

基于FPGA的农田图像采集与3G无线传输系统设计*

刘龙申 沈明霞 孙玉文 陆明洲 熊迎军

(南京农业大学工学院, 南京 210031)

【摘要】 针对目前农田图像采集装置功耗大、成本高、图像无线传输速度慢的问题,设计了一套基于FPGA和3G无线通信技术的农田图像采集传输系统。该系统由农田图像采集终端和远程服务器组成,服务器与终端通过3G无线网络进行图像传输。研究了基于FPGA的JPEG压缩算法,实现了3G模块的驱动与远程数据通信。试验表明,系统能够快速采集图像并进行无线传输,传输一幅图像所需的时间约为5.42s,无丢帧现象。

关键词: 农田图像采集 3G无线传输 FPGA

中图分类号: S126 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2011)12-0186-05

Acquisition System and Wireless Transmission by 3G for Farmland Image Based on FPGA

Liu Longshen Shen Mingxia Sun Yuwen Lu Mingzhou Xiong Yingjun

(College of Engineering, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210031, China)

Abstract

According to the existing problem of high power consumption, high cost and low speed of wireless transmission for field image acquisition devices, a field image acquisition and transmission system based on FPGA and 3G wireless communication technology was designed. The system consisted of field image acquisition terminal and remote servers, which communicate with each other through the 3G wireless network for image transmission. The implementation of JPEG image compression algorithm based on FPGA was researched. The drive and data communication for 3G module had been achieved. The experiments showed that the system could acquire and transmit the image wirelessly in no time, and it needed about 5.42 s to transfer an image, frames were never dropped.

Key words Farmland image acquisition, 3G wireless transmission, FPGA

引言

农田信息的快速采集和处理是实现精细农业的重要基础和前提条件^[1-2],而农田图像信息是农田信息管理系统中关键信息之一,因此农田图像采集和传输是各种农业信息系统不可缺少的重要组成部分。在大范围的农田监测中,国内外主要采用卫星遥感、飞机航拍等技术采集农田图像。在小面积的农田监测中,多采用PDA、ARM、DSP

等技术进行图像采集^[3-6],但还存在功耗大、成本高等问题。FPGA可靠性强、功耗低、成本小、速度快,为农田图像采集系统的发展提供了一种新的解决方案。

目前短距离的数据无线通信方式以蓝牙、ZigBee和RFID技术为主,远距离无线通信主要是通过GPRS网络^[7]。目前,中国移动建成的GPRS网络支持的最高理论传输速率为171.2 Kb/s, ZigBee最高传输速率为250 Kb/s, WCDMA宽带网

收稿日期: 2011-03-14 修回日期: 2011-04-16

*江苏省普通高校研究生科研创新计划资助项目(CXZZ11_0655)、苏州市2010年科技发展计划资助项目(SN201003)、南京农业大学青年科技创新基金资助项目(KJ2010033)和江苏省科技支撑项目(BE2011336)

作者简介: 刘龙申, 博士生, 主要从事机器视觉与嵌入式技术研究, E-mail: liulongshen99@163.com

通讯作者: 沈明霞, 教授, 博士生导师, 主要从事机器视觉和信息农业研究, E-mail: mingxia@njau.edu.cn

数据传输速率达不到 384 Kb/s。由于受带宽的限制,通过 GPRS 传输图像时间延迟比较长。ZigBee 技术受传输距离的限制,适合应用于短距离无线传输。为了提高远距离图像无线传输的速度,本文采用 3G 无线通信技术。

本文结合 FPGA 和 3G 无线通信两种技术,设计农田图像采集与无线传输系统,提出一种功耗低、成本小、速度快的农田信息采集和传输方案。

1 系统设计

系统由农田图像采集终端和远程服务器组成,服务器与农田图像采集终端通过 3G 无线网络进行图像传输。

农田图像采集终端主要有 CMOS 摄像头、FPGA 和 3G 模块组成。实现农田图像采集、图像预处理、图像压缩和 3G 无线发送。FPGA 按功能划分为 OV 控制模块、SDRAM 控制模块、图像压缩模块和 3G 模块控制模块。远程服务器通过接入 Internet 实现农田图像的接收、数据库管理和网络发布。系统总体结构框图如图 1 所示。

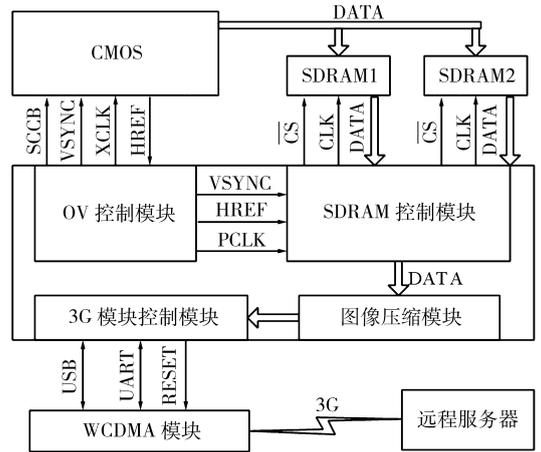


图 1 系统结构框图

Fig. 1 System structure chart

2 系统关键技术

2.1 农田图像采集

系统采用 OV9625 Color CMOS SXGA (1.3M Pixel) 相机进行图像采集。使用 FPGA 的 OV 控制模块实现对 OV9625 的控制和图像采样,OV9625 的控制时序图如图 2 所示。

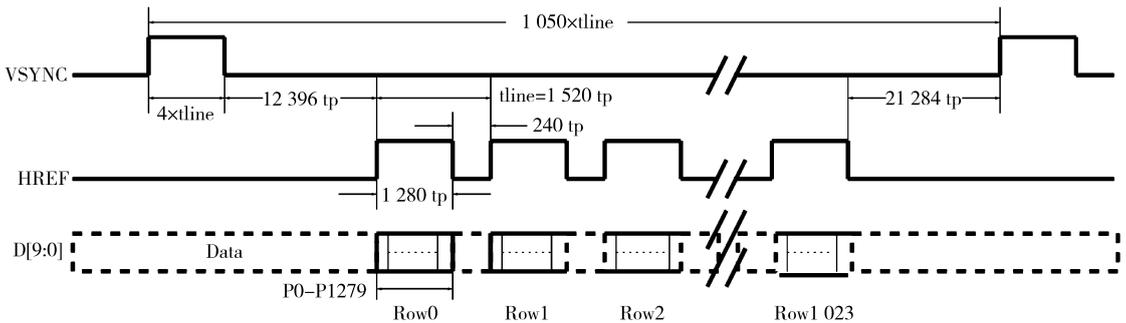


图 2 OV9625 控制时序图

Fig. 2 Frame timing of OV9625

为方便使用和节能,农田图像采集终端设置了手动和自动两种工作模式。手动模式是用户在远程服务器端点击图像采集的按钮后终端才开始工作,自动模式是用户在远程服务器上设定采集周期后,终端按照设定周期自动采集和发送图像。

2.2 图像压缩

为了减小图像无线传输的流量,提高传输速度,必须在无线传输前将图像压缩。使用最普遍且易于理解的连续色调静止帧压缩标准——JPEG 标准。这种标准定义了 3 种不同的编码系统:①有损基本编码系统,这个系统是以 DCT 为基础的并且足以应付大多数压缩方面的应用。②扩展的编码系统,这种系统面向的是更大规模的压缩、更高的精确性或逐渐递增的重构应用系统。③面向可逆压缩的无损独立编码系统。压缩过程包括 3 个连续步骤:离散余弦变换 (DCT) 计算、量化以及变长编码分配^[8]。

通常情况下,图像的高频信息对农作物长势和环境等信息的监测作用不是很大,本文采用基于 DCT 的有损 JPEG 压缩来获得更大的压缩比。JPEG 图像压缩流程如图 3 所示。

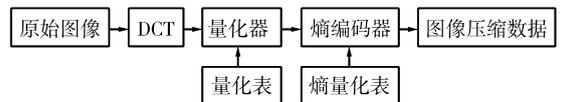


图 3 JPEG 图像压缩流程图

Fig. 3 Flow chart of JPEG image compression

JPEG 在编码时对每个 8×8 模块单元的亮度和色差信号矩阵进行二维 DCT 变换,其数学变换表达式为

$$F(u, v) = \frac{c(u)c(v)}{4} \sum_{x=0}^7 \sum_{y=0}^7 f(x, y) \cdot \cos \frac{(2x+1)u\pi}{16} \cos \frac{(2y+1)v\pi}{16} \quad (1)$$

$$\text{其中 } c(u) = \begin{cases} 2^{-1/2} & (u, v = 0) \\ 1 & (u, v \neq 0) \end{cases}$$

$$c(v) = \begin{cases} 2^{-1/2} & (u, v = 0) \\ 1 & (u, v \neq 0) \end{cases}$$

对于二维 DCT 的实现,若直接根据式(1)计算 8×8 二维 DCT,计算量比较大。为了便于在 FPGA 中实现二维 DCT 变换,本文采用快速 DCT 变换算法,将其按行和列转换为 2 个一维 DCT 公式,即

$$Q(u, y) = \frac{\sqrt{2}}{2} c(u) \sum_{x=0}^7 f(x, y) \cos \frac{(2x+1)u\pi}{16} \quad (2)$$

$$F(u, v) = \frac{\sqrt{2}}{2} c(v) \sum_{y=0}^7 Q(u, y) \cos \frac{(2y+1)v\pi}{16} \quad (3)$$

一维 DCT 变换的矩阵形式为^[9]

$$\begin{bmatrix} Y_0 \\ Y_2 \\ Y_4 \\ Y_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 91 & 91 & 91 & 91 \\ 118 & 50 & -50 & -118 \\ 91 & -91 & -91 & 91 \\ 50 & -118 & 118 & -50 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_0 + X_7 \\ X_1 + X_6 \\ X_2 + X_5 \\ X_3 + X_4 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_3 \\ Y_5 \\ Y_7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 126 & 106 & 71 & 25 \\ -106 & 25 & -126 & -71 \\ 71 & -126 & -25 & 106 \\ 25 & -71 & 106 & -126 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_0 - X_7 \\ X_1 - X_6 \\ X_2 - X_5 \\ X_3 - X_4 \end{bmatrix} \quad (5)$$

从式(4)及式(5)可以看出,用 FPGA 实现快速 DCT 算法,1 个八维的矩阵进行一维 DCT 变换,需要 22 个整数乘法器,那么 1 个二维 DCT 变换需要行变换和列变换 2 个一维 DCT 变换模块,即最少需要 44 个乘法器。本系统选用的 Cyclone III 系列 EP3C25 芯片上包含 66 个乘法器,满足系统需求。

2.3 远程无线传输协议设计

基于 TCP/IP 协议可有效保证信息采集终端与远程主机之间信息的准确传输^[10]。为了确保数据传输的实时性和准确性,本文基于 TCP/IP 协议结合实际应用中具体的需求制定了网络传输协议。

农田图像采集终端和远程服务器间传输的信息主要为农田图像信息和控制命令信息。根据终端和远程服务器间传输数据的特点,本系统的通信方式采用 Socket 同步阻塞通信,编码方式采用 ASCII 编码,传输信息所遵循的格式为

@ 信息类型 相关参数 \n

对于控制命令信息,直接以信息类型开始,图像信息以 @ 开始,所有信息均以回车换行符 \n 结束,控制命令信息名称由大写英文字符组成。

终端向远程服务器发送的控制命令信息类型如表 1 所示。

表 1 终端向远程服务器发送的控制命令类型

Tab.1 Types of command news which terminal sends to the remote server

信息名称	信息类型	相关参数
连接请求	REQUEST	远程服务器 IP 及端口
取消连接	END	无
开始发送	BEGIN	远程服务器 IP 及端口
发送完毕	FINISH	远程服务器 IP 及端口
终端信息	TERMINAL	终端 ID、远程服务器 IP 及端口

远程服务器向终端发送的控制命令信息类型如表 2 所示。

表 2 远程服务器向终端发送的控制命令信息类型

Tab.2 Type of command news which the remote server sends to terminal

信息名称	信息类型	相关参数
连接请求	LINK	终端 ID
取消连接	ENLINK	无
开始发送	BEGIN	无
发送完毕	FINISH	无
采集模式	MODEL	手动/自动模式、间隔时间

2.4 3G 模块程序设计

本系统采用华为 EM770W 无线模块传输图像。EM770W 内置 TCP/IP 协议栈,支持 WCDMA 协议规定的标准 AT 指令集和华为扩展 AT 指令集,通过 USB 接口发送 AT 命令,即可实现丰富的语音和数据业务等功能,是高速数据传输等各种业务的理想解决方案。

TCP 多连接的数据传输 AT 命令如下:

AT + CGDCONT = 1, "IP", "3GNET"

//PDP 设置环境命令,配置接入点

AT% IPINIT = 3GNET

//TCP 或 UDP 连接初始化,激活 3GNET 接入点

AT% IPOPEN = 1, "TCP", "211.87.1.21", 50000

//建立 TCP 连接 1

//211.87.1.21 为监控中心 IP 地址,端口号 50000

AT% IPOPEN = 2, "TCP", "211.87.1.21", 50001

//建立 TCP 连接 2

//211.87.1.21 为监控中心 IP 地址,端口号 50001

AT% IPSEND = 1, "picture001"

//向 TCP 连接 1 发送数据

AT% IPSEND = 2, "picture002"

//向 TCP 连接 2 发送数据

% IPDATA: 1, 10, picture001

//TCP 连接 1 主动上报的新数据,长度为 10

```
% IPDATA: 2,10,picture002
//TCP 连接 2 主动上报的新数据,长度为 10
AT% IPCLOSE = 1 //关闭 TCP 连接 1
AT% IPCLOSE = 2 //关闭 TCP 连接 2
```

为了降低终端功耗,3G 模块只有在用户需要时才被激活,其他时间处于睡眠状态。当需要模块进入睡眠状态时,在 FPGA 端将模块的串口接收端即 UART1_RX 和 UART2_RX 拉低,否则串口在位时不能进入睡眠。

2.5 数据传输程序设计

远程服务器通过 Socket 协议与终端进行数据通信。服务器 Socket 通信程序是基于 .NET 进行开发的。在 FPGA 上实现 Socket 通信的步骤为:①建立 SOPC 最小系统。②建立完善的 NIOS 系统。③建立 uClinux 交叉编译环境和编译 uClinux。④移植 uClinux image。⑤编写 Socket 通信程序。

远程服务器与终端通信程序流程图如图 4 所示。

3 试验结果及分析

在江苏省洪泽湖农场进行实地图像采集和 3G 无线传输,并与已有的基于 ARM9 和 GPRS 的农田

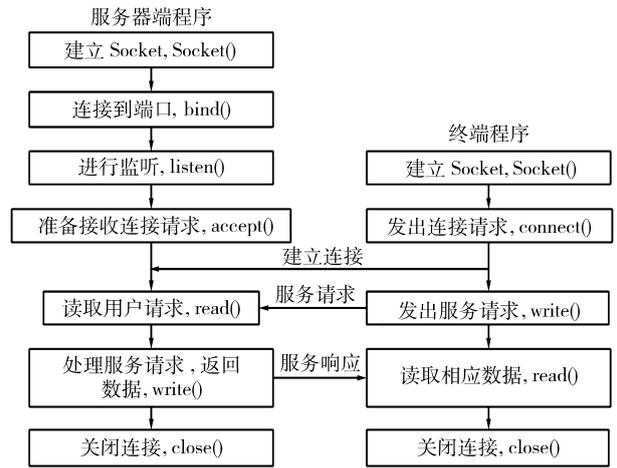


图 4 远程服务器与终端通信程序流程图

Fig. 4 Flow chart of communication between remote server and terminals

图像采集系统进行了对比试验。两个系统均采集了 10 幅农田图像,并记录了图像采集时间和图像大小,试验记录如表 3、4 所示。试验结果表明:本系统终端能够稳定地采集和上传农田图像,相对已有系统提高了图像采集和传输速度,无丢帧现象。

3.1 试验对比分析

系统对 3G 传输与 GPRS 传输进行了对比试验,利用 GPRS 传输一幅大小约 130 KB 的图像平均所需时间约为 187 s,而本系统仅需 5.42 s,大大提高

表 3 基于 ARM9 和 GPRS 系统试验结果

Tab.3 Record form of image acquisition time by ARM9 and GPRS

图像/BMP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
图像大小/KB	130	130	131	129	130	129	130	129	130	131
传输时间/s	187	188	188	186	187	186	187	186	187	188

表 4 基于 FPGA 和 3G 系统试验结果

Tab.4 Record form of image acquisition time by FPGA and 3G

图像/JPG	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
图像大小/KB	130	131	131	129	130	129	130	130	130	131
传输时间/s	5.42	5.56	5.59	5.24	5.40	5.17	5.41	5.40	5.42	5.58

了传输速度,满足了数据上传的实时性要求。图像以 ASC II 码进行传输,大小相同、格式不同的图像转换成 ASC II 码的数据量相同,所以图像传输速度取决于传输方式,不受图像格式影响。

3.2 数据传输延迟分析

在 WCDMA 宽带网中的语音、图像、数据以及视频通信,最高传输速率可达 384 Kb/s,理论上传输一幅 130 KB 左右的图像所用时间约 2.71 s,但本系统采集一幅图像平均所用时间为 5.42 s。图像传输延迟的原因主要有:受距离、环境等因素的影响,WCDMA 宽带网数据传输速率达不到 384 Kb/s;从

手动点击开始采集到终端开始发送图像,采集命令的发送、终端图像采集、预处理和压缩也要占用一定的时间;远程服务器的程序运行速度和网速也会影响图像传输的速率。

4 结束语

本文有效利用 FPGA 和 3G 无线通信技术的特性,设计了农田图像采集与无线传输系统。在实地试验中实现了快速采集农田图像的功能,并通过 3G 无线网络传输到远程服务器。试验中对使用 FPGA 及 3G 与 ARM9 及 GPRS 采集图像所用时间进行了

对比分析,计算了系统采集一幅农田图像平均所用运行,无丢帧现象,传输速率满足数据上传的实时性时间为 5.42 s。试验表明,该系统能够稳定可靠地要求。

参 考 文 献

- 1 Georg Steinberger, Matthias Rothmund, Matthias Rothmund, et al. Mobile farm equipment as a data source in an agricultural service architecture[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2009, 65(2): 238 ~ 246.
- 2 Bullock D S, Kitchen N R, Bullock D G. Multi-disciplinary teams—a necessity for research in precision agriculture systems [J]. Crop Sci., 2007, 47(5): 1765 ~ 1769.
- 3 Lam Y, Slaughter D C, Wallender WW, et al. Computer vision system for automatic control of precision furrow irrigation system[C]//2006 ASABE Annual Meeting, Paper No. 062078, 2006.
- 4 熊迎军,沈明霞,孙玉文,等. 农田图像采集与无线传输系统设计[J]. 农业机械学报, 2011, 42(3): 184 ~ 187.
Xiong Yingjun, Shen Mingxia, Sun Yuwen, et al. Design on system of acquisition and wireless transmission for farmland image[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(3): 184 ~ 187. (in Chinese)
- 5 沈明霞,丛静华,张祥甫,等. 基于 ARM 和 DSP 的农田信息实时采集终端设计[J]. 农业机械学报, 2010, 41(6): 147 ~ 152.
Shen Mingxia, Cong Jinghua, Zhang Xiangfu, et al. Design and implementation of terminal for agricultural data real-time acquisition based on ARM and DSP[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(6): 147 ~ 152. (in Chinese)
- 6 武永峰,宫志宏,刘布春,等. 基于远程监控的农业气象自动采集系统设计[J]. 农业机械学报, 2010, 41(10): 174 ~ 179.
Wu Yongfeng, Gong Zhihong, Liu Buchun, et al. Automatic collecting system of agro-meteorology information based on remote monitoring technique [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(10): 174 ~ 179. (in Chinese)
- 7 杨玮,李民赞,王秀. 农田信息传输方式现状及研究进展[J]. 农业工程学报, 2008, 24(5): 297 ~ 301.
Yang Wei, Li Minzan, Wang Xiu. Status quo and progress of data transmission and communication technology in field information acquisition[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(5): 297 ~ 301. (in Chinese)
- 8 Gonzalez R C, Woods R E. Digital image processing[M]. 2nd ed. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2006.
- 9 贺军. 基于 FPGA 的 JPEG 图像压缩芯片设计[D]. 成都: 电子科技大学, 2003.
- 10 Guimaraes A A, Saraiva A M. Analysis of the ISO11783 CAN-bus based protocol: its interpretation and usage on a precision farming application [C] // Proceedings of the 7th International Conference on Precision Agriculture and other Precision Resources Management, 2004.

(上接第 142 页)

- 14 曹文胜,吴集迎,鲁雪生,等. 撬装型混合制冷剂液化天然气流程的热力学分析[J]. 化工学报, 2008, 59(增刊 2): 53 ~ 59.
Cao Wensheng, Wu Jiying, Lu Xuesheng, et al. Thermodynamic analysis on mixed refrigerant cycle of small scale natural gas liquefaction process in skid-mounted package[J]. Journal of Chemical Industry and Engineering, 2008, 59(Supp. 2): 53 ~ 59. (in Chinese)
- 15 陈国邦,包锐,黄永华. 低温工程技术·数据[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- 16 赵敏,厉彦忠. 丙烷预冷混合制冷剂液化流程中原料气与制冷剂匹配研究[J]. 西安交通大学学报, 2010, 44(2): 108 ~ 112.
Zhao Min, Li Yanzhong. Analysis for selecting mixed refrigerant composition based on raw natural gas in propane pre-cooled mixed refrigerant liquefaction process[J]. Journal of Xian Jiaotong University, 2010, 44(2): 108 ~ 112. (in Chinese)
- 17 尹全森,李红艳,季中敏,等. 混合制冷剂循环的级数对制冷性能的影响[J]. 化工学报, 2009, 60(11): 2689 ~ 2693.
Yin Quansen, Li Hongyan, Ji Zhongmin, et al. Effect of number of stages of mixed refrigerant cycle on refrigeration performanc[J]. Journal of Chemical Industry and Engineering, 2009, 60(11): 2689 ~ 2693. (in Chinese)
- 18 石玉美,汪荣顺,顾安忠,等. 混合制冷剂循环液化天然气流程焓分析[J]. 工程热物理学报, 2003, 24(4): 564 ~ 566.
Shi Yumei, Wang Rongshun, Gu Anzhong, et al. Exergy analysis of mixed refrigerant cycle to liquefy the natural gas[J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2003, 24(4): 564 ~ 566. (in Chinese)
- 19 Remeljeja C W, Hoaldley A F A. An exergy analysis of small-scale liquefied natural gas (LNG) liquefaction processes[J]. Energy, 2006, 31(12): 2005 ~ 2019.