

基于联合压缩感知重构的网络通信故障检测系统设计

李沛林^{1,2}

(1. 云南省互联网应急中心, 昆明 650011; 2. 北京邮电大学, 北京 100876)

摘要: 针对当前故障检测系统检测网络通信故障信号时存在不精准的问题, 设计了基于联合压缩感知重构的网络通信故障检测系统; 结合联合压缩感知理论, 设计系统总体结构; 选用光时域反射仪 F7 高端电信级光缆故障光纤测试仪 OTDR 作为系统硬件, 依据工作原理, 判断通信网络传输特性, 设置菜单按钮, 缩放、等比、还原检测出的波形; 采用 AD8066 型号低噪声放大器, 设计电流电压转换电路, 在反馈电阻两端并联一个电容以抑制噪声, 并利用单色驱动器 24~40 W 激光驱动器为激光电源提供电流, 使脉冲信号转换为电信号; 在 J2SE 平台下, 设计中心服务功能, 通过激光驱动器发射正脉冲, 使格雷互补码偏置到峰值的一半左右, 实现格雷互补码在 OTDR 中应用, 依据系统检测流程, 完成网络通信故障检测; 系统性能测试结果表明, 基于联合压缩感知重构检测系统对网络通信故障信号检测结果较为精准, 误差最大为 0.3 dB, 为网络运行维护奠定基础。

关键词: 联合压缩; 感知重构; 网络通信; 故障检测

Design of Network Communication Fault Detection System Based on Joint Compressed Sensing Reconfiguration

Li Peilin^{1,2}

(1. Yunnan Internet Emergency Center, Kunming 650011, China;

2. Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract: Aiming at the inaccuracy of the current fault detection system when detecting the network communication fault signal, a network communication fault detection system based on joint compressed sensing reconstruction is designed. Combined with the theory of joint compressed sensing, the overall structure of the system is designed. The optical time domain reflectometer F7 high-end carrier-grade optical cable fault optical fiber tester OTDR is selected as the system hardware. According to the working principle, the transmission characteristics of the communication network are judged, the menu button is set, the zoom, the equal ratio, and the detected waveform are restored. The AD8066 low noise amplifier is used to design a current-to-voltage conversion circuit. A capacitor is connected in parallel across the feedback resistor to suppress noise, and a 24~40 W laser driver is used to supply current to the laser power source to convert the pulse signal into an electrical signal. Under the J2SE platform, the design center service function transmits a positive pulse through the laser drive, and the Gray complementary code is biased to about half of the peak value. The Gray complementary code is applied in the OTDR, and the network communication fault detection is completed according to the system detection process. The system performance test results show that the detection result of the network communication fault signal based on the joint compressed sensing reconstruction detection system is more accurate, and the error is 0.3 dB, which lays a foundation for network operation and maintenance.

Keywords: joint compression; perceptual reconstruction; network communication; fault detection

0 引言

在信息快速发展的今天, 网络通信设备已经成为人们日常交流不可或缺的通信工具。在现代所有通信工具中, 需依靠无线基站接收全部通信信号, 随着内容越来越丰富, 通信网络规模也逐渐增大, 网络通信故障问题显得尤为重

要^[1]。在实际网络通信故障检测过程中会遇到各种问题, 这些问题的产生是相对复杂的, 并且与周围环境是密切相关的, 仅仅通过网络优化是无法进行高效检测的。高效网络通信故障检测系统有助于网络工程准确定位网络中存在的各种问题, 以便及时处理。然而, 网络数据是相对复杂的, 不同网络数据所代表网络状况也是不同的, 在相同测试环境下所获取的网络数据在不同无线环境下也会产生不同网络故障, 大多数情况只能依靠网络工程师的经验来判断, 无法获取精准检测结果。

鉴于此, 设计了基于联合压缩感知重构的网络通信故障检测系统, 系统通过对网络测试数据的分析, 结合联合

收稿日期: 2019-10-25; 修回日期: 2019-12-19。

作者简介: 李沛林(1979-), 男, 云南楚雄人, 硕士, 高级工程师, 主要从事计算机技术、互联网技术、软件工程、物流管理、物联网方向的研究。

压缩感知重构框架, 可显著降低网络通信信号处理时间, 有效提高了网络通信故障检测效率。

1 基于联合压缩感知重构的系统总体结构设计

联合压缩感知重构核心思想是将网络通信原始信号经过线性投影后得到少量观测值中重构的稀疏信号, 即使在观测值不足情况下, 也可获取较高重构精确度, 使得网络通信信号进入一个全新时代, 显著降低信号处理时间^[2]。鉴于联合压缩感知理论中潜力, 经此框架研发, 将其应用到图像加密领域之中, 通过使用最少传送信息, 可生成相位方程, 并近似完美重构出来。为了获取最稀疏表示方式, 可在项式中展开, 以此获取良好重构效果^[3]。

基于联合压缩感知重构的系统总体结构用于故障检测和记录网络通信故障检测系统的性能, 运行时监视网络通信各个阶段故障情况, 方便网络维护。系统总体结构如图 1 所示。

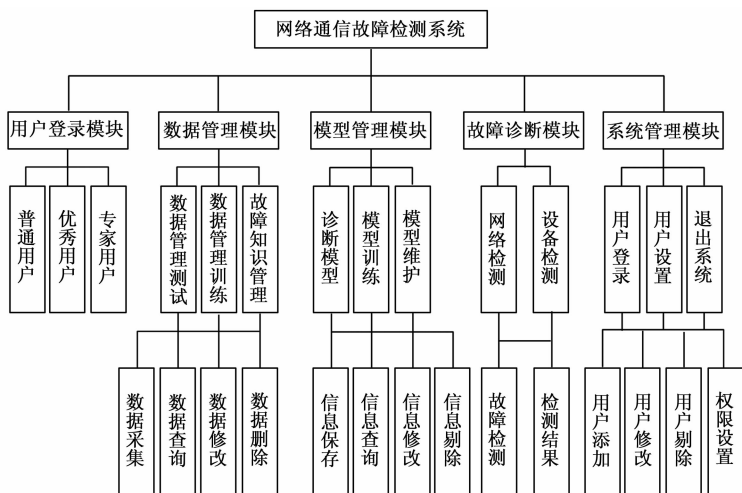


图 1 系统总体结构

该系统主要由 5 个模块组成, 其中用户登录模块负责整个系统安全使用, 避免非法用户的侵入; 数据管理模块负责系统与外部网络之间的数据传输, 实现网络测试数据的采集与管理; 模型管理模块通过模型设计、诊断和维护可用来构建各种专项检测, 供网络故障检测调用; 故障检测模块是由故障检测和检测结果两部分组成的, 可用来分析移动网络通信运行状态, 并给出具体优化方案; 系统管理模块主要负责对系统用户管理, 保证系统能够在安全环境下使用^[4]。

2 系统硬件结构

网络通信故障检测系统硬件结构如图 2 所示, 主要包括三层。

该硬件结构包括数据采集层、服务器层和命令交互层, 其中数据采集层的 ENERGETIQ 激光驱动白光光源是一款稳定性高、零度高、寿命长的宽谱光源, 使用连续激光直接加热以产生高效宽频谱光, 波长范围在 1 700~2 100 nm 左右; OTDR 为光时域反射仪 F7 高端电信级光缆故障光纤测试仪, 集稳定光源、光功率计、红光笔和光眼于一体, 5.7 英寸彩

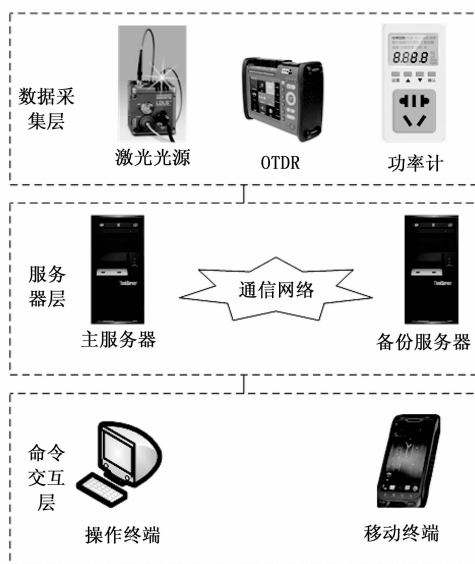


图 2 网络通信故障检测系统硬件结构

色触摸屏, 具有双操作模式, 操作十分简单, 通过以太网接口实现远程控制, 也可通过不同 USB 接口实现数据通信; BK-034 功率计即插即用, 当过载报警值低于最大负载功率时, 屏幕显示 ERR 报警, 此时应禁止退出设置^[5-7]。

服务器层包括主服务器和备份服务器, 在同一通信网络下两个服务器共同检测故障信号后, 利用数据采集层的 OTDR 发出的检测信号, 把监测的信号通过切换光开关传输到异常网络之中, 经过 OTDR 返回的测试结果, 确定故障位置, 并将结果存储到数据服务器端^[8]。

命令交互层包括操作终端和移动终端, 用户通过移动终端与服务器相连, 控制操作界面的各个操作功能, 避免客户端资源与 OTDR 硬件资源产生共享冲突。

2.1 OTDR 硬件

OTDR 作为网络通信测试的仪表, 是通过线路在网络通信过程中的背向散射功能制作而成的, 测试应用范围较为广泛。在测试过程中, 把激光脉冲添加到 OTDR 硬件工作通信网络之中, 完成测试程序^[9]。OTDR 硬件主要是由信号处理器、网络信号发射机、网络信号接收机、光纤耦合器来进行测试工作。信号处理器通过形成的互补码序列进行网络信号的处理; 网络信号发射机的作用是进行网络信号与光信号的转换, 并传输到网络线路上; 网络信号接收机将光信号转换为电信号传输到信号处理器之中。

OTDR 硬件的多种外部接口如图 3 所示。

OTDR 在工作过程中, 网络信号发射机通过信号处理器的互补码, 把发射的信号转换光信号形式, 再经过光纤耦合器可将光信号转换为电信号传输到背向回波存储器之中, 利用光纤耦合器反馈到信号接收机之中, 判断通信网络传输特性, 检测出现故障的信号^[10]。

在检测完成后, 通过图 4 所示菜单按钮, 可对检测波

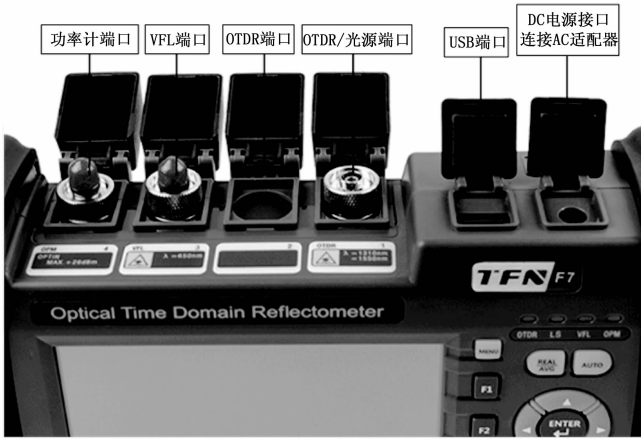


图 3 OTDR 硬件的多种外部接口

形进行缩放、等比、还原等操作。



图 4 菜单按钮

2.2 电流电压转换电路

信号处理为 OTDR 重要组成部分，信号处理能力好坏直接影响系统检测效率。如果检测的电信号较弱，就会影响电路信息的正确采集，为确保检测效率，需转换电压信号，并放大处理转换后的电压信号。采用 AD8066 型号的低噪声放大器，具有低噪声优势，如图 5 所示。

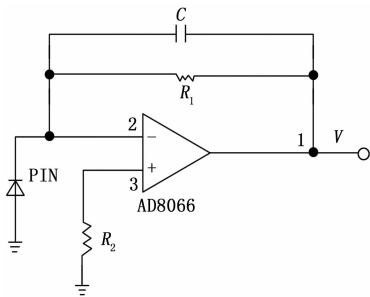


图 5 电流电压转换电路

引脚 1 表示电流输出端，引脚 2 表示电流反向输入端，引脚 3 表示同相输入端。如果 PIN 个人识别码管输出的电流用 I 来描述，那么电阻在反馈过程中采用 R 来表示，放大器开环在输入阻抗运用时 Z 来表示，需满足放大器开环输入阻抗远远大于反馈电阻。按照放大器运行原理可分析输出电压大小，根据 AD8066 型号的低噪声放大器的要求，进行输入端转换，减少误差。

反馈电阻在使用时引入电阻热噪声，并在反馈电阻两端并联一个电容，使电路处于零偏状态下，电流电压在转换过程中起到抑制噪声的作用，方便测量。为了使输出电压升高，需通过反馈电阻值，确定制热噪声，并分析信号稳定性。经过电流电压转换到更高数量级，并通过 A/D 转

换器获取电压信号。AD8066 型号的低噪声放大器仅需要采用其中一路就可完成电压放大。

2.3 激光驱动电路设计

利用单色驱动器 24~40 W 激光驱动器为激光电源提供电流，并在系统设计需求规定范围内工作，使激光器能够正常驱动，激光驱动电路设计如图 6 所示。

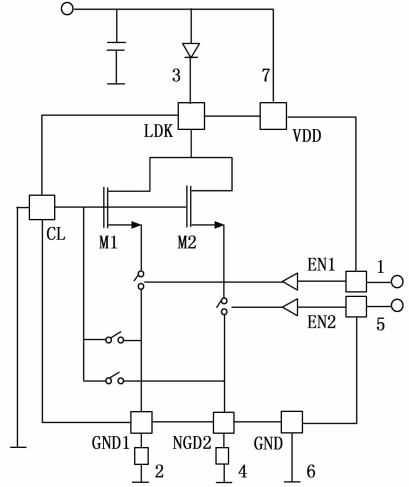


图 6 激光驱动电路

输出电流值大小主要取决于激光驱动电路引脚 3 处的输出电流，引脚 1 与 5 为属于并联状态的电流输入端，这两路在输入时也可单独使用，两路同时使用可以使电流输出效率的最高输出脉冲达到 750 mA。将引脚 5 接地，引脚 1 连接 FPGA 脉冲信号输出端，可在高电平下，光发射时激光器开启，反之，激光脉冲器停止脉冲信号不会发射。再经过转换，为网络通信故障检测提供电信号。

3 软件部分设计

采用联合压缩感知重构方法，改变了传统信号获取思路，直接获取数据源压缩表示形式，进而忽略了无用信息采样，大大降低了信息采样速率，并将压缩与采样数据结合。信号稀疏性是联合压缩感知重构方法前提条件，主要包括信号稀疏、非相关测量与重构算法这 3 个内容。具体重构步骤为：需寻找一个空间内的稀疏信号，并设计一定条件的相应测量矩阵，获取包含足够信息小于信号维数测量值，并由非线性优化算法重构信号。

3.1 中心服务功能的设计

系统中心服务程序采用 J2SE 平台，并选用 SQL Server 数据库，采用 JDBC 执行 SQL 语句的 Java API，可以为多种关系数据库提供统一访问。中心服务主要功能为：

- 1) 配置中心服务设备；
- 2) 管理客户端用户信息；
- 3) 管理客户端用户会话信息；
- 4) 管理现场装备注册信息；
- 5) 启动或停止现场装备；
- 6) 查询日志信息。

中心服务程序可分为以下 3 个阶段。

用户接口权限设置阶段：用户随着网络接入服务程序中，需分析用户请求决定是接入或是不接入状态，由此设置不同用户给予不同权限。

事务管理处理阶段：用户管理与现场机器之间的数据交互，通过不同线程间通信实现数据交换。

数据管理阶段：数据管理与数据库之间的接口，需通过管理存储、删除对数据进行实时管理。

3.2 格雷互补码在 OTDR 中的实现

在 OTDR 硬件中，形成的格雷互补码在 OTDR 硬件中实现了激光驱动的可控制性，并形成光信号直接传输到通信网络之中。格雷互补码的形成可产生由 1/-1 码元组成的双极性码，并通过激光驱动发射正脉冲，使格雷互补码偏置到峰值的一半左右，并转换为四足单极性码。

通过计算 OTDR 硬件求取平均值，将计算的平均值转换为数字信号形式，经过反复累计后，可使信号与随机噪声之间作用而导致的电平过高或过低情况发生，以此准确提取噪声中信号。随着信噪比升高，OTDR 形态范围也逐渐扩大，实现格雷互补码在 OTDR 中的应用。

3.3 基于联合压缩感知重构故障检测技术的实现

网络通信故障信号的稀疏表示将信号投影到变换基空间之后，通过基向量线性组合表示该空间，经过变换稀疏向量表示信号整体稀疏度，这是压缩感知必备条件。故障检测系统应确保在获取相关文件信息同时，不影响网络正常通信行为。为此，记录仪与检测系统之间设计了消息机制，当记录仪完成文件记载后，需触发记录完功能，待系统接收到相关文件信息后，自动读取通信记录仪所记录的通信协议记录文件。调入联合压缩感知重构理念，依据网络通信协议特征解析报文，判断网络通信是否出现故障。

整个系统检测流程如图 7 所示。

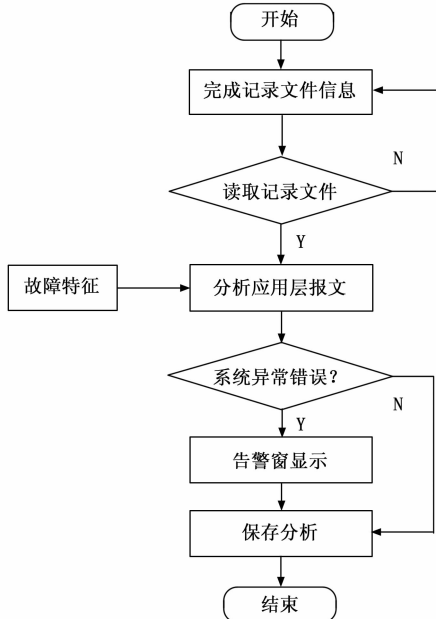


图 7 整个系统检测流程

通过图 7 所示的系统监测流程，方便查找故障，分析问题。

4 系统性能测试

采用基于联合压缩感知重构的网络通信故障检测系统对某通信网络中故障信号进行检测。

4.1 参数设置

参数设置如表 1 所示。

表 1 参数设置

实验参数	动态范围
测量精度	1 m+取样间隔
测试量程	0.4~512 km
损耗阈值	0.01 dB
线性度	0.05 dB
损耗分辨率	0.001 dB
波形存储容量	大于等于 1 000 幅
外部接口	USB
光功率计	1 200~1 650 nm
显示屏	5.5 英寸彩色 TFT
适应环境	工作温度：-5~+50 摄氏度相对湿度：0~95%

4.2 测试指标及数据分析

使用国内某公司生产的网络安全数据包跟踪方式，保证该周期为 4 天，总数据流量为 62 GB。将此合成共有网络特征数据流，并进行特征提取，方便后续训练和检验，表 2 所示为用于训练和检测的示例数据。

表 2 测试示例数据

序号	IP 源地址	端口号	状态
1	119.25.1.15	1 012	正常
2	119.25.1.35	1 251	正常
3	119.25.1.103	3 031	正常
4	119.25.2.3	2 008	正常

正常测试指标如表 3 所示。

表 3 测试指标

故障种类	监测项目	预警条件
1	循环冗余码错误	第一次出现
2	TCP 校验错误	第一次出现
3	分片报文	超出门限
4	重传报文	第一次出现、超出门限

4.3 测试结果与分析

针对上述测试指标及数据分析结果，对出现 4 种故障问题的波形图展开分析，结果如图 8 所示。

由图 8 可知，根据上述出现的 4 种故障问题的波形图，将传统检测系统与基于联合压缩感知重构检测系统的网络通信故障信号进行对比分析，结果如表 4 所示。

由表 4 所示对比结果可知，基于联合压缩感知重构检测系统检测的网络通信故障信号与实际故障信号大小相差最大为 0.3 dB，而传统检测系统的网络通信故障信号与实

际故障信号差别较大。

表 4 两种系统网络通信故障信号对比分析

故障种类	传统检测系统	基于联合压缩感知 重构检测系统	标准值
1	60.1 dB	40.3 dB	40.1 dB
2	55.3 dB	45.2 dB	45.0 dB
3	30.2 dB	60.2 dB	60.1 dB
4	30.6 dB	40.1 dB	40.4 dB

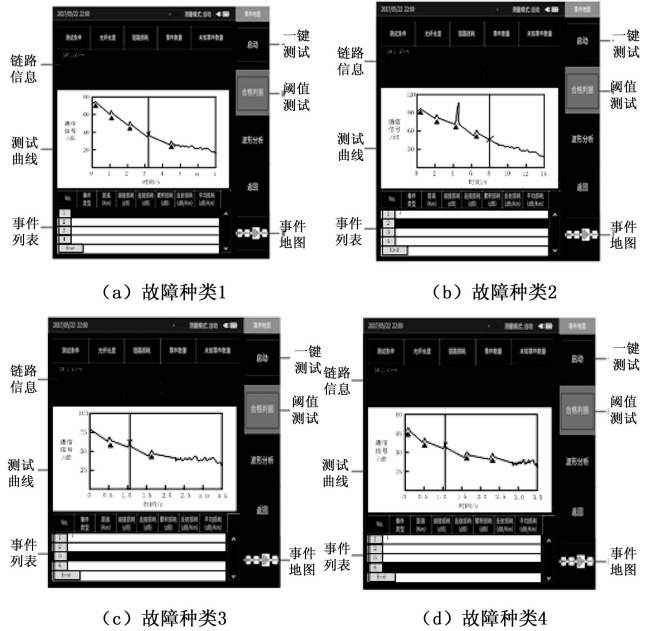


图 8 故障问题波形图分析

针对上述测试内容可得出结论：基于联合压缩感知重构的网络通信故障检测系统改善了以往系统对网络通信故障信号检测不精准的问题，也证实了该系统设计的有效性。

5 结束语

基于联合压缩感知重构的网络通信故障检测系统弥补

(上接第 49 页)

参考文献：

[1] 李宝鹏, 高 鹰, 王国成. 航空电子设备远程智能故障诊断和监测系统的研究 [J]. 飞机设计, 2010, 30 (4): 71-75.

[2] 张凤鸣, 郑东良, 吕振东. 航空装备科学维修导论 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2006 年.

[3] Kyusung K, Ball C, Nwadiogbu E. Fault diagnosis in turbine engines using unsupervised neural networks technique [J]. Journal of Intelligent Manufacturing, 2004, 15(3): 150-158.

[4] 邵延峰, 薛红军. 故障树分析法在系统故障诊断中的应用 [J]. 电子学报, 2007, 30 (1): 72-77.

[5] Lee B H. Using Bayes Belief Networks In Industrial FMEA Modeling and Analysis [J]. IEEE Reliability and maintainability symposium, 2001, 7-15.

[6] Lutz P, Djemel N, Bourjault A. Petri Net Modeling for Multi-

了以往数字化网络通信故障检测系统通信记录与离线分析系统出现故障后分析的问题，方便用于系统使用过程中修改与扩充，有效利用宝贵资源，自动处理海量网络通信信息，及时处理系统故障隐患，确保网络通信故障检测系统安全运行，为开展网络通信故障检测系统提供科学依据。

针对网络通信故障检测系统测试优化工作，通过分析基于联合压缩感知重构故障检测技术，可在仿真数据测试下，实现对网络通信故障的高效检测。该系统可有效缩短网络优化时间，为网络运营降低维护成本。接下来的工作重点将是对系统的不足之处进行修复与完善，根据网络实际情况改进网络通信故障检测系统。

参考文献：

[1] 黄元超, 王阿川. 基于空谱联合和波段分类的高光谱压缩感知重构 [J]. 液晶与显示, 2018, 33 (4): 291-298.

[2] 裴立业, 江 桦, 麻曰亮. 基于选择性测量的压缩感知去噪重构算法 [J]. 通信学报, 2017, 38 (2): 106-114.

[3] 熊继平, 蒋定德, 蔡丽桑, 等. 基于联合稀疏谱重构的 PPG 信号降噪算法 [J]. 电子学报, 2017, 45 (7): 1646-1652.

[4] 刘 静, 盛明星, 宋大伟, 等. 基于分布式压缩感知的联合检测与跟踪算法 [J]. 控制与决策, 2017, 32 (2): 239-246.

[5] 刘 连. 基于多方向正交匹配追踪的压缩感知图像重构算法 [J]. 科学技术与工程, 2018, 18 (24): 239-243.

[6] 卜红霞, 白 霞, 赵 娟, 等. 基于压缩感知的矩阵型联合 SAR 成像与自聚焦算法 [J]. 电子学报, 2017, 45 (4): 874-881.

[7] 乔建华, 张雪英. 基于压缩感知的无线传感器网络数据收集研究综述 [J]. 计算机应用, 2017, 37 (11): 3261-3269.

[8] 周 松, 吕 尧, 吕公河, 等. 基于压缩感知的非规则地震勘探观测系统设计与数据重建 [J]. 石油物探, 2017, 56 (5): 617-625.

[9] 韩逸婕, 何雪云, 梁 彦. 大规模 MIMO 系统基于分布式压缩感知的信号检测算法研究 [J]. 电视技术, 2018, 499 (2): 39-43.

[10] products Assembly Systems Including Testing [J]. Proceedings of IEEE International Symposium on Robotics and Automation, 1994, 2: 1700-1705.

[11] 朱大奇, 于盛林. 基于故障树最小割集的故障诊断方法研究 [J]. 数据采集与处理, 2002, 17 (3): 341-344.

[12] Yager R R. On the Dempster-Shafer framework and new combination rules [J]. Information Science, 1987, 41 (2): 93-137.

[13] 张佳薇, 李 明, 郭润龙. 基于 D-S 理论的故障诊断融合算法及应用研究 [J]. 自动化仪表, 2010, 31 (1): 23-25.

[14] Fabio Campos, Andre Neves, and Fernando M. Campello de Souza. Decision Making under Subjective Uncertainty [J]. IEEE Symposium on Computational Intelligence in Multicriteria Decision Making, 2007, 85-90.

[15] 周海京, 遇 今. 故障模式、影响及危害性分析与故障树分析 [M]. 北京: 航空工业出版社, 2003.