

基于 NB-IoT 的电梯安全远程监控系统设计

张飞雄, 黄浩, 胡永明, 顾豪爽

(湖北大学 物理与电子科学学院 铁电压电材料与器件湖北省重点实验室, 武汉 430062)

摘要: 现代社会电梯的数量不断增加, 电梯安全问题逐渐突显出来, 对人民的生命财产安全产生威胁; 传统的电梯故障解决方法耗时耗力, 不但浪费了大量的人力物力, 并且维修与保养效率低下, 特别是对电梯困人故障的解救时间长, 因而成为了电梯的社会问题; 针对以上问题, 设计了一种基于 NB-IoT 的电梯安全远程监控系统, 实时监控电梯运行状态并即时通知维修人员救援; 采用基于 Cortex-M3 内核的 32 位低功耗微控制器 STM32F103VCT6 为主控芯片, 实现信号的处理, 通信状态机的优化, 终端与云端的信息交互等功能; 通过 NB-IoT 无线通信网络, 实现电梯运行状态信息采集终端与云端服务器之间的低成本低功耗的信息传输; 基于 Python 和 SQL Server 开发了云端 web 服务器及数据库系统, 完成电梯故障信息、运行状态信息、维修保养记录等数据在云端的接收、保存、管理和显示; 该远程监测系统实现电梯运行状态及故障数据的高效传输, 具备同时监控十万台以上数量的电梯的能力, 当前已入网电梯 1327 台; 本系统具有实用性强、稳定性高、安全性好、可扩展性优等优点。

关键词: 电梯物联网; NB-IoT; 远程监控; 电梯维保; 故障诊断

Design of Elevator Safety Remote Monitoring System Based on NB-IoT Wireless Network

Zhang Feixiong, Huang Hao, Hu Yongming, Gu Haoshuang

(Hubei Provincial Key Laboratory of Ferro & Piezoelectric Materials and Devices, Faculty of
Physics & Electronic Science, Hubei University, Wuhan 430062, China)

Abstract: With the increasing number of elevators in modern society, the safety of elevator is endangering people's life. However, the traditional elevator fault solution is inefficient with the high cost of manpower and resources, and the time needed for rescuing the trapped personnel is too long. To solve these problems, an elevator safety remote monitoring system based on NB-IoT is designed to monitor the elevator operation status and call the maintenance person in time. It adopts a 32-bit low-power microcontroller (MCU) with model number STM32F103VCT6. The MCU realizes the information sensing, optimizes the communication, and controls the terminal and cloud information interaction. NB-IoT communication system is applied to satisfy the low-cost and low-power information interaction between the elevator operation status information acquisition terminal and the cloud server. Python and SQL Server are utilized for constructing the Web Server and database system, which receives, saves, manages and displays the fault information, running status, maintenance records and others. The remote monitoring system has the ability to monitor more than 100,000 elevators simultaneously, and currently has linked 1327 real running elevators. The proposed system has the advantages of strong practicability, high stability, good security and excellent expansibility.

Keywords: Internet of elevators; NB-IoT; remote monitoring; elevator maintenance; remote diagnostics

0 引言

随着我国城市化进程的飞速发展, 电梯数量持续倍增, 电梯在现代建筑中的重要作用日益明显, 电梯高效、可靠、

安全的运行, 越来越多地引起了人们的关注^[1]。但目前国内电梯行业的维护保养工作大多是物业部门外包给维保公司, 电梯出现故障后由物业通知维保公司维修。而往往一个维保人员会负责几十上百台电梯, 这就导致在电梯出现故障后, 维保人员不能及时赶到事故现场, 使被困人员长时间承受巨大的身心压力。此外, 维保公司与维保人员的变动会增大电梯故障分析与排查的难度, 延误维修时间。这些问题的聚集大为降低电梯的安全性及稳定性, 电梯行业对建立健全的维修保养体系的呼吁日益强烈。

近年来物联网技术不断推广, 该技术广泛应用于各行各业, 具有非常好的应用价值。同时物联网技术也进入电梯行业, 成为政府与研究机构密切关注的课题, 对电梯运行状态在线监测和故障远程报警的研究早已开始。其中, 窄带物联网 (NB-IoT) 是万物互联领域的一个新兴技术, 其低功耗、广覆盖、大容量、低成本等优势, 使其可以广

收稿日期: 2018-04-17; 修回日期: 2018-05-31。

基金项目: 湖北省自然科学基金指导性计划项目 (ZRMS2018000883)。

作者简介: 张飞雄 (1994-), 男, 湖北荆州人, 硕士研究生, 主要从事物联网技术与应用方向的研究。

通讯作者: 黄浩 (1988-), 男, 湖北天门人, 博士, 硕士生导师, 讲师, 主要从事无线通信射频及数字信号处理方向的研究。

胡永明 (1978-), 男, 江西抚州人, 博士, 博士生导师, 教授, 主要从事光电传感方向的研究。

顾豪爽 (1958-), 男, 湖北武汉人, 博士, 博士生导师, 教授, 主要从事光电子信息材料、器件与系统方向的研究。

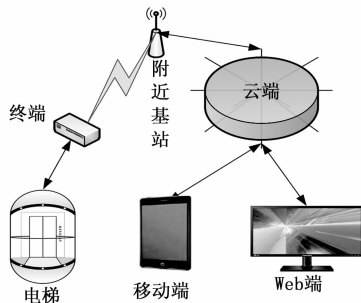
泛应用于多种垂直技术^[2]。NB-IoT 的室内覆盖能力很强,较 GSM 有 20dB 增益,尤其适合电梯远程监控的通信场景。

基于此,本文设计了一种基于 NB-IoT 的电梯运行状态信息远程监控系统,具备同时监控十万台以上数量的电梯的能力。其采用 NB-IoT 技术实现低功耗、广覆盖、低资费的远程监控数据传输,将电梯运行状态信息发送至云端服务器,记录并跟踪电梯运行情况,基于所记录的数据实现有效地故障定位与分析,并预测部分故障的发生。同时该系统能及时通知维修人员,便于维修人员实施及时的救援与提供必要的心理安抚,极大缩短救援流程,端到端的进行有效且目标明确的救援。

1 系统设计

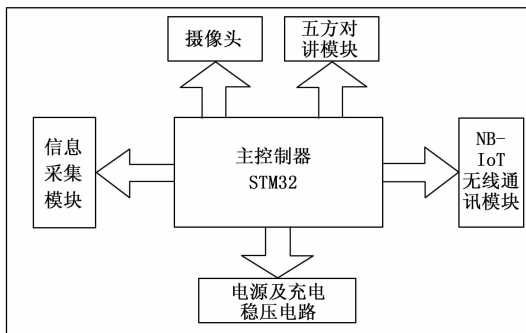
1.1 系统整体结构及工作原理

该系统的整体结构分为 3 个部分:信息采集终端设备、云端服务器管理平台、移动智能终端^[3]。其工作原理是:通过信息采集终端设备连接电梯主板,采集电梯运行状态信息并发送至云端服务器管理平台;云端服务器管理平台接收并整理分类电梯实时运行数据与故障信息,并通过 web 端呈现给用户;移动智能终端则接受云端发送的数据,推送警告或报警至维保人员,提醒维保人员维修或定期保养电梯。其系统结构如图 1。



1.2 信息采集终端设备设计

基于 NB-IoT 的电梯运行状态信息远程监控系统的信息采集终端设备由信息采集模块、主控芯片 MCU、五方对讲模块、摄像头、以及供电模块组成,其结构如图 2。



1.2.1 信息采集模块

本文所述电梯运行状态信息远程监控系统的信息采集

模块需采集电梯内部运行信息与故障信息。由于电梯主板具备信息存储模块,能够存储大量电梯故障信息,在日常的电梯维修工作中,维保人员手持终端连接电梯主板对信息进行解码,定位故障详情并定点维修。这一传统维修模式需要专业维修解码器,耗时耗力的同时并不易操作,延误救援维修时间,新一代电梯运行状态信息远程监控系统呼吁自动采集电梯内部数据。然而实际应用中还需克服许多难题,如不同品牌电梯内部协议不同、协议保密、无通用协议、统一监管难度大等问题。

出于电梯运行安全考虑,遵循“只读不写”的第一安全原则:采集电梯内部运行信息的同时不更改其内部通讯协议,不涉及任何形式电梯控制与修改命令,仅限于电梯的监视数据。本文所述电梯运行状态远程监控系统与电梯的通讯线路 CAN 总线连接,通过 CAN 节点接收信息并采用通用协议格式对其进行重新编码,并通过无线网络传输实现电梯远程监控系统与电梯之间的通讯^[4]。该系统的信息采集模块由 CAN 节点控制器、协议存储器、编码器组成,如图 3 所示。

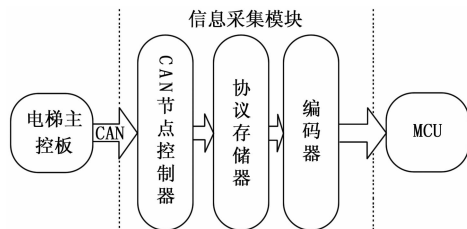


图 3 信息采集结构图

1.2.2 五方对讲模块

电梯五方对讲简单讲是指电梯对讲系统中管理中心主机、电梯轿厢、电梯机房、电梯顶部、电梯底部这五方之间进行的通话^[5]。电梯五方对讲系统因其安装快捷、操作简单、反应迅速、音质清晰等特点,普遍应用于社区物业、电梯监控、电梯对讲等。

在实际应用中,电梯五方对讲系统常通过电话线与物业部门电话机相连接,用于电梯被困乘客与外界联系。在电梯发生故障后,乘客手动按动电梯轿厢中的紧急按键联系物业部门,再由物业转告维保公司过来进行抢修。但这套通讯系统存在较大局限性,若无值班人员等候在固定电话旁,电梯被困人员将无法及时与外界取得联系。

本文所述电梯运行状态信息远程监控系统的五方对讲模块连接电梯内部五方对讲系统,将维修人员联系号码存入监控系统,被困乘客可通过电梯内部话机直接联系维保人员,维保人员可大幅度缩短救援时间,端对端提供实时救援服务。此外,系统可设置多联系人与呼叫优先级,全流程自动化跟踪与推进,确保高效的及时救援。

1.2.3 NB-IoT 无线通讯模块

电梯运行状态信息远程监控系统采用 NB-IoT (Narrow Band Internet of Things, 窄带物联网) 通讯模块,实现电梯运行状态信息远程监控终端与云端服务器之间的低

成本低功耗的信息交互。

对比早已普及的 GPRS 技术, NB-IoT 技术具有广覆盖、大连接、低功耗、低成本等特点, 基于运营商的授权频谱, 可广泛应用于不同的物联网垂直行业应用领域^[2]。

NB-IoT 设备能在消耗较低电量下维持监控装置的正常运作, 其电池寿命普遍在 10 年以上, 且其对信息的安全性和可靠性都进行了较大的提升, 减少了许多不必要的干扰问题, 能很好地适用于电梯远程监控系统长期通信; 同时, NB-IoT 技术信号覆盖范围高, 穿透力强, 能覆盖地下车库、地下室、地下楼道等普通无线网络信号难以达到的地方, 特别适用于电梯物联这种多楼道作业环境; 此外, 因为 NB-IoT 技术对业务时延不敏感, 可以连接更多的用户, 大量终端处于休眠状态, 一旦有数据发送, 可以迅速进入连接状态, 能很好的适用于大规模的电梯物联通信。

1.2.4 终端硬件设计

电梯运行状态信息采集模块采用基于 Cortex-M3 内核的 32 位低功耗微控制器 STM32F103VCT6 为主控芯片, 实现信息的传感、通信模式的优化、终端与云端信息交互^[6]; 系统具备摄像头模块, 实现对电梯轿厢内的实时监控。维保公司与物业部门可通过 Web 端云端服务管理平台查看电梯实时监控, 及时了解电梯内部人员状况; 此外, 信息采集终端设备具备独立电源电路, 外接 220 V 常用电, 不从电梯机箱中引取电流, 避免可能的电梯机箱用电隐患。

1.3 云端服务器管理平台设计

本文所述电梯运行状态信息远程监控系统的云端服务器管理平台接收信息采集终端设备采集的电梯数据信息, 解析、分类、并储存于云端数据库中。

云端可查看电梯运行状态实时信息与故障, 如: 电梯上行、下行、停靠楼层、运行状态、实时监控、以及电梯故障详情, 方便维保人员了解电梯信息与快速故障定位; 同时, 云端能够记录维保单位、维保人员、维保记录等信息, 方便对电梯检验工作的记录与监督; 此外, 云端具备智能统计与预测功能, 能够通过设定阈值通知维保人员对电梯进行定期检修保养, 智能分类统计电梯故障并预测电梯下次故障;

1.4 移动智能终端设计

电梯运行状态信息远程监控系统的智能移动终端接收云端发送的电梯故障统计与预测信息, 提醒维修人员维修定期检修保养电梯。同时, 维保人员可通过移动智能终端 APP 登记电梯各部件的标准使用寿命与安装日期, 实现各部件的使用追踪, 减少维保人员的工作量。此外, 维保人员可通过移动智能终端 APP 生成电子维保单, 作为电梯维修保养结算凭证。

1.5 系统工作流程

系统的工作流程图如图 4 所示, 信息采集终端设备采集电梯实时运行状态信息, 将数据发送至云端服务器管理平台, 由云端对数据进行解析、分类、并储存。若数据中存在电梯故障信息, 云端会智能识别电梯故障, 并发送至

指定维保人员的移动智能终端, 提醒维保人员维修保养电梯。

当电梯发生困人时, 被困乘客可手动按紧急按钮, 系统自动拨号至指定维保人员, 实现维保人员与被困人员端到端沟通, 完成有针对性的紧急救援。

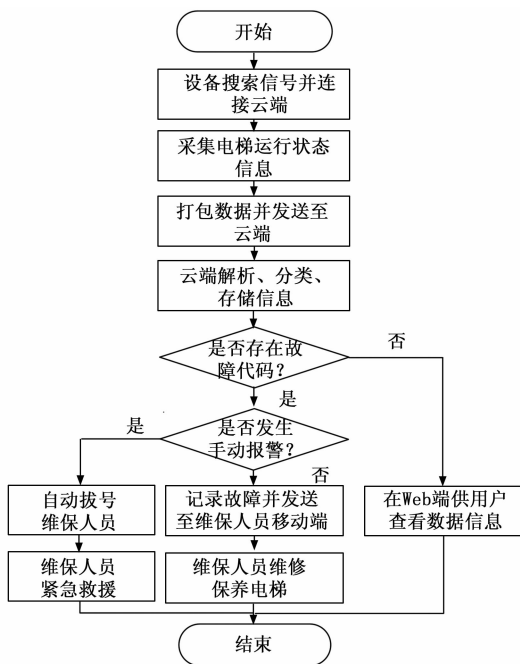


图 4 系统工作流程图

2 系统信息交互规范

在系统的工作过程中, 信息采集终端设备, 云服务器管理平台和移动智能终端之间存在着大量的信息交互。然而, 在信息交互过程很容易引起信息错误和随机码, 从而导致系统的延迟与紊乱^[7]。为了避免信息交互混乱的发生, 系统各大重要信息交互需要定义详细的网络传输帧结构。

2.1 设备注册与响应

设备在上电后, 向云端服务器管理平台发送设备注册请求包。云端管理平台查询该设备的注册状态, 若该设备未注册, 则检查终端身份识别码的合法性, 合法则进行注册并发送注册成功响应包, 不合法则发送注册失败响应包。若该设备已经注册, 则直接发送注册成功响应包。

信息采集终端注册请求包与云端服务管理平台响应包如表 1 与表 2 所示, 其中包头与包尾由两个特定字节表示协议头与协议尾; 流水号从零开始递增, 逐条计数到 0xFFFF

表 1 注册请求包通信字节段

通信字节	字段	Byte
Byte 0~1	包头	2
Byte 2~3	流水号	2
Byte 4	状态消息码	1
Byte 5~18	终端身份识别码	14
Byte 19~20	包尾	2

表 2 注册响应包

通信字节	字段	Byte
Byte 0~1	包头	2
Byte 2~3	流水号	2
Byte 4	状态消息码	1
Byte 5~18	终端身份识别码	14
Byte 19~20	是否成功	2
Byte 21~22	包尾	2

后归为 0，上传下发数据包分别计数；状态消息码表示本包数据的功能；终端识别码由平台产生，用于识别终端设备；是否成功字节，用 0x30 表示发送失败，0x31 表示发送成功。

2.2 心跳请求与响应

为确保信息采集终端设备与云端服务器管理平台的长时间稳定连接，终端需每隔几分钟发送一个固定信息包给云端服务器，云端收到后回复固定信息，即心跳包^[8]。如果云端服务器几分钟内未收到终端心跳请求包或没终端未收到心跳响应包，则两者之间连接中断掉线。使用心跳包机制可提高长连接的保活和断线处理，一般情况下，设置判定时间为 30 秒左右。电梯信息采集终端心跳请求包与云端服务器管理平台心跳响应包如表 3~4 所示。

表 3 心跳请求包

通信字节	字段	Byte
Byte 0~1	包头	2
Byte 2~3	流水号	2
Byte 4	状态消息码	1
Byte 5~18	终端身份识别码	14
Byte 19~20	包尾	2

表 4 心跳响应包

通信字节	字段	Byte
Byte 0~1	包头	2
Byte 2~3	流水号	2
Byte 4	状态消息码	1
Byte 5~18	终端身份识别码	14

2.3 电梯运行状态请求与响应

通过设定指定时间阈值，信息采集终端设备每隔一段时间自动采集电梯运行状态相关信息数据，并发送电梯运行状态数据请求包给云端服务器管理平台，云端服务器接收成功后发送响应包给信息采集终端设备。然后由云端服务器对数据包进行解析、分类、存储。

电梯运行状态信息请求包与响应包如表 5，表 6 所示，其中当前服务模式有：停止服务（0x30）、正常运行（0x31）、0x32（检修）、消防返回（0x33）、地震模式（0x36）等；轿厢运行状态、运行方向、开锁区域、电梯当前楼层等显示电梯实时运行详情：停行、上下行、楼层锁开关，楼层等信息；累积运行时间与次数显示电梯服务时

长与次数，便于后续统计管理。

表 5 电梯运行状态信息请求包

通信字节	字段	Byte
Byte 0~1	包头	2
Byte 2~3	流水号	2
Byte 4	状态消息码	1
Byte 5~18	终端身份识别码	14
Byte 19~32	数据生成时间	14
Byte 33	当前服务模式	1
Byte 34	轿厢运行状态	1
Byte 35	轿厢运行方向	1
Byte 36	开锁区域	1
Byte 37~39	电梯当前楼层	3
Byte 40	轿内是否有人	1
Byte 41~46	累积运行时间	6
Byte 47~52	累积运行次数	6
Byte 53	报警按钮	1
Byte 54~55	包尾	2

表 6 电梯运行状态信息响应包

通信字节	字段	Byte
Byte 0~1	包头	2
Byte 2~3	流水号	2
Byte 4	状态消息码	1
Byte 5~18	终端身份识别码	14
Byte 19~20	是否成功	2
Byte 21~22	包尾	2

2.4 电梯故障数据请求与响应

当电梯发生故障后，信息采集终端设备采集电梯故障数据，并发送电梯故障数据信息请求包至云端服务器管理平台，云端服务器管理平台根据接收状态发送响应包给信息采集终端设备。然后云端解析、统计、分析故障信息，并通知维保人员完成维修。

电梯故障信息请求包与响应包如表 7 及表 8 所示，列举其中部分故障，如：安全回路故障、冲顶故障、蹲底故障、运行超时故障、反复开关门故障、长时间开门故障、非平层停梯故障、楼层位置丢失故障、抱闸故障、门锁故障、停电故障以及故障拿个发生时间等。

3 实验结果与分析

经过愈 6 个月的运营实验，本文设计的电梯安全远程监控系统，适配巨人通力、日立、埃克森、永大、奥的斯、优耐德等市面上大部分电梯品牌，现总共入网电梯 1 327 部，部分电梯信息的统计结果如表 9 所示。

本系统适配酒店、商场、学校、居民区等多种场合，现已有人网单位 132 家，统计结果如表 10 所示。

电梯实际运行中常见故障有：安全回路故障、门锁故障、长时间开门故障、困人等，本系统现已接到报警 94 次，其统计信息如表 11 所示。

表 7 电梯故障信息请求包

通信字节	字段	Byte
通信字节	字段	Byte
Byte 0~1	包头	2
Byte 2~3	流水号	2
Byte 4	状态消息码	1
Byte 5~18	终端身份识别码	14
Byte 19~21	楼层	3
Byte 22	紧急按钮	1
Byte 23	安全回路故障	1
Byte 24	冲顶故障	1
Byte 25	蹲底故障	1
Byte 26	开门走梯故障	1
Byte 27	运行超时故障	1
Byte 28	反复开关门故障	1
Byte 29	长时间开门故障	1
Byte 30	非平层停梯故障	1
Byte 31	速度	1
Byte 32	平稳度	1
Byte 33	电机运转时间限制器动作	1
Byte 34	楼层位置丢失	1
Byte 35	抱闸	1
Byte 36	门锁	1
Byte 37	停电	1
Byte 38~51	故障时间	14
Byte 52~53	包尾	2

表 8 电梯故障信息响应包

通信字节	字段	Byte
Byte 0~1	包头	2
Byte 2~3	流水号	2
Byte 4	状态消息码	1
Byte 5~18	终端身份识别码	14
Byte 19~20	是否成功	2
Byte 21~22	包尾	2

表 9 入网电梯信息统计

品牌	数量	占比(%)
巨人通力	159	11.9819
日立	100	7.5358
浙江埃克森	93	7.0083
西子奥的斯	83	6.2547
浙江曼斯顿	67	5.0490
华升富士达	36	2.7129
上海永大	22	1.6579
优耐德	21	1.5825
广东奥安达	20	1.5072
迅达	16	1.2057
浙江港澳电梯	16	1.2057
上海三菱	14	1.0550

表 10 入网单位信息统计

品牌	数量	占比(%)
住宅小区	58	43.94
公司	21	15.91
政府机构	14	10.61
酒店	14	10.61
别墅区	9	6.82
学校	8	6.06
商场	8	6.06

表 11 电梯故障信息统计

故障类型	次数	占比(%)
安全回路断开	29	30.85%
门锁故障	11	11.70%
长时间开门故障	11	11.70%
困人	10	10.64%
非平层停梯故障	8	8.51%
楼层位置丢失	7	7.45%
停电故障	6	6.38%
反复开关门故障	4	4.26%
冲顶	4	4.26%
其它故障	4	4.26%

根据系统云端记录的工单数据, 如表 12 所示, 电梯报修到维修完成时间(即工单处理时间)为: 时间<1 h、1~3 h、3~12 h 分别占 29.79%、42.55%与 14.89%。其维修速率明显优于常规电梯维修保养速率。

表 12 工单数据信息统计

工单处理时间	数量	占比(%)
<1h	28	29.79
1h~3h	40	42.55
3h~12h	14	14.89
12~24h	8	9.57
>24h	4	4.26

由上述结果可知, 本电梯运行状态信息远程监控系统具备良好的电梯适配性, 能灵敏检测电梯常见故障, 大幅度提升电梯的安全运行程度, 对制定电梯行业规范制度、增加电梯行业透明度以及节省电梯行业资源有显著作用。

4 结论

本文设计一种基于 NB-IoT 的电梯运行状态信息远程监控系统突破了现有电梯维修救援模式, 在提高工作效率的同时大幅度节省电梯日常人力物力的消耗。该系统可为被困乘客、物业、维保公司、乃至政府监管部门提供便利的服务。

对于电梯乘客, 当遇到危险时可通过手动按动电梯紧急按钮, 直接与维保人员进行语音沟通, 省掉了中间环节, 大幅缩减救援等待时间。且其通过设置多联系人, 可确保

救援及时性, 无需担心无人响应问题。

对于政府监管部门, 可通过云端查看电梯事故发生率与救援过程可视化, 了解不同品牌电梯安全性能与维保公司工作效率, 便于政府部门掌握电梯市场, 制定相应的安全保障制度, 促进电梯安全运行。

对于物业与维保公司, 可实时监控电梯信息, 了解电梯运行数据与维修保养记录, 实现电梯的全生命周期信息的可视化追踪。且其故障统计功能与定时保养功能, 极大方便维保公司对电梯的管理与维护。

本物联网系统可大幅度提高效率, 合理、有序、高效地完成电梯的日常维护保养任务与乘客安全救援工作。

参考文献:

[1] 国家质量监督检验检疫总局. 2016 年全国特种设备安全状况白皮书 [Z]. 2016.

[2] 谢运洲. NB-IoT 技术详解与行业应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2017.

[3] 刘明, 朱明富. 基于 GPRS 的电梯远程监控系统设计 [J]. 计算机技术与发展, 2006, 16 (11): 201-203.

[4] 蒋建文, 林勇, 韩江洪. CAN 总线通信协议的分析和实现 [J]. 计算机工程, 2002, 28 (2): 219-220.

[5] 邓浩文. 电梯五方通话系统在工程现场的应用研究 [J]. 企业技术开发: 下, 2011, 30 (5): 40-41.

(上接第 92 页)

测和帧间预测出现错误叠加, 出现解调画面问题。总装总测厂房里停放箭体较多、工装设备较多, 容易产生信号多径效应, 造成图像无线信号弱、信道增益不强、容错性差。图像压缩编码器增加 RS 编码算法模块, 地面解码设备增加 RS 解码模块, 通过集成综合试验项目其余项目测试, 全程解调画面清晰、流畅, 无此类现象出现。RS 编码后的飞行试验解调的画面如图 10 所示, 全程画面清晰、流畅, 关键过程动作信息均能清晰捕捉到位、试验关注场景均能有效呈现。试验结果表明 RS 编码能有效降低信道误码, 提高改善图像解调画面质量。

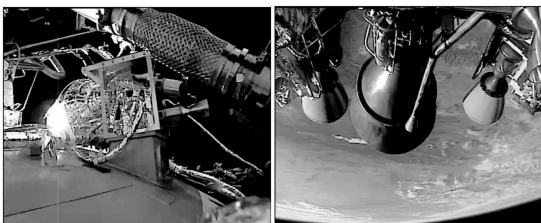


图 10 RS 编码后的飞行试验画面

4 结束语

为了改善某运载火箭集成综合试验图像测试画面出现马赛克、花屏、卡顿的现象, 给出了一种基于 RS 码为纠错码的图像测量系统设计方案。火箭飞行试验结果表明, RS

[6] 张文滔, 王钊, 黄瑞, 等. 基于 WI-FI 的室温亲戚检测系统的设计与研究 [J]. 计算机测量与控制, 2018, 26 (2)

[7] 王静, 姜利, 邓胜江, 等. GPRS 在铁路车地信息交互中的应用 [J]. 铁路计算机应用, 2008, 17 (5): 18-21.

[8] 胡志坤, 何多昌, 桂卫华, 等. 基于改进心跳包机制的整流远程监控系统 [J]. 计算机应用, 2008, 28 (2): 363-366.

[9] 郭忠文. 物联网系统设计开发方法与应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2017.

[10] 郑丹丹, 刘明兰, 何超. 基于 GPRS/GSM 的电梯远程监控系统设计 [J]. 自动化仪表, 2007, 28 (12): 49-51.

[11] 宗群, 王宇波, 李爱国. CAN 总线在电梯远程监控系统中的应用 [J]. 制造业自动化, 2004, 26 (7): 48-50.

[12] Mangalvedhe N, Ratasuk R, Ghosh A. NB-IoT deployment study for low power wide area cellular IoT [A]. IEEE, International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications [C]. IEEE, 2016: 1-6.

[13] Lauridsen M, Kovacs I Z, Mogensen P, et al. Coverage and Capacity Analysis of LTE-M and NB-IoT in a Rural Area [A]. Vehicular Technology Conference [C]. IEEE, 2017: 1-5.

[14] Petrov V, Samuylov A, Begishev V, et al. Vehicle-Based Relay Assistance for Opportunistic Crowdsensing over Narrowband IoT (NB-IoT) [J]. IEEE Internet of Things Journal, 2017, (99): 1-1.

编码后, 能有效降低信道误码、提高信道增益, 提升无线信道传输质量, 为某型号运载火箭图像测量手段成功应用提供了解决方法。

参考文献:

[1] 李安顺, 刑威, 谢立. 一种运载火箭高码率遥测系统设计方案 [J]. 计算机测量与控制, 2015, 23 (6): 1915-1918.

[2] 徐定杰, 姜利, 韩浩. 多径环境下运载火箭高码率传输性能研究 [J]. 通信与网络, 2015, 39 (12): 118-121.

[3] 孙江辉, 张定云. 多 RS 在空空导弹遥测系统中的应用 [J]. 现代电子技术, 2011, 34 (3): 14-16.

[4] 乔晓峰, 刘跃敏, 宁永海. RS 码与 QC-LDPC 码的级联码在浅海信道中的性能研究 [J]. 通信与网络, 2012, 38 (5): 122-124.

[5] 王波, 孙一, 冯为等. 基于 FPGA 的快速 RS 码的实现 [J]. 电子测量技术, 2009, 32 (6): 143-147.

[6] 宋博, 杜兴民, 白欣等. RS 码在空地高速数传系统中的应用 [J]. 空军工程大学学报 (自然科学版), 2000, 1 (5): 20-22.

[7] 曾晓洋, 郝志航, 魏仲慧. RS 码时域编码算法及其计算机模拟 [J]. 系统工程与电子技术, 2001, 23 (3): 16-18.

[8] 毛得明, 韦高, 刘慧红. RS (255, 223) 码中乘法器的设计 [J]. 计算机测量与控制, 2008, 16 (11): 1669-1671.

[9] 宋彬, 常义林, 周宇兆. 基于 H. 264 帧间预测的快速算法 [J]. 电子学报, 2006, 34 (1): 31-34.