

# 基于 MapReduce 并行处理的机电特种设备故障诊断系统设计

王林, 姜萌

(西安理工大学 自动化与信息工程学院, 西安 710048)

**摘要:** 针对直流接地故障检测系统检测结果误差大的问题, 提出了基于 MapReduce 并行处理的机电特种设备故障诊断系统设计; 根据系统总体架构, 将硬件结构分为故障检测显示单元和数据处理及传输单元; 整流电流, 使用二极管整流装置设计集流故障检测指示电路; 采用多层差分电路获取脉冲信号, 以低电平电压位置的故障检测器作为检测点, 设计电流突变检测模块; 使用 DH08 型号开关状态检测模块, 具有 8 路交流输入, 由此检测设备断电故障; 选配 6AU1410-0AB00-0AA0 型西门子报警模块, 对故障点进行报警处理; 设计 MapReduce 执行流程, 分析 4 个 MapReduce 作业训练过程, 计算数据属性特征词在每个故障类中的频率值, 由此完成故障诊断; 以轴承故障为例, 进行实验验证分析; 由实验测试结果可知, 该系统与实际波形差别较小, 其对 A 相、B 相 C 相电流短路故障诊断的时间点波形变化与实际曲线基本一致, 在 0A 附近波动, 说明该方法具有精准检测结果, 能够为机电特种设备广泛应用提供设备支持。

**关键词:** MapReduce; 并行处理; 机电特种设备; 故障诊断

## Design of Fault Diagnosis System of Electromechanical Special Equipment Based on MapReduce Parallel Processing

Wang Lin, Jiang Meng

(College of Automation and Information Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

**Abstract:** Aiming at the large error of the detection result of the DC ground fault detection system, the design of a fault diagnosis system for electromechanical special equipment based on MapReduce parallel processing is proposed. According to the overall architecture of the system, the hardware structure is divided into fault detection display unit and data processing and transmission unit. To rectify the current, use a diode rectifier to design a current-fault detection indicator circuit. The multi-layer differential circuit is used to obtain the pulse signal, and the fault detector at the low-level voltage position is used as the detection point to design the current mutation detection module. Use the DH08 model switch state detection module, with 8-way AC input, thereby detecting power failure of the device. Optional 6AU1410-0AB00-0AA0 Siemens alarm module can be used for alarm processing of the fault point. Design the MapReduce execution process, analyze the training process of the four MapReduce jobs, and calculate the frequency value of the data attribute feature words in each fault class, thus completing the fault diagnosis. Taking bearing failure as an example, an experimental verification analysis is conducted. The experimental results show that the difference between the system and the actual waveform is small, and the waveform change of phase A, phase B and phase C current short circuit fault diagnosis is basically consistent with the actual curve, and fluctuates around 0A, indicating that the method has accurate detection results and can provide equipment support for the wide application of electromechanical special equipment.

**Keywords:** MapReduce; parallel processing; electromechanical special equipment; fault diagnosis

## 0 引言

在实际生活环境中, 机电专用设备在人们日常生活中得到了广泛应用, 如商场电梯运行、大型游乐设施建设等, 这些设备一旦出现故障, 就会危及人们生命安全<sup>[1]</sup>。机电类特种设备是控制专用设备正常工作, 确保设备安全的关键设备, 如启动装置发生故障, 特殊设备无法安全运行, 造成各种危害<sup>[2]</sup>。对启动设备进行故障检测, 能有效提高

启动设备的稳定性, 确保专用设备的安全运行。

由于我国专用设备启动机的故障检测水平较低, 迫切需要开发专用机电设备启动机故障检测系统来帮助解决这一问题<sup>[3]</sup>。由相关领域的专家和学者设计的故障检测系统, 具有一定的实用性。因此, 提出了一种用于机电专用设备启动装置的直流感地故障检测系统。该系统检测精度高, 但检测效率低, CPU 利用率高。针对以上问题, 设计了一种基于 MapReduce 并行处理的机电特种设备故障诊断系

收稿日期: 2020-07-01; 修回日期: 2020-07-21。

基金项目: 陕西省科学技术厅重点研发计划(2017ZDCXL-GY-05-03)。

作者简介: 王林(1963-), 男, 江苏东台人, 博士, 教授, 主要从事大数据、数据挖掘及计算机视觉方向的研究。

引用格式: 王林, 姜萌. 基于 MapReduce 并行处理的机电特种设备故障诊断系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2021, 29(2): 5-9.

统。改进传统系统硬件部分，对框架进行理论内容的补充，提取故障检测指标，计算故障检测频率，实现部分软件故障检测功能的设计。

### 1 总体架构设计

针对机电特殊设备起动装置故障检测系统的特点，根据故障检测系统的功能要求，对其硬件结构进行了优化设计<sup>[4]</sup>。

对于一般设计用于大型机电设备的汽轮机，如远程实时监测和结合企业需求进行故障诊断，预测维护设备和实用技术设备，发展了一套用于企业设备信息管理、数据分析和故障诊断的技术，强大的设备预测维护和故障诊断系统<sup>[5-7]</sup>。该系统中心服务器与智能监控终端客户端子系统协同工作，实现了现场机电设备的远程实时监控、状态监测与故障诊断<sup>[8-9]</sup>。图 1 中显示了总体结构。

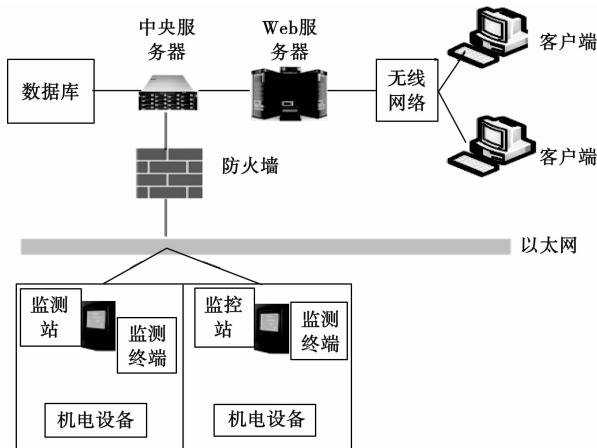


图 1 总体架构设计

从图 1 中可以看出，监测站是根据实际情况设置的，根据设备的重要程度，模型与设备之间的关系以及距离，其下包含许多智能监控终端，例如监控器与设备连接，根据需要进行信号采集<sup>[10]</sup>。设定每台设备需要的监测终端数量，并留出足够的空间，监测终端通过以太网直接与中央服务器相连<sup>[11]</sup>。通过客户端子系统，现场或远程用户可以登录到中央服务器，获得授权后，可对权限范围内的所有终端监控设备进行信息采集操作<sup>[12]</sup>。

对一般的机电设备进行远程实时监控和故障诊断，发现设备与系统终端直接相连，其种类和数量不受限制；用户可以自由地定义和配置监测设备的所有参数，以满足不同被测设备的需要，实现设备的远程监测<sup>[13-14]</sup>。

### 2 硬件结构设计

该系统的硬件主要包括故障检测显示和数据处理传输两部分，为有效提高系统的检测精度，设计了故障检测指示单元<sup>[15]</sup>。优化数据处理和传输单元是提高系统故障检测能力的有效途径。

#### 2.1 故障检测指示模块

##### 2.1.1 采集电流模块

在电缆上方的感应线圈收集交流电，测量过程中，若

要被其它检测模块使用，则需要对电流进行整流，并对整流后的电流进行滤波<sup>[16]</sup>。用两个简单的二极管设计了一种整流集流故障检测指示电路。图 2 中显示了电流采集电路。

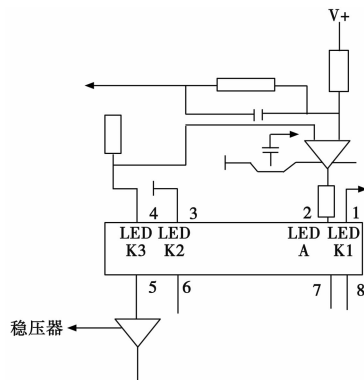


图 2 电流采集电路图

将两个二极管与电阻感应线圈并联，设置截止线圈的导电状态，保证释放的高压二极管全部吸收电磁波，消除电弧，感应线圈收集交流电。当全桥式整流电路为电流时，将两个相同的直流输出结果作为输入结果，传输到电流突变检测模块和电源故障检测模块。

##### 2.1.2 电流突变检测模块

电压突变检测模块是在电压突变发生时对故障进行检测，三相短路或两相短路引起的故障可产生大量的破坏性电流，为实现突变电流下的精确故障检测，必须对突变电流进行校正。然后对多层差分通过优化电路获得了相应的脉冲信号，在二极管有突发电流时，选用低压级故障检测器作为检测点。

##### 2.1.3 断电检测模块

电力系统故障检测模块的电路由电阻和二极管组成，当无电流通过架空线路时，检测故障点。图 3 中显示了自动断路器检测装置。

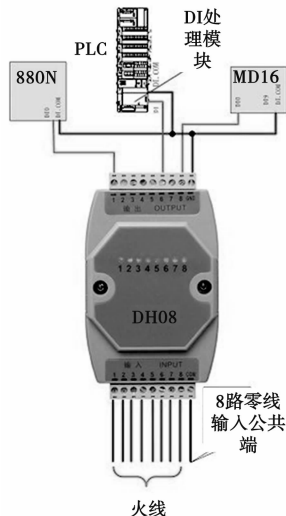


图 3 自动断检装置

该装置具有 8 路交流输入、8 路开关输入、无源设计、无独立电源，通过自动断检装置实时检测 220 V 交流电源

通断状态, 并输出结果; 8 路断路器显示 220 V 电源的输入状态; 采用光电隔离技术, 防止雷击涌入检测器和设备; 可采用钢轨安装, 安装简便。开关状态检测模块选用 DH08, 是一种稳定、可靠的八路交流电源开关和 AC 开关状态检测模块, 该模块具有 8 个 220 V 输入—8 个集电极开路输出的采集和转换功能, 能实时检测各通道的开关状态 220 V 交流电源, 并输出相应的集电极开路信号, 实现交流电源数字信号的转换, 方便接触检测设备的监控<sup>[17]</sup>。

#### 2.1.4 报警模块

选配了 6AU1410-0AB00-0AA0 型西门子报警模块, 采用了控制室安装方式, 并通过软 PLC 命令处理器实现了故障检测点的故障信息报警功能, Flash 是用来向远程巡逻员显示故障信息的。

### 2.2 数据处理传送模块

射频收发模块、双模通信模块、电源模块、核心控制模块是构成数据处理和传输单元的主要部件。RFID 技术, 即 RFID 技术, 是射频收发模块的一种, 主要用于故障检测指令单元与数据处理单元、数据传输单元之间的数据接收和发送。

#### 2.2.1 双模通信模块

RDSS 射频收发芯片用于双模通信模块, 并与功放芯片集成。两片晶片和其它晶片的配合, 可有效实现 RDSS 的信号收发和调制解调。双模通信模块的接口兼容本地串口模块<sup>[18]</sup>, 通过配置相关参数, 可设置故障检测器位置

#### 2.2.2 电源模块

功率模块的供电电压必须保持在 1.2 V, RF 收发模块则要求供电电压为 DC2.9~3.6 V。为满足工作电压要求, 数据处理和传输单元电源模块采用 LM2575 稳压器芯片。通过把蓄电池充电时的电压调整到 1.2 V, 使蓄电池在供电时具有一定的稳定性。

#### 2.2.3 核心控制单元

核心控制模块相当于系统的硬件“大脑”, 能确保系统安全稳定运行, 降低功耗。核心控制模块为 PIC16F883。优化故障检测指令单元和数据处理传输单元, 完成了机电启动器故障检测系统的硬件部分, 为系统软件设计提供了最佳的硬件环境。

### 3 系统功能设计

Hadoop 是一个分布式平台, 可以方便地计算大型数据集。群集系统的并行处理加快了运算速度。MapReduce 是 Hadoop 的一个子项目, 它能够处理大数据集的并行计算, 以简单、通用的并行算法实现电力设备故障诊断。

MapReduce 的执行流程如图 4 所示。

通过 MapReduce 操作模式<sup>[19]</sup>, 实现了自动的数据分割、负载平衡和容错。编写 MapReduce 程序时, 可将数据计算分解为多个可并行执行计算过程, 以此设计出运行分布式系统所需的 Map 和 Reduce 函数<sup>[20]</sup>。数据片断操作结果  $\langle \text{key}, \text{value} \rangle$ , 通过执行设计的 Map 函数, 通过对合并排序, 使用相同键值向相同的 Reduce 函数发送操作结

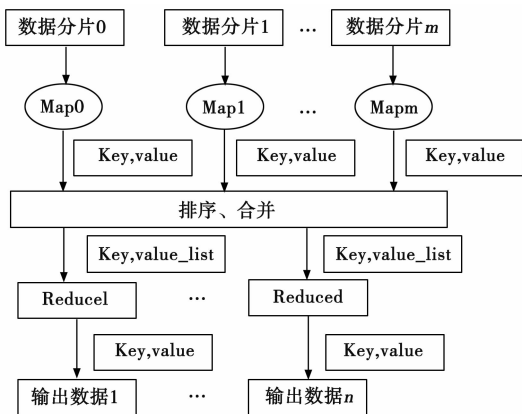


图 4 MapReduce 执行流程

果, 以便合并数据。>=" span=" >最后, 基于 Reduce 函数进行计算, 并在分布式集群中保存最终计算结果数据。通过对 4 个 MapReduce 作业类进行算法训练, 获得 4 个输出值, 并计算数据属性特征词在每个故障类中的频率值。

1) 第 1 个 MapReduce 过程: 其功能是从训练文档中接收 DGA 样本块, 从每个 DGA 数据中读取属性特征词, 并在故障类别中计算每个属性特征词的词频值。该功能利用地图数据结果进行统计, 并使用训练集中每个变压器故障类别的所有样本数据、词频值和属性特征词样本数据。

2) 第 2 个 MapReduce 过程: 根据第一个 MapReduce 的输出, 计算出每种变压器故障类型的特征属性值。映射过程计算每个特征属性的值。通过 TF 值与 IDF 值相乘, 计算出每类变压器故障的 TFIDF 值, 并计算出培训文档的特征属性总数。

3) 第 3 个 MapReduce 过程: 通过映射每个故障类的样本数据总数和 DGA 训练集的总数据, 计算出每个故障类的先验概率。利用约化函数求出变压器各故障类别所有特征属性的 TFIDF 和。

4) 第 4 个 MapReduce 过程: 求出变压器各类故障特征属性的发生概率, 输出运行类训练结果。特种设备启动装置的故障检测频谱是故障检测的关键。从某种程度上说, 用户可以根据故障检测频率, 将故障发生频率最少的一次转变为二次检测模式。然而, 因为每天的故障检测次数不同, 每天的检测频率也不一样。若以近期故障检测频率确定检测频率, 将记录大量故障, 增加检测成本。因此这部分只允许用户选择 3 个频率: 月、季、年的故障检测频率。所以在特征设备的管理过程中, 需要对其故障检测频率进行专门的分析。

用  $m-n$  在这一刻之前第  $n$  天检验设备故障次数具有任意特性,  $m$  用来说明当天检测到的故障数量当时未加统计错误的情况下,  $n$  天中故障总检测次数  $T$  可描述成:

$$T = \sum_{i=1}^n m_n \quad (1)$$

添加新故障检测次数后,  $n$  天中故障诊断次数  $T'$  可描述成:

$$T' = \sum_{i=1}^n m_{-i} = T - m_{-n} + m_0 \quad (2)$$

公式 (2) 中:  $m_0$  表示初始设定的检测次数。根据该公式, 统计一年内故障检测次数, 并统计这段时间内每天故障检测次数。

假设针对机电特种设备故障, 则有如下计算公式:

$$m_n = \frac{T}{n} \quad (3)$$

$$T' = T - m_n + m_0 = T - \frac{T}{n} + m_0 = \frac{n-1}{n} \times T + m_0 \quad (4)$$

当前所有机电专用设备故障仅需统计一定时期内的诊断总数, 以及当天故障诊断次数就可得到诊断频率值。

## 4 实验过程与测试结果分析

为了验证基于 MapReduce 并行处理的机电特种设备故障诊断系统设计合理性, 进行实验验证分析, 以轴承故障短路为例, 测试对机电特种设备故障诊断的准确性及稳定性。

### 4.1 实验环境

建立机电特种设备状态信息并行故障诊断实验平台, 实验环境由两个配置相同的 PC 端组成, CPU 为双核 In-teri5-2400, 256.00 GB 内存和 1 TB 硬盘。其中一个作为 NameNode, 另一个作为 datanode。在上述实验环境下对 220 kV 及以下变压器进行了试验。

### 4.2 实验步骤及方法

实验选取桥式起重机机电特种设备, 设置轴承三相短路故障, 将完整生命信号划分为 4 000 个数据段, 每条数据的相关指数数据特征提取的信号段, 首次确定了非零点特征值及其相应的特征向量为综合特征指数。图 5 为轴承故障短路的示意图。

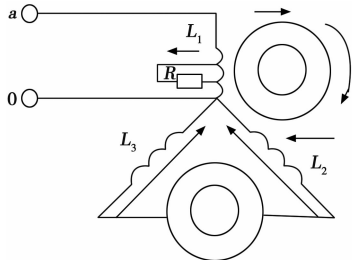


图 5 轴承故障短路示意图

### 4.3 轴承故障检测结果

根据图 5 所示的轴承故障, 分别使用直接地故障诊断系统、基于 MapReduce 并行处理诊断系统诊断连接轴承的三相短路情况, 实验结果如图 6 所示。

通过图 6 的对比结果可知, 在发生三相短路故障问题后, 使用直接地故障诊断系统波形与实际值差别较大, 且上下波动幅度大, 检测结果不够准确, 稳定性较差; 而采用基于 MapReduce 并行处理诊断系统与实际波形差别较小, 其对 A 相、B 相 C 相电流短路故障诊断的时间点波形变化与实际曲线基本一致, 都是在 0A 附近波动, 说明该方法能够准确对三相短路故障进行诊断, 应用在机电特种设备故障诊断中, 准确性较好, 稳定性较强。

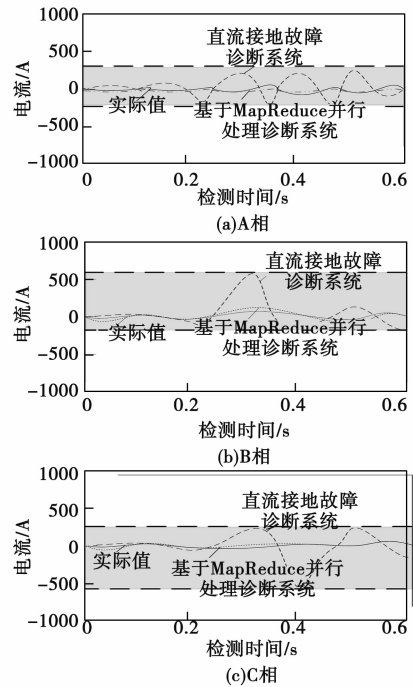


图 6 两种系统三相短路故障诊断效果对比分析

## 5 结束语

为解决传统故障检测系统检测精度低和占用内存大等问题, 本文提出基于 MapReduce 并行处理的机械设备故障诊断系统, 改进了故障检测显示单元和数据传输处理单元的硬件部分, 利用框架原理提取故障检测指标, 计算故障检测频率, 软件实现了故障检测功能, 完成了一套机电设备起动机故障检测系统的设计。经试验验证, 系统检测精度高。但是系统的稳定性还有待于进一步的研究和改进, 为满足系统故障检测要求, 从根本上解决大型企业在汽轮机机电维修与故障检测中遇到的问题, 未来将以提升故障检测系统稳定性作为研究目标, 进一步对所设计系统进行完善。

### 参考文献:

- [1] 王恒迪, 赵 彪, 杨建玺, 等. 滚动轴承故障诊断系统的设计及应用 [J]. 机床与液压, 2018, 46 (7): 156-159.
- [2] 徐 辉, 袁庆霓, 谢永康. 关于码垛机器人机电系统故障建模诊断仿真 [J]. 计算机仿真, 2018, 35 (12): 291-295.
- [3] 覃缓贵. 矿用离心风机故障诊断在线监测系统设计 [J]. 煤炭技术, 2018, 37 (6): 234-236.
- [4] 毛胜辉, 戴明宏. 茶叶机电一体化压缩设备的故障诊断技术分析 [J]. 福建茶叶, 2018, 40 (5): 165.
- [5] 彭华亮, 沈暑龙, 李 军, 等. 基于故障树的故障诊断专家系统设计 [J]. 控制工程, 2019, 26 (3): 584-588.
- [6] 时中朝, 郝伟娜, 董红召. 基于朴素贝叶斯分类器的公共自行车系统故障诊断方法 [J]. 中国机械工程, 2019, 30 (8): 983-987.
- [7] 龚洪浪. 基于人机协同技术的农业收割机故障诊断系统设计

[J]. 农机化研究, 2018, 40 (3): 203-207.

[8] 胡红钱, 施伟锋, 兰 莹, 等. 基于以太网的船舶电力系统动态电能质量监测与故障诊断系统设计 [J]. 中国舰船研究, 2018, 13 (1): 123-129.

[9] 陈保家, 刘浩涛, 徐 超, 等. 深度置信网络在齿轮故障诊断中的应用 [J]. 中国机械工程, 2019, 30 (2): 205-211.

[10] 贾立山, 刘 喆, 孙 毅. 基于RMBP神经网络的飞机电气故障智能诊断 [J]. 系统仿真学报, 2018, 30 (9): 268-276, 288.

[11] 齐小刚, 胡秋秋, 刘立芳. 基于 MapReduce 的并行异常检测算法 [J]. 智能系统学报, 2019, 14 (2): 224-230.

[12] 张 滨, 乐嘉锦. 基于列存储的 MapReduce 分布式 Hash 连接算法 [J]. 计算机科学, 2018, 45 (z1): 471-475.

[13] 龚永翌, 田润琳, 廉小亲, 等. 基于 MapReduce 的三元 N-gram 算法的并行化研究 [J]. 电子技术应用, 2019, 45 (5): 70-73.

[14] 许力分, 倪志伟, 朱旭辉, 等. 融合基于 MapReduce 并行改进二元蚁群算法与分形维数的属性选择方法 [J]. 系统科学与

(上接第 4 页)

不同系统的通信设备故障信号检测时间如图 10 所示。

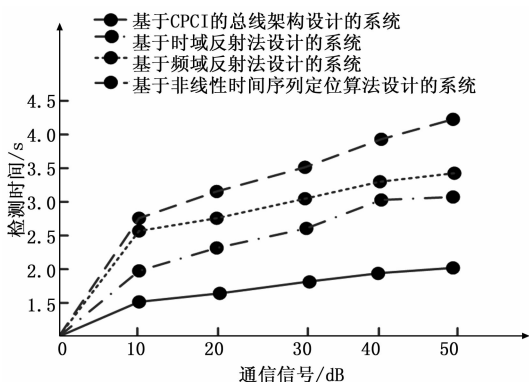


图 10 不同系统通信设备故障信号检测时间

由图 10 可知, 基于时域反射法设计的系统的通信设备故障信号平均检测时间为 2.7 s, 基于频域反射法设计的系统的通信设备故障信号平均检测时间为 3.1 s, 基于非线性时间序列定位算法设计的系统的通信设备故障信号平均检测时间为 3.5 s, 而基于 CPCI 的总线架构设计的系统的通信设备故障信号平均检测时间仅为 1.8 s, 由此可知, 基于 CPCI 总线架构设计的系统的通信设备故障信号检测时间较短。

通过上述内容可知, 使用基于 CPCI 总线架构设计的系统能够精准检测到通信设备故障信号, 有效缩短通信设备故障信号检测时间。

## 5 结束语

为提高当前航天器通信信号设备故障检测系统通信设备故障信号检测精准度, 降低故障检测时间, 设计基于 CPCI 总线的航天器通信信号设备故障检测系统。通过 CPCI 故障模拟模块控制注入机, 采用故障注入器执行故障注入 CP-

数学, 2019, 16 (6): 918-933.

[15] 肖 文, 胡 娟, 周晓峰. 基于 MapReduce 计算模型的并行关联规则挖掘算法研究综述 [J]. 计算机应用研究, 2018, 35 (1): 19-29.

[16] 石 磊, 巴 阳, 陶永才, 等. 基于 MapReduce 的改进 CHI 文本特征选择机制 [J]. 小型微型计算机系统, 2018, 6 (8): 1799-1804.

[17] 郭群勇, 苏克云, 邹智杰. 基于 MapReduce 的海量公交乘客 OD 并行推算方法 [J]. 地球信息科学学报, 2018, 9 (5): 647-655.

[18] 沈 斌, 沈佳豪. 基于 TensorFlow 的数控机床故障诊断系统可行性分析 [J]. 机电一体化, 2018, 24 (2): 37-42.

[19] 俞茂超, 刘倩倩, 凤宏晓, 等. 便携式雷达综合检测平台及智能故障诊断系统的设计 [J]. 计算机测量与控制, 2018, 26 (4): 5-8.

[20] 谭显清, 蒋小辉, 胡忠国. 基于 TreeView 新型防空导弹故障诊断系统云终端设计 [J]. 四川兵工学报, 2018, 39 (1): 111-113.

CI 总线, 使用时钟分配芯片传输时钟信号, 运用 CPCI 检测板卡模块, 配合 FPGA 实现接口控制, 完成系统硬件结构设计, 通过终端网工作站发送多路通信网相关信息, 返回无斑点检测结果, 采用二次相关算法, 提取多通道通信故障信号详细信息, 实现系统软件部分设计。实验研究表明, 基于 CPCI 总线的航天器通信信号设备故障检测系统通信设备故障信号检测精准度较高, 能够有效缩短通信设备故障信号检测时间。

## 参考文献:

- [1] 么 飞, 时 光, 富小微. 基于故障注入技术的航天器系统级软件测试方法研究 [J]. 航天器工程, 2019, 28 (1): 130-136.
- [2] 郑 勇, 杨小兰. 基于信号提纯的机械故障检测系统设计 [J]. 现代电子技术, 2019, 42 (4): 57-60.
- [3] 蒋志雄, 王玉爽, 顾 斌, 等. 基于 ECSS 标准的航天器姿轨控系统内 1553B 总线数据协议设计 [J]. 空间控制技术与应用, 2020, 46 (2): 41-48.
- [4] 赵保伟, 巩晓赞, 丁丽丽, 等. 基于 LabVIEW 的齿轮调制故障检测系统设计 [J]. 机床与液压, 2018, 46 (5): 143-148.
- [5] 丁 彝. 基于嵌入式技术的船舶电子设备故障检测 [J]. 舰船科学技术, 2018, 40 (20): 157-159.
- [6] 李经松, 陈朝晖, 党纪红, 等. 基于 1553B 总线的航天器系统时间同步设计方法 [J]. 空间控制技术与应用, 2018, 44 (6): 60-65.
- [7] 赵辑肖, 范 红, 梁忠诚. 基于光波检测的智能 ODN 故障管理系统 [J]. 光通信技术, 2019, 43 (2): 38-41.
- [8] 张晓鹏, 何 纯, 杨 萍, 等. 在轨航天器遥测系统信号的实时检测仿真研究 [J]. 计算机仿真, 2019, 36 (10): 83-87.
- [9] 谢秋华, 杨廷勇. 新型水电站设备状态监测系统实现方法探讨 [J]. 水电站机电技术, 2018, 41 (7): 41-43, 86.
- [10] 彭建明, 王 蓓. 一起 PACS 系统故障处理与思考 [J]. 饮食保健, 2018, 05 (39): 272-273.