

文章编号:1007-2780(2018)01-0055-06

基于4G-LTE的脱机LED控制系统的设计

唐娜娜^{1,2,*}, 郑喜凤^{1,2,3}, 武金忠³, 陈浩³, 李宏侠³

(1.中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;

2.中国科学院大学, 北京 100049;

3.长春希达电子有限公司, 吉林 长春 130103)

摘要:目前市场上常用的脱机LED显示屏控制方式主要为有线通信。随着移动通信技术的快速发展,4G开始进入普及阶段。与传统有线通信方式相比,4G技术不受地点的限制,在工程成本、环境适应性、网络扩展性及设备维护等方面有明显优势。为了解决工程上有线LED显示屏受地理位置、通信距离、安装方式限制无法安装的问题,本文设计实现了基于4G-LTE的脱机LED控制系统。系统以i.MX6Q微控制器为核心,4G全网通模块为无线通信基础,FPGA芯片为LED显示屏扫描控制单元,实现了ARM+FPGA+4G的全新脱机控制系统架构,并设计了基于TCP/IP网络通信协议的上位机软件。该脱机控制系统通过4G网络可以实现高质量图像、视频的无线传输,满足256级灰度全彩色LED脱机屏图文、视频的显示要求。经过测试,系统能够稳定高效运行,具有较强的实用性和较高的传输速率。

关键词:4G-LTE; ARM; FPGA; i.MX6Q; LED脱机屏

中图分类号:TP302.1 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20183301.0055

Design of off-line led control system based on 4G-LTE

TANG Na-na^{1,2,*}, ZHENG Xi-feng^{1,2,3}, WU Jin-zhong³, CHEN Hao³, LI Hong-xia³(1. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,**Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;*2. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;*3. *Changchun Cedar Electronics Technology Co., Ltd., Changchun 130103, China*)

Abstract: On the market, the off-line LED display currently used to control the display content mainly by wired. With the rapid development of mobile communication technology, 4G is beginning to enter the popular stage. Compared with the traditional wired communication mode, 4G technology isn't bound by the place and has obvious advantages in engineering cost, environment adaptability, network expansion, equipment maintenance and so on. In order to solve the problem that wired LED display is not installed because of the geographical location, communication distance and the installation mode, off-line LED control system based on 4G-LTE is designed. The system is designed with the core of i.MX6Q micro controller, wireless communication module of 4G-LTE, and scanning control module

收稿日期:2017-06-07; 修订日期:2017-07-11.

基金项目:十三五国家重点研发计划(No.2017YFB0404800)

Supported by National Key Research and Development Program of China(No.2017YFB0404800)

* 通信联系人, E-mail: tnn_personal@163.com

of FPGA chip, and achieves a new off-line control system structure that based on ARM+FPGA+4G, and matches PC software based on TCP/IP network communication protocol. The off-line control system can achieve wireless transmission of high-quality images and video, and support 256 full-color LED gray-scale display screens of graphics through the 4G network. After testing, the system can run stably and effectively, and have higher practicability and transmission.

Key words: 4G-LTE; ARM; FPGA; IMX6Q; LED off-line screen

1 引言

信息产业高速发展促使屏幕显示技术不断的推陈出新,LED显示屏因其屏幕大、亮度高、使用寿命长、工作电压低、性能稳定、耐冲击等优势,广受大众的热捧^[1]。脱机LED显示屏是相对于联机LED显示屏而言,通过在屏体结构上内嵌微型工控计算机,对屏幕进行独立控制,当需要更新信息时,用户能够使用计算机或移动设备对显示信息进行更新。根据是否需要通信线缆,脱机LED显示屏的通信方式共分两类:一类为有线通信方式,如RS-232、RS-485、RJ45等。另一类为无线通信方式,如蓝牙、Wi-Fi、ZigBee、短信息、3G等。目前大部分脱机LED显示屏主要采用有线通信,使用中有多不便,如:需架设电缆或挖掘电缆沟;在一些特殊的应用环境(山地、湖泊、林区或移动物体等)布线困难;系统新增设备需重新布线,施工麻烦;设备维护需沿线路检查,工作量大等。少数脱机LED显示屏采用无线通信方式,但在无线通信方式中,蓝牙、Wi-Fi和ZigBee通信传输距离太短,无法实现远距离数据传输;无线短信息传输数据量有限,无法实现大信息量视频传输。目前4G技术在国内较为成熟,在消费电子领域大规模普及,但是在LED控制系统方面还处于起步阶段,4G相比于3G传输速度更快,更能够满足日趋复杂的大信息量高清晰视频传输的要求^[2]。

本文采用目前的第四代移动通信技术、互联网技术和网络运营商提供的网络基础设施,设计了基于4G-LTE全网通LED脱机控制系统。依托4G较高的上行和下行速率、分集接收等优势^[3],将控制命令通过4G无线网络传送到4G控制系统,进而对LED显示屏进行控制,并能够通过4G网络回传LED显示屏的工作状态,配套的上位机软件操作简单,使用便捷,可以实现高质量

图像、视频的高速率传输,解决了LED显示屏远距离传输速率慢和稳定性差的问题。

2 系统组成

系统拓扑结构如图1所示。区别于传统脱机LED控制系统的点对点或一对多的设计模式,本文设计了一种多对多的控制模式,即多个用户控制多块LED脱机屏。该模式的实现依赖于云服务器端数据库的设计,在数据库中给每个用户分配需管理的LED脱机屏,且不同用户之间管理的LED脱机屏可重合,管理员用户可管理系统中任意一块LED脱机屏。

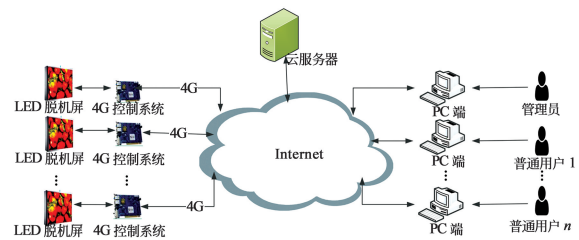


图1 系统拓扑结构

Fig.1 Topological structure of the system

整个系统由4G LED脱机屏、云服务器、操作用户三部分构成。系统各部分通过Internet网络互联:LED脱机屏通过4G无线网络接入互联网,云服务器架设于互联网中,操作用户通过Internet网络远程登录到云服务器。用户通过上位机软件可对多个4G LED脱机屏远程控制。4G控制系统与云服务器之间采用TCP/IP网络通信协议,4G控制系统作为TCP客户端,云服务器作为TCP服务器端。客户端与服务器采用长连接方式,服务器利用心跳机制实时监测客户端的连接状态,客户端具备断网自动连接服务器的功能,保证服务器与客户端的永久连接。

4G控制系统由ARM模块、FPGA模块和4G全网通模块组成。其中,ARM模块构成了控

制中心,ARM模块实现了图文、视频等信息的下载、存储、回传及运行控制;FPGA模块完成相应的数据转换和显示信息的扫描控制^[4];4G全网通模块作为上位机与ARM模块的通信桥梁,通过4G-LTE网络在ARM模块与上位机之间双向转发信息。4G控制系统模块设计如图2所示。

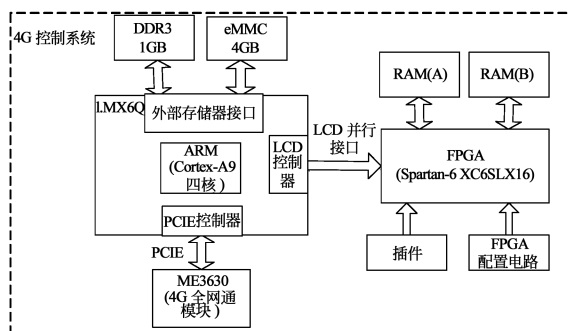


图2 4G控制系统模块设计

Fig.2 Modular design of 4G control system

3 硬件设计

3.1 i.MX6Q 工业级核心模块设计

本系统选用i.MX6Q工业级核心模块作为主处理器。i.MX6Q是四核应用处理器,基于ARM Cortex-A9架构,其特点如下:

- (1)运行速率最高可达1.2 GHz;
- (2)内部集成GPU 3D,GPU 2D(矢量图形)和GPU(复合);
- (3)支持1080P30编码,1080P60解码和3D视频播放。

综合上述特点,i.MX6Q的运行频率使处理器轻松地运行Linux操作系统,处理较为复杂的信息,提高了系统的运行速度和处理能力;i.MX6Q内部集成GPU处理单元,支持2D与3D图形加速处理,增强图像处理算法,提高显示性能;i.MX6Q有强大的视频编解码功能,并且支持多码流的HD视频引擎,可以实现高清视频的播放,满足LED显示屏对高分辨率的要求;并且i.MX6Q有着丰富的外设资源,简化了外围电路的扩展部分,降低系统的复杂度。

3.2 外部存储器模块

3.2.1 DDR3 RAM 存储模块

SRAM作为一种静态RAM存储器,具有很高的读写速度,在嵌入式系统中经常被用作变量/

数据缓冲或者程序的运行空间,以提高系统性能。然而,SRAM与SDRAM相比,集成度低、价格较高、功耗大、相同的容量体积较大,不适用于大容量存储器^[5-6]。

本硬件电路系统中选用DDR3 SDRAM。DDR3 SDRAM的存储容量为1 GB,相比于传统使用的DDR2 SDRAM,它提供了更高的运行效率和工作频率,更小的功耗和发热量,更低的电压,在一定程度上弥补了延迟时间较长的缺点,除此之外它还具有通用性好,兼容性好的优势。

3.2.2 eMMC 模块

脱机控制系统需要存储大量的图文、视频等显示信息,要求在系统掉电后数据不丢失,还需要较大的存储容量,所以系统采用Flash存储器^[7]。考虑到大容量的NOR Flash成本较高,NAND Flash虽具备良好的性价比,但存在兼容性和管理上的问题,所以该系统采用eMMC芯片。eMMC存储容量为4GB,提供标准接口,对外的接口协议与SD卡、TF卡相同,在该模块中,eMMC相当于一个NAND Flash和一个主控IC,即将控制器集成在封装中,解决了内存管理的问题,降低了成本。

3.3 扫描控制模块

ARM通过LCD并行接口将数据传送到扫描控制模块,该模块由一片FPGA和两片RAM构成,实现对从i.MX6Q输出的RGB数据进行缓冲及处理。其中,FPGA实现了数据接收,对RAM的控制及数据格式的转换;RAM按照“乒乓操作”原理进行工作,以确保对RAM的操作同时进行,即当FPGA读取一个RAM中的数据时,同时往另一个RAM中写入数据,如此保证了FPGA数据处理和图像扫描的高速进行。

3.4 4G-LTE 无线通信模块

4G-LTE无线通信模块是上位机软件与ARM模块通信的桥梁。计算机、平板、智能手机等智能设备通过4G无线网络与4G无线通信模块建立连接。

本系统所采用的是中兴通讯的ME3630无线通信模块,在LTE制式下,该模块能够提供最大150 Mbps下行速率和50 Mbps上行速率,支持分集接收,可以传输高质量视频图像,提高了通讯质量和通讯可靠性;它还支持多种网络协议并且全面兼容中国电信、中国移动、中国联通三大运

营商的 2G/3G/4G 网络。4G-LTE 无线通信模块与 i.MX6Q PCIE 接口电路连接如图 3 所示。上电后 ARM 使用 AT 指令对无线通信模块进行配置。

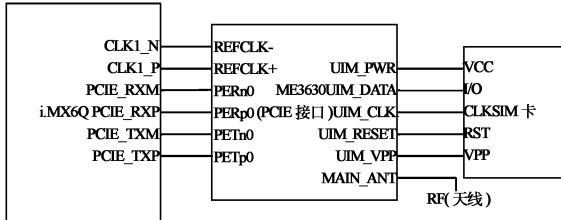


图 3 4G-LTE 无线通信模块与 i.MX6Q PCIE 接口电路连接

Fig.3 Circuit between 4G-LTE wireless communication module and PCIE interface of i.MX6Q

4 软件设计

在 Linux 系统正确识别 4G-LTE 无线通信模块后,就可以通过 PPP (Point-to-Point Protocol)点到点协议拨号上网。PPP 是数据链路层协议,主要通过拨号或专线方法建立点到点的连接并发送数据信息,同时上位机需要连接到 Internet 才可以与无线通信模块进行通信。

4.1 上位机软件设计

上位机软件的主要功能是编辑显示在 LED 脱机屏上的数据信息,并与下位机进行通信。面向移动设备(平板电脑、智能手机)移植的考虑,系统界面采用 QT 开发。QT 作为一个面向跨平台设计的 GUI 库,接口设计简洁,功能强大,全面支持 Windows、Linux、iOS、Android、WP 等主流操作系统,易于开发,降低了学习成本和开发风险,并为移植软件至多种设备上提供了途径^[8]。

针对系统网络通信部分,上位机设计为服务器端,下位机设计为客户端,其网络通信过程利用 TCP/IP 协议中的传输层接口 socket 实现,相关代码基于 Boost.Asio 开发。Asio 主要是通过基于操作系统的异步机制,采用前摄器设计模式实现可移植异步 IO 操作,从而减少同步操作下多线程编程引起的死锁、条件竞争、线程切换开销等问题^[9]。服务器端及客户端网络通信流程如图 4 所示。

服务器端首先指定一个端口,建立一个 socket 对象,将 IP 地址和指定的端口号绑定到 socket 上,

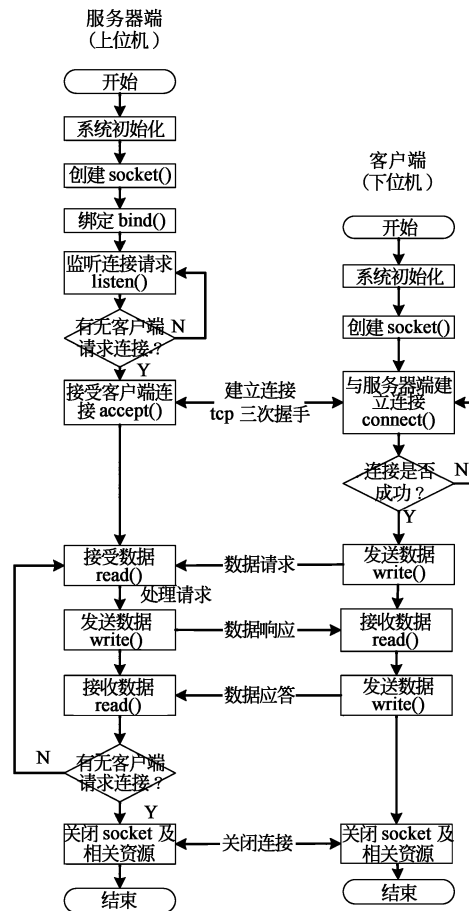


图 4 服务器端及客户端网络通信流程

Fig.4 Process of network communication between server and client

调用 listen 函数,监听客户的连接请求,当 TCP 服务器监听到客户端请求后,调用 accept 函数。在客户端,用指定的服务器主机名或 IP 地址及端口号创建一个 socket 对象,该对象试图连接到指定的主机和端口的服务器^[10-11]。当客户端与服务器端连接后,客户端首先向服务器端发送设备编码(每块 LED 显示屏的编码),服务器端接收并处理数据,然后将数据响应发送给客户端,其中数据响应包括心跳、发送播送列表、媒体文件、调节设置亮度等命令帧,客户端根据接收到的命令帧判断执行功能,并向服务器端发送相应功能的应答帧,判断当前 socket 是否可用,可用时继续接收数据,当不可用时调用 close 函数,关闭 socket,释放连接占用的资源。

4.2 下位机软件设计

下位机通过无线通信模块接收上位机发送来

的控制、显示等数据信息,并按照通信协议对数据信息进行相应的解析和重组,然后向 LED 屏的驱动电路提供显示数据,最终在 LED 屏上显示。

下位机应用软件主要分为三个部分:控制器、节目播放器和系统设置。节目播放器主要功能是解析播放列表,调度播放内容,完成图文及视频的渲染及动态效果呈现。控制器主要用于维护与服务器的连接并执行协议解析、数据通信等。系统设置包括:网络设置、亮度设置、LED 屏设置、加载设备编码等。

5 系统测试应用

完成系统软硬件设计,经过焊接和调试后,脱机 LED 控制系统的实物图如图 5 所示。

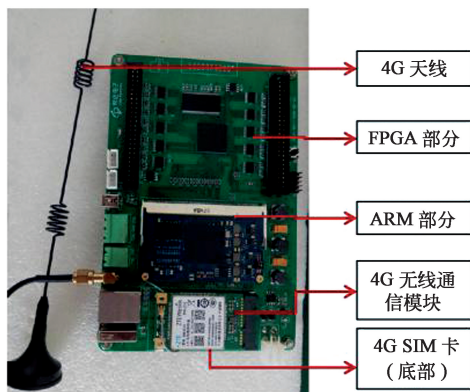


图 5 脱机 LED 控制系统实物图

Fig.5 Practicality of off-line LED control system

将 FPGA 扫描控制程序、U-Boot、Linux 镜像文件、文件系统下载到控制系统中,将控制系统与显示屏连接,进行无线功能测试。图 6 是 4G 脱机 LED 显示屏服务器控制软件界面。不同用户可通过用户名和密码登录到主界面,登陆成功后会显示该用户管理的脱机 LED 显示屏列表,界面实时自动刷新 4G LED 显示屏的在线状态,该控制软件可以同时控制多块显示屏显示内容的更新、发送大信息量的视频、图片文件或文字信息。经过传输高清视频测试,控制软件计算并显示出平均传输速度为 1.5 MB/s,平均传输速度明显大于 3G 时的传输速度(同场合下 3G 平均传输速度为 1 MB/s)。

4G 控制系统通过 4G 网络接收到高清视频后,自动播放,在 LED 显示屏上可正常显示,如图

7 4G LED 脱机屏显示效果。



图 6 4G 脱机 LED 显示屏服务器控制软件界面

Fig.6 Interface of 4G LED off-line screen server control software

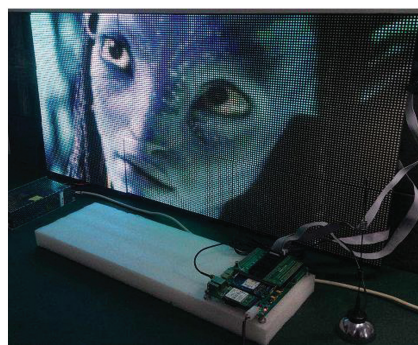


图 7 4G LED 脱机屏显示效果

Fig.7 Display effect of 4G LED off-line screen

经过多次测试证明 4G 数据传输准确无误,达到了传输速度快、数据无误、稳定性好的预期目标。

6 结 论

本文设计了基于 ARM 模块、外部存储器模块、FPGA 扫描控制模块、以及 4G-LTE 无线通信模块的脱机 LED 控制系统。在软件程序设计中,上位机与下位机采用 C/S 架构,给出了服务器端与客户端之间的网络通信流程以及上位机和下位机软件的设计思想。经多次系统测试,采用 4G-LTE 无线通信 LED 脱机控制系统,传输速度较快,可以实现大信息量高质量视频传输,解决传统 LED 显示屏受距离和内容限制的问题,拓展 LED 脱机屏的应用领域,实用性强,增加了 LED 显示屏发布信息的灵活性和便捷性。

参 考 文 献:

- [1] 王明. LED 电子显示屏的设计现状探讨[J]. 科技创新与应用, 2016(9): 102.
WANG M. Discussion on the design status of LED electronic display screen [J]. *Technology Innovation and Application*, 2016(9): 102. (in Chinese)
- [2] 郭志友, 刘松麟, 尉然, 等. 一种无线远程 LED 显示屏控制传输系统: 中国, CN101098474A[P]. 2008-01-02.
GUO Z Y, LIU S L, WEI R, *et al.* Wireless remote LED display screen control transmission system; Chinese Patent, CN101098474A [P]. 2008-01-02. (in Chinese)
- [3] SHEN F, XU G. Analysis and study of 4G mobile communication technology [J]. *Applied Mechanics & Materials*, 2014, 644-650: 4391-4394.
- [4] 尹柱霞, 郑喜凤, 于洪涛. ARM+FPGA 控制的 LED 脱机屏系统设计[J]. 液晶与显示, 2010, 25(2): 262-267.
YIN Z X, ZHENG X F, YU H T. Design of LED off-line screen system based on ARM+FPGA control [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2010, 25(2): 262-267. (in Chinese)
- [5] 苏海冰, 吴钦章. 用 SDRAM 在高速数据采集和存储系统中实现海量缓存[J]. 光学 精密工程, 2002, 10(5): 462-465.
SU H B, WU Q Z. Realization of mass storage by using SDRAM in a high speed data acquisition and storage system [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2002, 10(5): 462-465. (in Chinese)
- [6] 刘斌, 刘伟彦. 基于 Cortex-M3 的异步 LED 显示控制系统设计[J]. 计算机与现代化, 2012(7): 64-67.
LIU B, LIU W Y. Design of asynchronous LED display control system based on Cortex-M3 [J]. *Computer and Modernization*, 2012(7): 64-67. (in Chinese)
- [7] 张玉杰, 马立云, 张贺艳. 基于 ARM 和 FPGA 的 LED 显示屏控制系统的设计[J]. 计算机测量与控制, 2009, 17(12): 2429-2431.
ZHANG Y J, MA L Y, ZHANG H Y. Design of LED-screen display control system based on ARM and FPGA [J]. *Computer Measurement & Control*, 2009, 17(12): 2429-2431. (in Chinese)
- [8] 刘飞, 王瑞光, 陈伟. 基于互联网的异步 LED 显示屏集群管理系统的设计与实现[J]. 液晶与显示, 2014, 29(6): 969-975.
LIU F, WANG R G, CHEN W. Design and implementation of asynchronous LED display centralized management system based on internet [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2014, 29(6): 969-975. (in Chinese)
- [9] 罗剑锋. Boost 程序库完全开发指南[M]. 北京: 电子工业出版社, 2010: 493-507.
LUO J F. *Boost Library Complete Development Guide* [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2010: 493-507. (in Chinese)
- [10] 贾斌. 网络编程技巧与实例[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2001: 7-9.
JIA B. *Network Programming Skills and Examples* [M]. Beijing: People's Posts and Telecommunications Press, 2001: 7-9. (in Chinese)
- [11] 程琼, 广长林. 基于 ARM 图像的采集与 3G 无线传输研究与设计[J]. 湖北工业大学学报, 2013, 18(1): 43-45.
CHENG Q, GUANG C L. Research and design of image acquisition and 3G wireless transmission based on ARM [J]. *Journal of Hubei University of Technology*, 2013, 18(6): 43-45. (in Chinese)

作者简介: 唐娜娜(1992—), 女, 山东聊城人, 硕士研究生, 主要从事 LED 显示技术的研究。E-mail: tnn_personal@163.com