出现抢修任务, 空闲服务人员必须接受新任务的抢修任务指派原则, 服务人员 A 在 2 h 后回来, 故障维护人员 B 于 4 h 之后独立, 则将由 A 与 B 将继续共同来完成第 5、6 项任务。

$$C_3 = \begin{bmatrix} 12 & 6 \\ 7 & 9 \end{bmatrix}$$

当: $A \rightarrow 5, B \rightarrow 6, f_{A_2} = 12, f_{B_2} = 9$ 时, 最短维护时间为 $\min Z = \max(2 + 12, 4 + 9, 10, 11) = 14;$ 而当 $A \rightarrow 6, B \rightarrow 5, f_{A_2} = 6, f_{B_2} = 7$ 时, 最短维护时间为 11 h。因此, 最佳任务调度指派如表 3 所示。

表 3 抢修任务调度指派结果

人员	任务 1	任务 2	任务 3	任务 4	任务 5	任务 6
A	1					1
B		1			1	
C				1		
D			1			

对表 3 指派结果分析可知, 指派结果与效益矩阵对应, 可看出服务人员 A 完成任务 1 与 6 效果最佳, 技术服务人员 B 完成任务 2 与 5 效果最佳, 足以证明调度指派结果具有合理性。

4 基于云计算的健康管理系统实现

本文以复杂装备 TBM 全生命周期中关键部件的健康管理为研究对象, 构建基于云计算的健康管理系统, 为设备全生命周期过程中提供技术服务。系统以实用性、模块化、可扩充性和安全性为原则进行设计开发。

4.1 系统体系结构

系统体系结构面向用户需求, 包括特征数据提

取、健康状态预测与评估、技术服务决策、知识和用户管理等功能。系统体系结构如图 5 所示。

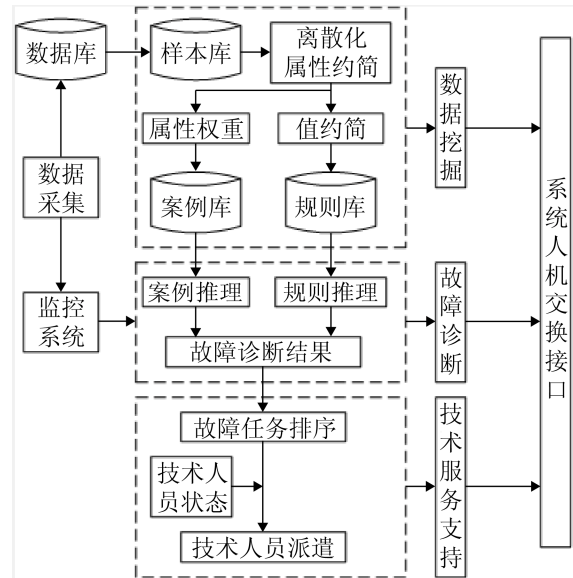


图 5 系统总体框架图

Fig. 5 Overall framework of the system

系统中的特征数据提取、故障预测与评估、技术服务决策功能模糊相互联系、协调一致、不断促进, 完善系统健康管理功能, 如图 6 所示。

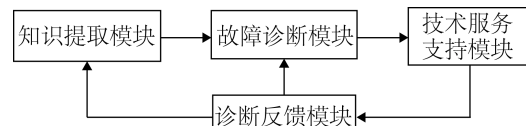


图 6 系统功能完善循环结构

Fig. 6 System function consummates the circulation structure

为更好地融合已有系统, 将其连接以提供全方位的健康管理服务, 本文采用面向服务架构 SOA 构建系统, 如图 7 所示。

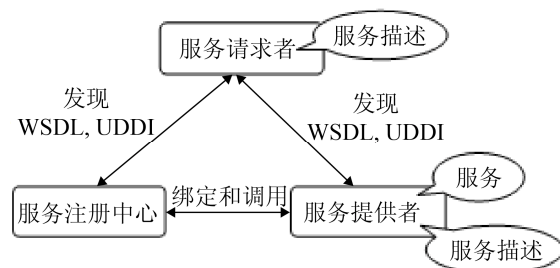


图 7 SOA 服务体系模型

Fig. 7 SOA service architecture model

且该健康管理系统使用 B/S 的 3 层系统体系结构, 并结合 VB, JSP, MATLAB 等工具实现, 如图 8 所示。

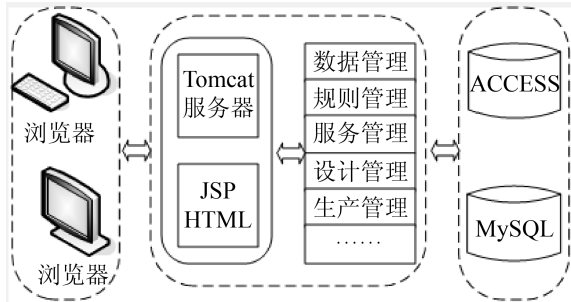


图 8 健康管理系统软件结构
Fig. 8 Health management system software structure

4.2 系统运行分析

系统登录后, 如图 9 所示, 可根据需求进入不同的功能系统。



图 9 系统主要功能结构
Fig. 9 Main functional structure of the system

通过对 TBM 进行实时监测, 提取特征数据, 经过 SOM 和 MATLAB 数据离散后被调用, 进一步完成诊断评估, 如图 10~11 所示。

经过评估, 将评估结果发送至技术服务中心, 技术服务中心决策系统根据任务的紧急属性, 对技术服务人员进行指派调度以合理匹配服务任务, 服务任务排队如图 12 所示, 人员调度如图 13 所示。

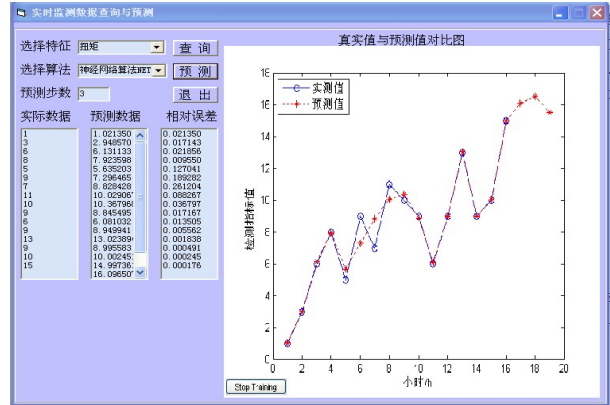


图 10 实时检测数据预测界面
Fig. 10 Real-time detection data prediction interface



图 11 数据离散化界面
Fig. 11 Data discretization interface



图 12 任务排序界面
Fig. 12 Task sorting interface

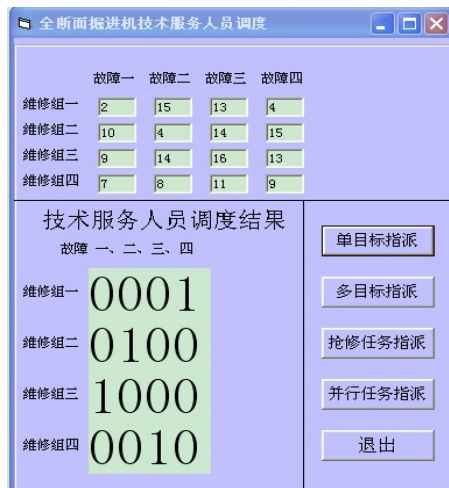


图 13 人员派遣界面

Fig. 13 Personnel dispatch interface

5 结论

为了解决复杂装备全生命周期的健康管理问题,构建了基于云计算的健康管理模式,提出了基于 TBM 施工运行状态知识本体的特征提取技术,重点研究了全断面掘进机故障维护任务服务列队和维修人员指派调度,效益矩阵与指派结果相一致,体现了模型的合理性与可行性,并提高了复杂装备全生命周期健康管理过程的智能化,进而提高了健康管理的效率和质量。开发基于 B/S 三层结构复杂装备健康管理系统,可以实现远程设备维护与信息反馈,为产品网络化、协同化设计提供了技术支持。另外,在今后的健康管理领域研究中,为更好地服务设计和施工,应进一步加强异构系统间的数据交换等问题的研究。

参考文献:

- [1] Calzavara M, Persona A, Sgarbossa F. A model for rest allowance estimation to improve tasks assignment to operators[J]. International Journal of Production Research (S0020-7543), 2019, 53(2): 948-962.
- [2] Jain T, Hazra Jain. Hybrid Cloud Computing Investment Strategies[J]. Production and Operations Management (S1059-1478), 2019, 28(5): 115-119.
- [3] 陈先磊. 全断面掘进机故障诊断与技术服务支持系统研究[D]. 沈阳: 东北大学, 2012.
Chen Xianlei. Research on fault diagnosis and technical service support system of TBM[D]. Shenyang: Northeastern University, 2012.
- [4] 丁军妹, 张天瑞, 于天彪, 等. 基于云计算的网络化协同技术服务任务列队与指派研究[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2013, 61(7): 65-68.
Ding Junmei, Zhang Tianrui, Yu Tianbiao, et al. Research on Networked Collaborative Service Task Alignment and Assignment Based on Cloud Computing[J]. Combination machine tool and automatic machining technology, 2013, 61(7): 65-68.
- [5] Yang J T. Cloud Computing for Storing and Analyzing Petabytes of Genomic Data [J]. Journal of Industrial Information Integration (S2452-414X), 2019, 5(5): 88-95.
- [6] 苏莹莹. 面向生产过程的网络化技术服务研究[D]. 沈阳: 东北大学, 2009.
Su Yingying. Research on Network Technology Service Oriented to Production Process[D]. Shenyang: Northeastern University, 2009.
- [7] Abdullah M D, Mamun A L, Howladar M F, et al. Assessment of surface water quality using Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP): A case study of Piyain River's sand and gravel quarry mining area in Jafong, Sylhet[J]. Groundwater for Sustainable Development (S2352-801X), 2019, 9(4): 199-220.
- [8] 田倩南. 面向航空调度中机场任务指派与受扰航班恢复问题的研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2019.
Tian Qiannan. Research on Airport Task Assignment and Disturbed Flight Recovery in Aviation Scheduling[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2019.
- [9] 赵军阳, 张志利, 刘殿剑. 一种利用改进径向特征的星图识别方法[J]. 系统仿真学报, 2019, 31(4): 601-607.
Zhao Junyang, Zhang Zhili, Liu Dianjian. A Star Map Recognition Method Using Improved Radial Features[J]. Journal of System Simulation, 2019, 31(4): 601-607.
- [10] 李伯虎, 柴旭东, 张霖, 等. 面向新型人工智能系统的建模与仿真技术初步研究[J]. 系统仿真学报, 2018, 30(2): 349-362.
Li Bohu, Chai Xudong, Zhang Lin, et al. Preliminary Study of Modeling and Simulation Technology Oriented to Neo-type Artificial Intelligence Systems[J]. Journal of System Simulation, 2018, 30(2): 349-362.
- [11] 张天瑞. 面向服务的全断面掘进机生命周期健康管理技术研究[D]. 沈阳: 东北大学, 2012.
Zhang Tianrui. Research on Service-Oriented Lifecycle Health Management Technologies for Tunnel Boring Machine[D]. Shenyang: Northeastern University, 2012.
- [12] 于璐, 何祥, 刘嘉勇. 基于时空语义挖掘的城市功能

- 区识别研究 [J]. 四川大学学报(自然科学版), 2019, 56(2): 246-252.
- Yu Lu, He Xiang, Liu Jiayong. Research on Urban Functional Area Identification Based on Spatio-temporal Semantic Mining[J]. Journal of Sichuan University (Natural Science), 2019, 56(2): 246-252.
- [13] 张天瑞, 代沅兴, 武继将, 等. 基于虚拟仪器的 TBM 状态监测系统仿真研究[J]. 系统仿真学报, 2013, 25(8): 1716-1720, 1725.
- Zhang Tianrui, Dai Yuanxing, Wu Jijiang, et al. Research on Simulation for TBM Monitoring System Based on Virtual Instrument[J]. Journal of System Simulation, 2013, 25(8): 1716-1720, 1725.
- [14] Kim J H, Lee J B, Kim B C, et al. Raw material criticality assessment with weighted indicators: An application of fuzzy analytic hierarchy process [J]. Resources Policy (S0301-4207), 2019, 64(3): 225-233.
- [15] 何喜军, 张婷婷, 武玉英. 供需匹配视角下基于语义相似聚类的技术需求识别模型[J]. 系统工程理论与实
践, 2019, 39(2): 476-485.
- He Xijun, Zhang Tingting, Wu Yuying. A Demand Recognition Model Based on Semantic Similarity Clustering from Perspective of Supply and Demand Matching[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2019, 39(2): 476-485.
- [16] Yao W R, Qi N M, Wan N. An iterative strategy for task assignment and path planning of distributed multiple unmanned aerial vehicles [J]. Aerospace Science and Technology (S1270-9638), 2019, 16(2): 455-464.
- [17] 吉卫喜, 蔡酉勇, 张朝阳. 异常事件驱动的离散制造车间重调度决策 [J]. 系统仿真学报, 2018, 30(11): 4043-4052.
- Ji Weixi, Cai Youyong, Zhang Chaoyang. Abnormal Event Driven Rescheduling Decision Making in Discrete Manufacturing Workshop[J]. Journal of System Simulation, 2018, 30(11): 4043-4052.