

文章编号:1671-251X(2020)10-0114-05

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.17413

基于无线多跳网络的矿井工作面视频监控系统

梁宏^{1,2}

- (1. 中煤科工集团常州研究院有限公司, 江苏 常州 213015;
2. 天地(常州)自动化股份有限公司, 江苏 常州 213015)



扫码移动阅读

摘要:针对井下有线传输方式线缆部署难度大、线缆极易受到损坏及传统无线局域网通信距离较短、无法适应煤矿井下工作面狭长环境等问题,设计了基于无线多跳网络的矿井工作面视频监控系统。该系统由视频采集节点、无线多跳网络(含网关节点、传输节点及网络交换机)、客户端等组成。视频采集节点完成视频信息采集、编码和封装,并通过推流软件 MJPG-streamer 将采集到的视频以数据流形式发送出去;无线多跳网络通过最优链路状态路由(OLSR)协议进行自组网,实现采集节点与网关节点的连接;客户端接收来自各路监控的视频流,实现多路视频实时显示、远程监控、保存及回放功能。实测结果表明,经过 3 跳传输后,系统吞吐量为 10.1 Mbit/s,丢包率为 2.2%,平均时延抖动和系统端到端传输时延等指标优于基于传统无线局域网的视频传输系统。实际应用结果表明,当工作面中各节点之间距离在 70 m 以内时,系统运行效果较好;基于无线多跳网络的视频监控系统与基于有线传输的视频监控系统采集到的画面质量基本一致。

关键词:矿井工作面;视频监控;无线多跳网络;OLSR 协议;自组网

中图分类号:TD67 文献标志码:A

Video monitoring system of mine working face based on wireless multi-hop network

LIANG Hong^{1,2}

- (1. CCTEG Changzhou Research Institute, Changzhou 213015, China;
2. Tiandi (Changzhou) Automation Co., Ltd., Changzhou 213015, China)

Abstract: In view of problems that underground wired transmission mode has difficulty in cable deployment and cables are extremely vulnerable, traditional wireless local area network has short communication distance and cannot adapt to the long and narrow environment of coal mine underground working face, a video monitoring system of mine working face based on wireless multi-hop network was designed. The system consists of video acquisition node, wireless multi-hop network (including gateway nodes, transmission nodes and network switches) and clients. The video acquisition node completes video information collection, encoding and packaging, and sends the collected video as data stream through the push streaming software MJPG-streamer; the wireless multi-hop network adopts optimal link state routing (OLSR) protocol for ad-hoc networking, so as to realize the connection between collection node and gateway node; the clients receive the video streams from various monitoring channels, and realize the functions of multi-channel video real-time display, remote monitoring, storage and playback. The actual test results show that after 3-hop transmission, the system throughput is 10.1 Mbit/s, the packet loss rate is 2.2%, and the average delay jitter and system end-to-end transmission delay are better than traditional wireless LAN-based video transmission systems. Practical application results show that when the distance between nodes in the working face is within 70 m, the system operates well; the video monitoring system based on wireless multi-hop network and the video monitoring system based on wired transmission

收稿日期:2019-03-18;**修回日期:**2020-09-26;**责任编辑:**胡娴。
作者简介:梁宏(1971—),男,辽宁丹东人,高级工程师,现主要从事矿用通信及监控设备审查与检验工作,E-mail:lianghxl@sina.com。
引用格式:梁宏. 基于无线多跳网络的矿井工作面视频监控系统[J]. 工矿自动化,2020,46(10):114-118.

LIANG Hong. Video monitoring system of mine working face based on wireless multi-hop network[J]. Industry and Mine Automation,2020,46(10):114-118.

basically have the same image quality.

Key words: mine working face; video monitoring; wireless multi-hop network; OLSR protocol; self-organizing network

0 引言

为了保证煤矿井下安全生产,在煤矿井下工作面建立一套高效的多媒体实时通信网络系统具有重要意义^[1-2]。在煤矿井下无线网络方面,近年以工业以太环网为骨干、局部无线接入的混合异构网络模式成为主流模式。随着矿井通信技术的发展,基于不同频段的矿井无线通信技术如 ELF/VLF 超低频透地通信、VHF/UHF 漏泄通信及小区制矿井蜂窝 3G/4G 移动通信技术等在井下的应用成为研究热点^[3-5]。新兴短距离无线通信技术(ZigBee, WiFi, Bluetooth, UWB 等)、移动自组织网络、无线地下传感器网络、无线 Mesh 网络、物联网等的出现,使得矿井无线通信与组网技术迎来了一个快速发展的阶段^[6-8]。

目前煤矿井下视频监控系统多采用有线传输方式。由于煤矿井下作业环境复杂,有线传输方式存在以下缺点:线缆部署难度大;受工作面变动影响,需要随时变换线缆位置,工作量大,系统稳定性差;当矿难发生时,线缆极易受到损坏^[9]。无线传输方式可大大降低网络部署复杂度,提高灵活性,降低成本。传统的无线局域网(Wireless Local Area Network, WLAN)通信距离较短,无法适应煤矿井下工作面狭长的环境^[10-11]。无线多跳网络技术可在不增加线缆和设备的基础上有效扩展通信范围。因此,本文设计了基于无线多跳网络的矿井工作面视频监控系统,该系统具有易部署、便于维护和自愈能力强等特点。

1 视频监控系统结构

基于无线多跳网络的矿井工作面视频监控系统由视频采集节点、无线多跳网络(含网关节点、传输节点及网络交换机)、客户端等组成,如图 1 所示。视频采集节点完成视频信息采集、编码和封装,并通过推流软件 MJPG-streamer 将采集到的视频以数据流形式发送出去。传输节点是信息的转发连接点,无线多跳网络通过最优链路状态路由(Optimized Link State Routing, OLSR)协议进行自组网^[12],实现采集节点与网关节点的连接。客户端接收来自各路监控的视频流,可实时显示并保存监控视频。

视频监控系统以无线多跳网络为基础,传输节

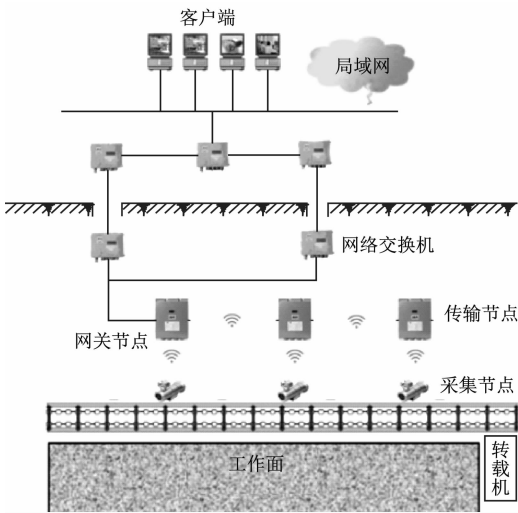


图 1 矿井工作面视频监控系统结构
Fig. 1 Structure of video monitoring system of mine working face

点采用嵌入式系统开发,以程序植入方式添加视频服务器相关功能模块,构建多跳节点,各无线多跳节点通过运行 OLSR 路由协议进行多跳组网,传输现场实时视频数据。

2 节点设计

2.1 节点硬件设计

节点在硬件设计上基本一致,包括电源模块、射频模块、以太网模块、存储模块、时钟模块和 USB 模块,如图 2 所示。根据实际使用需要,采集节点和传输节点可取消 USB 接口设计,网关节点设计有较大的存储空间,客户端通过网关节点添加采集节点,对采集节点进行管理。

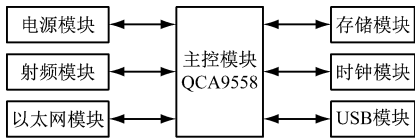


图 2 节点硬件结构
Fig. 2 Node hardware structure

主控模块:主要包括主控芯片 QCA9558、晶振电路、复位电路、电源转换电路、滤波电路和调试电路。

电源模块:对外部输入的 12 V 电源进行转换,得到平台其他模块所需要的供电电压。

射频模块:芯片集成了射频收发模块,需进行外部匹配电路设计,完成射频信号收发工作。射频模块由射频收发模块、功率放大模块、低噪声放大模块、收发状态切换模块和天线等组成。射频收发模

块的输入输出信号需经功率放大模块和低噪声放大模块处理后发送至天线,完成射频模块与外部设备的通信。

以太网模块:芯片集成了千兆以太网媒体访问控制器,需要选取合适的物理层(PHY)芯片与之匹配,完成以太网模块设计。

存储模块:芯片集成了 FLASH 和 SDRAM 控制器,通过点对点方式相连,完成存储模块设计。

USB 模块:芯片集成了 USB2.0 控制器,只要将相关信号线与 USB 引脚相连,即可完成 USB 模块设计。

2.2 节点软件设计

现场视频数据采集通过摄像头实现,摄像头将采集的模拟信号转换成数字信号。视频服务器采用 MJPG-streamer 软件,这是一款开源的基于模块化设计的视频服务器软件。该软件可采用摄像头硬件压缩格式,减少对 CPU 的占用,特别适用于资源受限的嵌入式设备。MJPG-streamer 软件使用其输出模块(output_http.so)处理采集的现场视频信息,生成 TCP 形式的数据包,借助 httpd 服务器向视频监控客户端软件发送视频数据。MJPG-streamer 体系结构如图 3 所示。

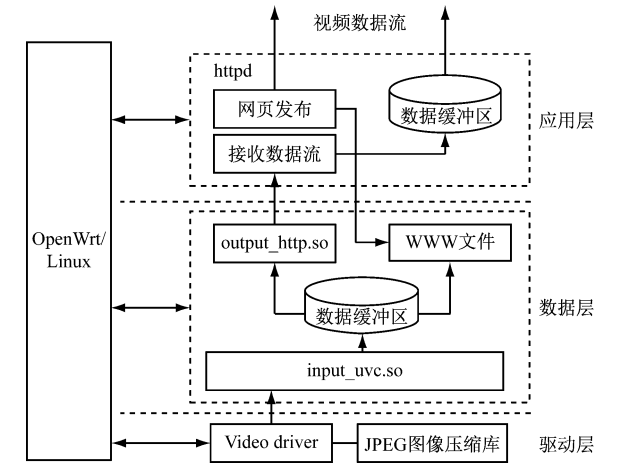


图 3 MJPG-streamer 体系结构
Fig. 3 MJPG-streamer architecture

MJPG-streamer 软件主要工作流程:通过输入模块(input_uvc.so)从 Video4Linux 驱动(Video driver)中获得视频帧。Video4Linux 是嵌入式 Linux 操作系统中为视频采集设备提供的获取视频信息的 API 接口。通过使用该 API 接口,借助摄像头及相应的驱动程序,完成工作面现场视频信息的采集工作。

3 视频监控客户端软件设计

视频监控客户端软件接收不同节点采集到的视

频流,并进行实时多路显示。客户端软件分为 2 个部分:① 前端。用户操作界面,提供多路视频参数设定和实时显示功能。② 后台。利用 QT 信号与槽和多线程的方法,开辟主线程和多个子线程,主线程负责接收视频帧和窗口部件的绘制工作,子线程负责视频流编解码、传输等。视频监控客户端软件如图 4 所示。

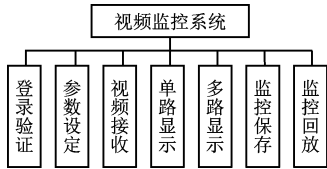


图 4 视频监控客户端软件功能架构
Fig. 4 Software functional architecture of video monitoring client

软件程序整体上采用面向对象的方式设计,依据系统功能需要,共定义了 6 个类,分别是 ShowVideo(视频显示类)、MainWindow(主页面类)、VideoPlayer(视频解码类)、Setting(参数设定类)、H264Encoder(视频编码保存类)及 Login(用户登录类)。

4 系统测试及应用

4.1 测试分析

构建 3 跳无线网络,使用 Iperf 工具和 Ping 命令进行多跳网络性能测试。Iperf 用于测试 TCP 和 UDP 传输质量,并获得吞吐量、时延抖动和丢包率。Ping 命令用于计算系统端到端传输时延。

在实际测试中,多跳网关节点以 server 模式启动,多跳传输节点以客户端模式启动。多跳网关节点使用指令“iperf -u-s”,3 个多跳节点使用指令“iperf -u-c 多跳节点 ip -b 450M -t 10”。其中“-b 450M”表示多跳网关节点和多跳采集节点之间的通信链路理论带宽为 450 Mbit/s,“t”表示单次测试时间。设单次测试时间为 10 s,共进行 100 次测试,并计算吞吐量、时延抖动和丢包率的均值,见表 1。

表 1 基于无线多跳网络的视频监控系统测试结果
Table 1 Test results of video monitoring system based on wireless multi-hop network

跳数	平均吞吐量/ (Mbit · s ⁻¹)	平均时延 抖动/ms	平均丢 包率/%	传输 时延/ms
1	96.9	0.424	0.23	1.964
2	20.4	0.938	1.10	2.764
3	10.1	2.031	2.20	6.531

基于传统无线局域网(wifi 802.11b)的视频监

控系统吞吐量、时延抖动和丢包率实测结果见表 2。

表 2 基于传统无线局域网的视频监控系统测试结果

Table 2 Test results of video monitoring system based on traditional wireless LAN

平均吞吐量/ (Mbit · s ⁻¹)	平均时延 抖动/ms	平均丢 包率/%	传输 时延/ms
9.3	12.5	2.4	13.6

实测结果表明,经过 3 跳传输后,系统吞吐量为 10.1 Mbit/s,丢包率为 2.20%,平均时延抖动和系统端到端传输时延等指标优于基于传统无线局域网的视频监控系统。无线多跳网络性能满足多跳视频传输要求,有效克服了工作面有线视频监控系统线缆部署难度高、容易受损、系统布置工作量大、系统稳定性差及 WLAN 通信距离比较短、不适合工作面狭长环境的弊端。

4.2 应用效果

基于无线多跳网络的视频监控系统在山西大同煤矿集团雁崖煤业有限公司雁崖矿成功运行。视频采集节点外接定向天线,以提高辐射功率的有效利用率,增强信号强度,提高信号的抗干扰能力。多跳传输节点和网关节点外接全向天线,接收视频采集节点发送的无线信号。视频采集节点固定在液压支架上,距离煤层约 4 m。经实际测试,当工作面中各节点之间距离在 70 m 以内时,系统运行效果较好。在实际部署时,每隔 60 m 放置 1 个节点。工作面内共放置 3 个传输节点,对应位置为刮板输送机机头、刮板输送机和转载(破碎)机连接处、转载(破碎)机和带式输送机连接处。

雁崖矿通过无线多跳网络采集到的视频画面如图 5 所示,基于有线传输的视频监控系统采集到的画面如图 6 所示。对比可以发现,排除光线、粉尘等因素影响,通过 2 种方式传输到地面的画质基本一致。



图 5 基于无线多跳网络的视频监控系统应用效果

Fig. 5 Application effect of video monitoring system based on wireless multi-hop network



图 6 基于有线传输的视频监控系统应用效果

Fig. 6 Application effect of video monitoring system based on wired transmission

5 结语

设计了基于无线多跳网络的矿井工作面视频监控系统,基于 Atheros9558 芯片设计了嵌入式无线多跳节点,构建了嵌入式视频服务器,采集的视频信号在节点中进行编码、封装,并通过基于 OLSR 协议的无线多跳网络进行视频流传输,经煤矿以太网传输至地面的上位机,实现视频接收、解码、多路视频同屏显示、保存和回放功能。实测结果表明,经过 3 跳传输后,系统吞吐量为 10.1 Mbit/s,丢包率为 2.20%,平均时延抖动和系统端到端传输时延等指标优于基于传统无线局域网的视频监控系统。实际应用结果表明,当工作面中各节点之间距离在 70 m 以内时,系统运行效果较好;基于无线多跳网络的视频监控系统与基于有线传输的视频监控系统采集到的画面质量基本一致。

参考文献(References):

[1] 王国法,范京道,徐亚军,等. 煤炭智能化开采关键技术创新进展与展望[J]. 工矿自动化,2018,44(2):5-12.
WANG Guofa, FAN Jingdao, XU Yajun, et al. Innovation progress and prospect on key technologies of intelligent coal mining [J]. Industry and Mine Automation, 2018, 44(2): 5-12.

[2] 孙继平. 煤矿信息化自动化新技术与发展[J]. 煤炭科学技术, 2016, 44(1): 19-23.
SUN Jiping. New technology and development of mine informatization and automation [J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(1): 19-23.

[3] 张克,刘留,袁泽,等. 工业物联网无线信道与噪声特性[J]. 电信科学, 2018, 34(8): 87-97.
ZHANG Ke, LIU Liu, YUAN Ze, et al. Wireless channel and noise characteristics in industrial Internet of things [J]. Telecommunications Science, 2018, 34(8): 87-97.

[4] 孙溶辰. 隧道场景无线自由波信道测量、特性分析和建模研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2018.

SUN Rongchen. Research on wireless channel measurement, characteristic analysis and modeling in tunnel scenarios [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2018.

[5] 陈辉, 田子建, 陆奎, 等. 煤矿井下水泵电机辐射电磁骚扰测试研究[J]. 微波学报, 2016, 32(6): 76-80.

CHEN Hui, TIAN Zijian, LU Kui, et al. Radiated electromagnetic disturbance for the water pump motor in underground coal mines [J]. Journal of Microwaves, 2016, 32(6): 76-80.

[6] 沈博. CPS 环境下异构实体通信关键技术研究[D]. 西安: 西北工业大学, 2017.

SHEN Bo. Research on key technology of heterogeneous entity communication in cyber-physical systems [D]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University, 2017.

[7] HARGRAVE C, RALSTON J C, HAINSWORTH D W. Optimizing wireless LAN for longwall coal mine automation [J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2007, 43(1): 111-117.

[8] LIU G, SUN Z, JIANG T. Joint time and energy allocation for QoS-aware throughput maximization in MIMO-based wireless powered underground sensor networks[J]. IEEE Transactions on Communications, 2019, 67(2): 1400-1412.

[9] ZHANG S, FU G, SHI S H. Cause analysis of behavior of the secondary accidents in coal mines and the prevention[M]//HE X, MITRI H, NIE B, et al. Progress in Mine Safety Science and Engineering II. Boca Raton: CRC Press, 2014.

[10] CHEN J, BIN F, GE X, et al. A dual-directional path-loss model in 5G wireless fractal small cell networks [C]//IEEE International Conference on Communications, Paris, 2017.

[11] 刘宇辙. 无线发射系统中的关键射频模块研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2015.

LIU Yuzhe. Research on key RF modules in wireless transmission system [D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2015.

[12] 杨彬. MANET 网络中 OLSR 路由协议研究与改进 [D]. 成都: 电子科技大学, 2013.

YANG Bin. Research and improvement of OLSR protocol for MANET [D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2013.