

基于 WMSN 的作物环境与长势远程监测系统*

杨信廷¹ 吴滔^{1,2} 孙传恒¹ 刘燕德² 周超¹

(1. 国家农业信息化工程技术研究中心, 北京 100097; 2. 华东交通大学机电工程学院, 南昌 330013)

摘要: 针对目前田间监测主要是物理数据而缺少多媒体数据的问题, 设计一种基于无线多媒体传感器网络(WMSN)的作物环境与长势远程监测系统。阐述了该系统存在的显著优势; 设计了 Hi3512 和 CC2430 硬件电路关键部分和软件系统, 解决了作物环境信息与多媒体长势信息融合的关键问题; 实现了 4 间温室内不同监测点温湿度、光照度及 4 路视频信号的动态监测。实验结果表明, 该作物环境与长势远程监控系统稳定可靠, 实时精确, 能够实现多媒体数据采集、H.264 压缩、3G 传输、PC 显示和温湿度、光照度传感器节点的 ZigBee 组网。

关键词: 无线多媒体传感器网络 作物生产信息 嵌入式系统 视频压缩 远程监控

中图分类号: S24; TN919.72 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2013)01-0167-07

Remote Monitoring System of Crop Environment and Growing Based on WMSN

Yang Xinting¹ Wu Tao^{1,2} Sun Chuanheng¹ Liu Yande² Zhou Chao¹

(1. National Engineering Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100097, China

2. School of Mechatronics Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: The current field monitoring is mainly physical data and lack of multimedia data. A remote monitoring system of crop environment and growing was designed based on WMSN. Firstly, the advantages of the proposed system were analyzed. Then, the key parts of the hardware circuit of Hi3512 and CC2430 and software systems were designed. The key issues of fusion of the crop physical environment and multimedia growing information were resolved. Finally, the temperature and humidity, light intensity, and four-channel video signal in different monitoring points in the four greenhouses were monitored dynamically. The results show that the environment of the crop growing remote monitoring system is stable and accurate. Multimedia data acquisition, H.264 compression, 3G transmission, display on PC could be achieved, together with ZigBee networking including temperature, humidity and light intensity sensor nodes.

Key words: WMSN Crop production information Embedded system Video compression Remote control

引言

我国是农业大国,也是农产品出口大国,农产品质量安全问题已成为社会关注的焦点和热点,从而面临着前所未有的机遇与挑战。建立一个信息完整的质量安全溯源体系是提高国民农产品消费信心和农产品出口声誉的重要途径。农作物生产过程

是农产品质量安全监测的第一步,实时动态采集作物生产过程环境信息与长势信息成为关键问题之一^[1]。传统的无线传感器网络(WSN)只能满足现时环境信息的监测,而不能满足现代设施农业对作物可视化长势监测的要求。因此,将 WSN 和多媒体结合,组成无线多媒体传感器网络(WMSN)对农作物环境信息及长势信息进行监测成为有意义的研究

方向^[2]。

近几年来,国内外专家对田间环境采集信息进行了大量基于 WSN 的研究^[3-10],大多数研究仅限于环境文本信息,一般数据量较小,便于处理及传输,如:温湿度、土壤电导率、光照强度、CO₂ 含量、O₂ 含量等^[11-15]。本文研究的基于 WMSN 的作物环境与长势远程监测系统不仅能采集作物生产环境中的各个环境信息详细参数,而且能采集作物的长势、图片和视频信息,信息内容丰富,PC 端监控便捷,数据直接存储于服务器,便于数据分析决策。本系统采用 CC2430 对作物环境信息 ZigBee 组网监测,用 Hi3512 对作物长势视频数据进行 H.264 视频压缩,最终通过 3G 模块将作物环境数据与长势视频发送到监控中心,实现以信息流通为中心的生产、流通、销售、监管一体化农产品质量安全溯源体系。

1 监测系统基本构架

作物环境与长势远程监测系统由基于 Hi3512 芯片的系统开发平台和基于 ZigBee 技术的无线传感器网络监控平台组成^[16]。整个系统包括:前端采集系统测量作物生产过程中的温湿度、光照强度以及长势视频信息;中间为传感器节点 ZigBee 组网及视频数据处理 H.264 压缩;后端为环境信息及长势视频 3G 传输及 PC 端显示,作物环境和长势远程监测系统基本构架如图 1 所示。通过操作 PC 端界面控制现场传感器节点和采集摄像头采集模式,实现对作物的环境信息及长势信息远程实时动态监测。系统支持 H.264 视频压缩标准,支持 3 种以上环境信息感知,包括:温度、湿度和光照强度。

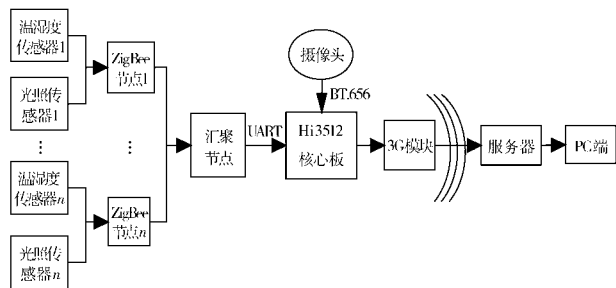


图 1 作物环境和长势远程监测系统基本构架框图

Fig. 1 Basic frame diagram of remote monitoring system of crop environment and growth

2 系统硬件设计

作物环境与长势远程监测系统的硬件构成包括 2 个基本模块:文本信息采集模块和视频信息采集模块。文本信息处理主要由基于 CC2430 的无线传感器网络组成,传感器汇聚节点通过串口与核心板

通信;视频信息处理主要由基于 Hi3512 的 H.264 视频压缩等功能组成,摄像头采集的数据通过 TW2815 进行模数转换后进入核心板,系统硬件结构如图 2 所示。

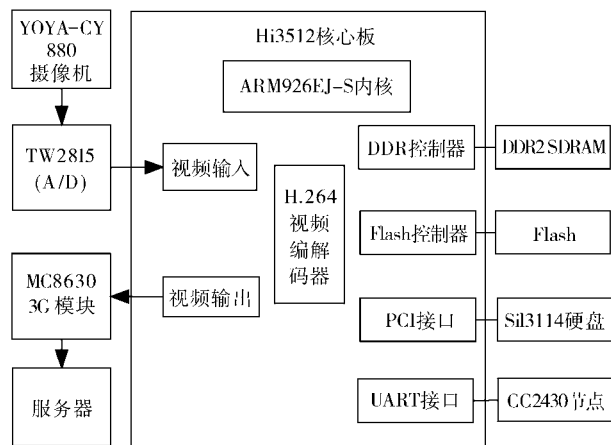


图 2 系统硬件结构框图

Fig. 2 Structure diagram of system hardware

2.1 文本信息处理模块

CC2430 芯片沿用了以往 CC2420 芯片的架构,每个芯片上包含 ZigBee 射频(RF)前端、内存和工业级 51 微控制器。田间文本信息包括作物生产环境中的温湿度和光照,利用 WSN 对田间进行检测。传感器节点由 CC2430 模块、CC2591 功放模块、电源模块、时钟模块、电压转换模块、LED 模块组成。CC2430 把传感器采集的各路数据信号进行模数转换,然后进行处理,通过 CC2591 功放芯片发给协调器节点,CC2430 与 CC2591 的硬件原理图如图 3 所示。

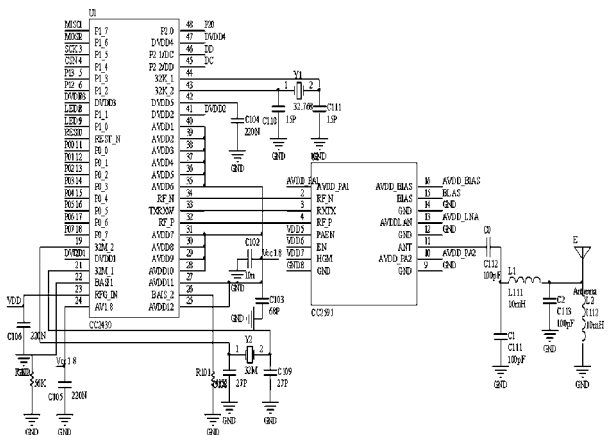


图 3 CC2430 与 CC2591 硬件原理图

Fig. 3 Hardware diagram of CC2430 and CC2591

CC2430 外接 32 MHz 的晶振 XTAL1,与 2 个负载电阻器一起用于 32 MHz 的晶体振荡器。XTAL2 和电容 C1、C2 用来产生 32.768 kHz 的时钟,该时钟为 CC2430 和 CC2591 在休眠的时候提供时序。CC2591 芯片的 HGM、EN、PA_EN 引脚与 CC2430 闲

置的 I/O 口相连,EN 和 PA_EN 引脚为 CC2591 功耗模式引脚,正常工作模式时为高电平,进入低功耗模式下为了减少功耗设置为低电平。经实验证明,采用 CC2591 以后,ZigBee 网络的通信距离在开阔的地带可达到 300 m 以上^[17]。CC2430 集成了一个工业级的增强 8051 单片机内核,增强 8051 仍使用原始指令集,其执行的数据快于原始标准。

系统节点温湿度传感器选用 4 管脚 SHT71 数字温湿度传感器,其中串行时钟输入(SCK)用于 CC2430 和 SHT71 之间通信同步,串行数据(DATA)三态门用于数据读取,避免信号冲突,微处理器应驱动 DATA 在低电平,需要一个上拉电阻将信号变为高电平。系统节点光照强度传感器选用一款 16 位数字输出型环境光照传感器 BH1750,其中,SCL 和 SDA 为 I²C 接口端,DVI 为内部存储器异步重设端(供电后设为“L”),ADDR 用来缓冲内部测试的 3 种状态,CC2430 与温湿度传感器 SHT71 和 BH1750 光照传感器应用电路如图 4 所示。

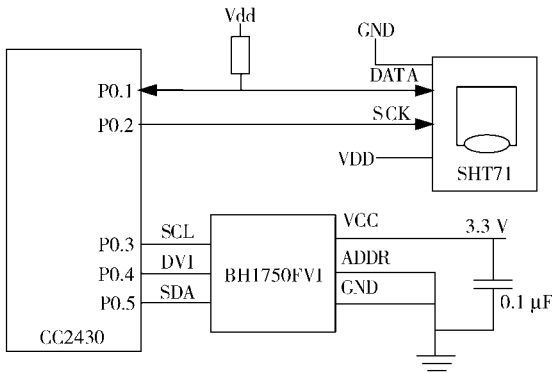


图 4 传感器应用电路

Fig. 4 Application circuit of sensor

传感器节点包括传感器模块和无线模块,无线模块内集成了射频模块、处理器、存储器、电池模块等,传感器采集的数据由处理器模块控制,采集的数据通过射频模块发送到汇聚节点,无线传感器节点如图 5 所示。

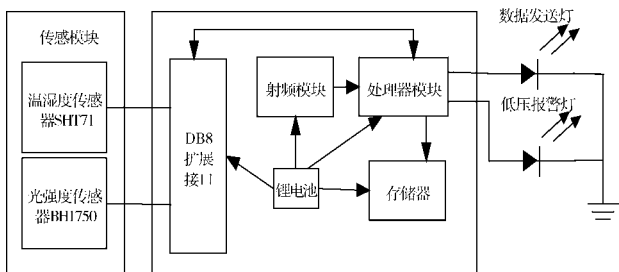


图 5 无线传感器节点结构框图

Fig. 5 Wireless sensor node

2.2 视频信息处理模块

Hi3512 是一款基于 ARM9 处理器内核和视频

硬件加速引擎的高性能通信处理器,其有高集成、可编程、支持 H. 264 等多协议的优点,可应用于实时视频通信、数字图像监控等领域。田间视频信息处理,包括视频文件采集、解码、压缩、传输、存储等过程,如图 6 所示。摄像头采集的模拟视频信号,通过 TW2815 进行 A/D 转换后,数字视频信号进入 Hi3512 芯片,进行 H. 264 视频压缩,产生的 H. 264 视频码流经 MC8630 模块发送。

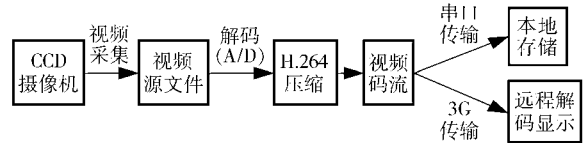


图 6 视频文件采集、解码、压缩、传输、存储流程图

Fig. 6 Flow chart of video files collection, decoding, compression, transport and storage

Hi3512 芯片收到视频前端编码完成 4 路模拟视频信号编码产生的 4 路数字视频数据,经数据处理后,进行 H. 264 编码,经 Hi3512 芯片编码后的视频流可以通过 3G 模块进行远程传输或 PCI-SATA 电路存储于硬盘之中。Hi3512 还可以将 BT. 656 YUV 4:2:2 格式的视频信号直接转换成 VGA 格式输出,外接显示器显示。4 路视频信号输入与 1 路视频输出如图 7 所示。

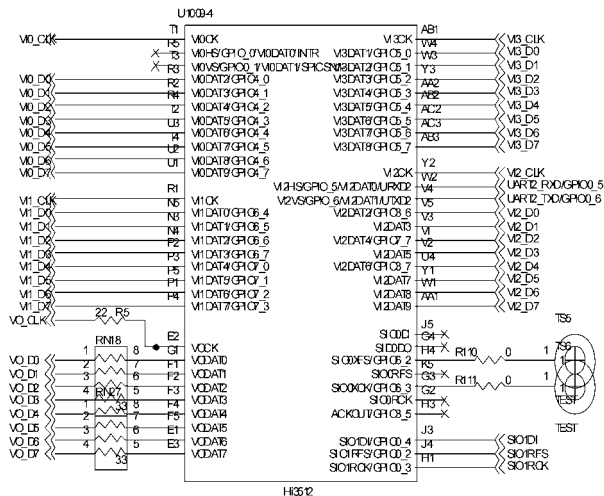


图 7 Hi3512 视频输入与输出图

Fig. 7 Input and output of Hi3512 video

3 系统软件设计

3.1 文本信息处理模块

3.1.1 ZigBee 组网

作物环境监测中无线传感器节点软件设计既要满足系统实用需求,也要满足长时间系统能耗需求。实际应用中,ZigBee 通信过程的能耗远大于其他过程中消耗的能量,因此软件设计中减少 ZigBee 模块通信时间是最好的节能方法之一。CC2430 有多种

唤醒睡眠模式的方式,合理设置传感器节点的休眠状态,能满足各个节点数据采集的次数,完成节点的相应采集任务,软件流程如图8所示^[18]。

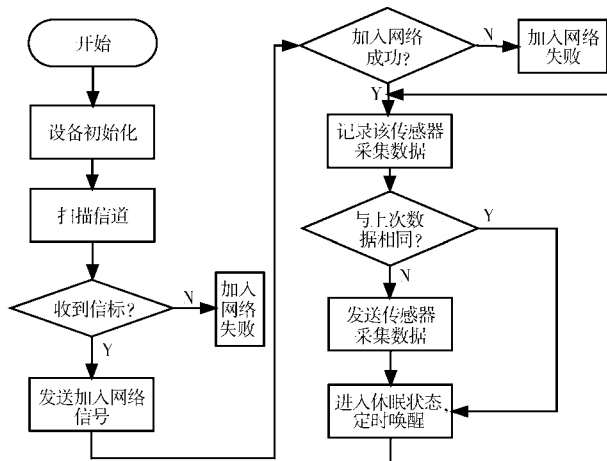


图8 传感器节点工作流程图

Fig. 8 Flow chart of sensor node

3.1.2 SHT71 温湿度传感器

SHT71 的供电电压为 2.4 ~ 5.5 V, 上电后, 需等待 11 ms, 穿过“休眠”状态。SCK 用于 CC2430 与 SHT71 之间通信同步。DATA 三态门用于数据读取, DATA 在 SCK 时钟下降沿后改变状态, 且在 SCK 上升沿有效。数据通信时, 在 SCK 高电平时, DATA 要保持稳定。当系统发出测量指令时, SHT71 会根据相应时序实现相应初始化、采集和通信功能。

3.1.3 BH1750 光照强度传感器

CC2430 资源中不带有 I²C 总线接口, 但 BH1750FVI 是通过标准 I²C 接口通信的, 因此通过 I/O 口模拟 I²C 的方法对 BH1750 进行设置和数据读取操作。模拟部分包括: 发送起始和停止位、接收和发送确认位、接收和发送数据^[19]。实现向无子地址器件发送数据和向无子地址器件读取多字节数据

的功能, 随后访问 BH1750, 实现 CC2430 向 BH1750 发送控制命令和 CC2430 向 BH1750 读取数据等功能。

3.2 视频信息处理模块

3.2.1 视频输入

视频输入单元 VIU 将摄像头采集的信号通过 TW2815 芯片进行 A/D 转换, 产生的数字信号通过 Hi3512 的 BT. 656 接口接收, 并存入指定的内存区域, 且 VIU 将视频图像数据水平 1/2 缩小和色度重采样。视频输入单元功能框图如图 9 所示。

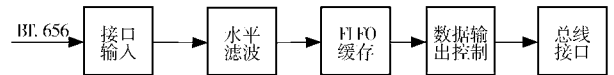


图9 视频输入单元功能框图

Fig. 9 Function diagram of video input units

VIU 支持多种时序输入的视频信号, 它将采集到的视频数据存储到内存区域中, 系统可以配置不同的功能模式, 从而可以适应不同的外部输入视频接口, 因此支持几种外部输入设备。VIU 支持 BT. 656 YCbCr 4:2:2 标准的像素时序、行时序、帧时序, YCbCrz 中 Y 为亮度分量, Cb 为蓝色色度分量, Cr 为红色色度分量。本文采用行时序传输。

BT. 656 规定在 PAL 下, 一行的整个采集素为 864, 其中包括行消隐区, 同步信号集成在数据流中, SAV 为有效行数据开始, EAV 为有效行数据结束。在视频数据流中, FF0000 为图像编码的数据保留字节, 是非图像区, FF0000 紧接着就是 SAV 或 EAV, BT. 656 行数据流格式如表 1 所示, 整行时序即: 行消隐期、定时基准码、720 有效像素 YCbCr4:2:2、定时基准码、行消隐期。在 SAV 和 EAV 特殊字节中, Bit4 为特殊位“H”, “H”区分 SAV 还是 EAV, Bit5 为垂直消隐位“V”, Bit6 为场指示位“F”, 对 SAV/EAV 格式设定, 选择不同行传输模式。

表1 BT. 656 YCbCr 4:2:2 行数据格式

Tab. 1 Data format line of BT. 656 YCbCr 4:2:2

行消隐期		定时基准码				720 有效像素 YCbCr4:2:2					定时基准码				行消隐期		
...	10	FF	00	00	SAV	Cb0	Y0	Cr0	Y1	...	Y719	FF	00	00	EAV	80	...

3.2.2 视频压缩

视频压缩是对视频进行 H. 264 编码, 得到压缩视频流的过程。使终端设备视频能连续显示, 要求处理器在 1 s 内能够压缩编码且通过 3G 网络传输 25 帧左右的图像。实际情况下处理器在 1 s 只能处理 5 帧左右的图像, 只有视频压缩后才能满足监控的实时性。

H. 264 编码器采用变换和预测的混合编码, 输

入的帧以宏块为单位被编码器处理。首先以帧内或帧间预测编码的方法获得预测值 P , 然后当前图像 F_n 减去预测值 P 得到残差块, 经过变换 T , T 经过量化 Q 得到一组变换系数 X , 经过重排序与熵编码, 与解码所需要的信息一起组成压缩后的码流 NAL, NAL 供给传输与存储使用。H. 264 的编解码流程如图 10 所示, ME 为运动估计, MC 为运动补偿^[20-22]。

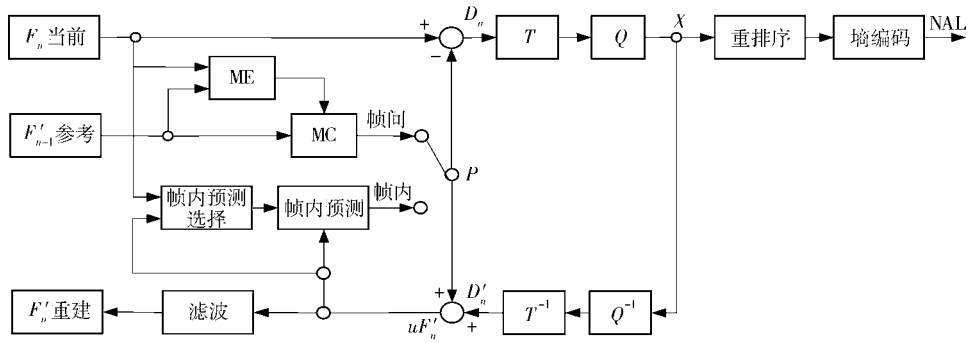


图 10 H.264 编解码流程图

Fig.10 Flow chart of H.264 coding and decoding

3.3 信息融合

信息融合能将采集的数据压缩,减少数据冗余,降低传输过程带来的能量消耗。信息融合的算法针对不同的应用场景、不同的级别,有着不同的方法。本系统中汇聚节点收集到传感器数据后,通过串行接口与 Hi3512 核心板相连,实现板级的作物环境信息与作物长势信息融合,统一通过命令控制 Hi3512 芯片对文本和视频信息进行调度。合理地 Hi3512 核心芯片进行管理和调度,可以降低能耗,减少丢包率,提高采集效率和系统鲁棒性。

采集处理后的文本与视频信息均存储在 Hi3512 核心板指定内存空间里。当接受发送命令时,H.264 压缩的视频码流与汇聚的文本信息会按照 8 位数字信号的模式,由指定内存发送到 PDIUSB12 芯片,输出通用串口总线与选用的中兴 3G 模块 MC8630 相连,文本和视频信号发送流程如图 11 所示。系统测量的作物长势视频和环境文本信息可以由 MC8630 模块传输到远程监控中心。

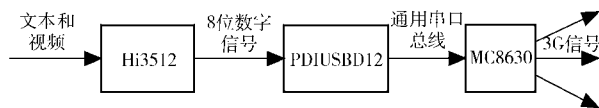


图 11 信息融合 3G 发送流程图

Fig.11 Flow chart of 3G sending information fusion

4 系统实验测试

系统的田间实验于 2012 年 6 月在北京市农林科学院的 4 间温室中进行。监控中心位于距温室 500 m 左右的办公室,4 个温室相隔 80 m 左右,每个温室长约 30 m,宽约 8 m,每个温室中布置了 1 个红外球形摄像头采集视频数据。传感器节点的部署原则是:节点能覆盖整个检测区域且减少节点冗余;节点采集的信号能准确及时传递到汇聚节点;最大限度的延长网络单个节点能量寿命。单个温室属于小范围内无线传感器网络,采用确定性节点部署方式,每个温室部署 6 个传感器节点,实验持续了 1 个月。

4.1 环境信息远程监测

温湿度数据、光照数据每 1 h 采集一次,图 12、图 13 分别是 2012 年 6 月 15 日采集到的温湿度及光照强度数据。由图 12 可知,15:00 时温度值最高达到 37℃,5:00 时温度最低为 16.6℃;5:00 时湿度最高达 79%,而 15:00 和 16:00 时湿度并列最低为 25%。由图 13 可知,8:00 前和 17:00 后光照强度最低,为 0 W/m²,13:00 达到光照强度最高,为 821 W/m²。

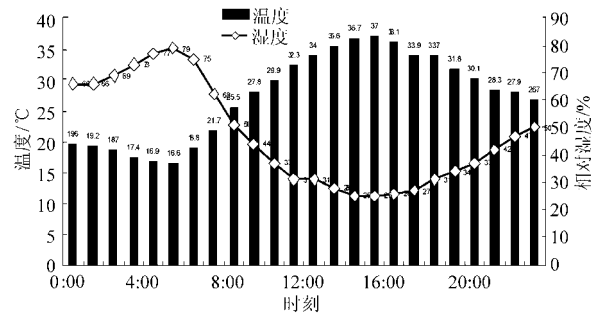


图 12 温湿度曲线

Fig.12 Curves of temperature and humidity

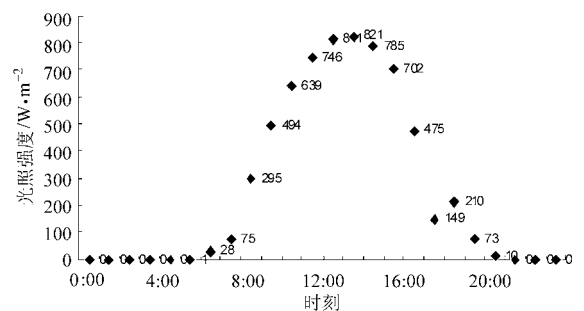


图 13 光照强度曲线

Fig.13 Curves of light intensity

4.2 长势信息远程监测

视频采集设置为每 1 h 采集 10 s,采集后的视频通过压缩等步骤后,发送到监控中心服务器端。通过客户 PC 端输入控制命令,同时打开 4 路摄像头进行数据采集,视频采集的分辨率为 352 × 288,即标准的 CIF 格式、25 帧/s 的 PAL 式视频模式,压缩后产生 H.264 视频码流保存成文件,压缩前的理论

值按 YUV4:2:2 的格式计算。10 s 视频的初始值大小为: $10(s) \times 25(\text{帧}) \times 352 \times 288 \times 3/2 = 38\,016\text{ KB} \approx 37.125\text{ MB}$, H.264 压缩后压缩值如表 2 所示。

表 2 系统 4 通道 H.264 编码性能

Tab.2 Performance of system four-channel H.264

通道	时间/ s	PAL 制 /帧·s ⁻¹	理论值/ MB	压缩值/ KB	压缩比
1	10	25	37.125	316	117
2	10	25	37.125	293	127
3	10	25	37.125	325	114
4	10	25	37.125	288	129

压缩后 10 s 视频容量约为 300 KB, 便于 3G 模块进行传输, 能满足系统设计需求, 在 PC 客户端对 4 个温室进行监控, 如图 14 所示(温室玉米育苗期、温室定量渗灌室、温室黄瓜成长期、温室番茄结果期)。

5 结束语

农作物生产履历信息是农产品食品安全溯源的关键指标之一, 本文以无线多媒体传感器网络为基

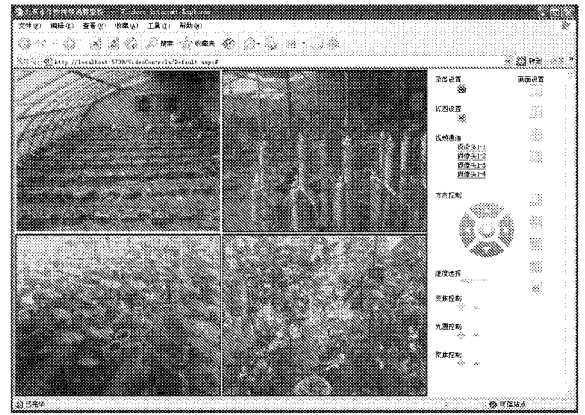


图 14 PC 端 4 路视频监控图

Fig.14 Diagram of four-channel video monitoring on PC

础, 建立了作物环境信息与长势视频信息远程监控系统, 结合测试实际情况对田间温湿度、光照强度、图片、视频信息进行了远程采集。系统能根据实时需求, 增加田间作物的测量参数指标, 并能在监控中心 PC 客户端对前端测量参数显示和对测量模式进行选择操作。作物生产履历信息的成功采集, 一方面可供农业专家系统对自然灾害防御、农作物病虫害进行分析, 另一方面可为农产品后期可视化溯源提供理论及数据依据。

参 考 文 献

- 1 宋树民. 基于 ARM 的温室作物长势远程视频监测系统研究[D]. 重庆: 西南大学, 2009.
- 2 Antonio-Javier Garcia-Sanchez, Felipe Garcia-Sanchez, Joan Garcia-Haro. Wireless sensor network deployment for integrating video-surveillance and data-monitoring in precision agriculture over distributed crops [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2011, 75(2): 288 ~ 303.
- 3 Víctor-M Sempere, Salvador Santonja. Integrated sensor and management system for urban waste water networks and prevention of critical situations [J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2011(3): 102 ~ 109.
- 4 López Riquelmea J A, Sotoa F, Suardáza J. Sensor networks for precision horticulture in southern Spain [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2009, 68(1): 25 ~ 35.
- 5 Matese A, Di Gennaro S F, Zaldei A, et al. A wireless sensor network for precision viticulture: the NAV system [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2009, 69(1): 51 ~ 58.
- 6 M Nesa Sudha, Valarmathi M L, Anni Susan Babu. Energy efficient data transmission in automatic irrigation system using wireless sensor networks[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2011, 78(2): 215 ~ 221.
- 7 Zheng Lihua, Li Minzan, Wu Caicong. Development of a smart mobile farming service system [J]. Mathematical and Computer Modelling, 2011, 54(3~4): 1194 ~ 1203.
- 8 韩华峰, 杜克明, 孙忠富, 等. 基于 ZigBee 网络的温室环境远程监控系统设计与应用[J]. 农业工程学报, 2009, 25(7): 158 ~ 163. Han Huafeng, Du Keming, Sun Zhongfu, et al. Design and application of remote monitoring system based on the the ZigBee networks greenhouse environment[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(7): 158 ~ 163. (in Chinese)
- 9 郭斌, 钱建平, 张太红, 等. 基于 Zigbee 的果蔬冷链配送环境信息采集系统[J]. 农业工程学报, 2011, 27(6): 208 ~ 213. Guo Bin, Qian Jianping, Zhang Taihong, et al. The Zigbee's fruit and vegetable cold chain distribution of environmental information collection system[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(6): 208 ~ 213. (in Chinese)
- 10 李震, Wang Ning, 洪添胜, 等. 农田土壤含水率监测的无线传感器网络系统设计[J]. 农业工程学报, 2010, 26(2): 212 ~ 217. Li Zhen, Wang Ning, Hong Tiansheng, et al. Farmland soil moisture content monitoring wireless sensor network system design [J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(2): 212 ~ 217. (in Chinese)
- 11 蒋鹏. 基于无线传感器网络的湿地水环境数据视频监测系统[J]. 传感技术学报, 2009, 22(2): 244 ~ 248. Jiang Peng. Wetland water environment based on wireless sensor network the data video monitoring system[J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2009, 22(2): 244 ~ 248. (in Chinese)
- 12 杨玮, 吕科. 基于 ZigBee 技术的温室无线智能控制终端开发[J]. 农业工程学报, 2010, 26(3): 198 ~ 202.

- Yang Wei, Lü Ke. Control based on ZigBee technology for greenhouse wireless smart terminal development[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(3): 198 ~ 202. (in Chinese)
- 13 王翥, 魏德宝, 王玲, 等. 基于 WSN 的温室大棚温湿度监测系统的设计[J]. 仪表技术与传感器, 2010(10): 45 ~ 48.
Wang Zhu, Wei Debao, Wang Ling, et al. Based WSN greenhouse temperature and humidity monitoring system design[J]. Instrument Technique and Sensor, 2010(10): 45 ~ 48. (in Chinese)
- 14 张荣标, 谷国良, 冯友兵. 基于 IEEE 802.15.4 的温室无线监控系统的通信实现[J]. 农业机械学报, 2008, 39(8): 119 ~ 122, 127.
Zhang Rongbiao, Gu Guoliang, Feng Youbing. Communication system based on a IEEE 802.15.4 the greenhouse wireless monitoring[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(8): 119 ~ 122, 127. (in Chinese)
- 15 骆凯, 李森, 胡泽林. 基于 WSN 的农业信息远程监控系统的设计与实现[J]. 自动化与仪器仪表, 2008(4): 14 ~ 17.
Luo Kai, Li Miao, Hu Zelin. Design and implementation of WSN-based remote monitoring system of agricultural information[J]. Automation and Instrumentation, 2008(4): 14 ~ 17. (in Chinese)
- 16 曹雨, 吴云, 赵勇, 等. 基于 Hi3511 视频监控系统的设计与实现[J]. 计算机工程与设计, 2009, 30(20): 4 592 ~ 4 595, 4 602.
Cao Yu, Wu Yun, Zhao Yong, et al. Design and implementation based the Hi3511 video surveillance system[J]. Computer Engineering and Design, 2009, 30(20): 4 592 ~ 4 595, 4 602. (in Chinese)
- 17 蔡文晶, 秦会斌, 程春荣. 基于 CC2430 片内温度传感器的温度监测系统[J]. 电子器件, 2010, 33(3): 45 ~ 47.
Cai Wenjing, Qin Huibin, Cheng Chunrong. Temperature monitoring system based on the CC2430 chip temperature sensor[J]. Electronic Devices, 2010, 33(3): 45 ~ 47. (in Chinese)
- 18 王黎丽, 陈曾杰. 基于 ZigBee 的温湿度测量系统[J]. 中国新技术新产品, 2011(16): 12 ~ 13.
Wang Lili, Chen Zengjie. ZigBee temperature and humidity measurement system[J]. New Technology and New Products, 2011(16): 12 ~ 13. (in Chinese)
- 19 王建, 毛腾飞, 陈英革. 基于 BH1750 芯片的测光系统设计与实现[J]. 常熟理工学院学报, 2011, 25(2): 117 ~ 120.
Wang Jian, Mao Tengfei, Chen Yingge. Based the BH1750 chip metering system design and implementation[J]. Changshu Institute of Technology, 2011, 25(2): 117 ~ 120. (in Chinese)
- 20 于欣, 郭娟. 面向 3G 的 H.264/AVC 压缩视频通信技术[J]. 河北大学学报, 2010, 30(3): 333 ~ 336.
Yu Xin, Guo Juan. H.264/AVC compressed video communication technology for 3G[J]. Hebei University of Technology, 2010, 30(3): 333 ~ 336. (in Chinese)
- 21 毕厚杰. 新一代视频压缩编码标准——H.264/AVC[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2008.
- 22 夏小为. 无线多媒体传感器节点的设计与实现[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2010.
Xia Xiaowei. Design and implementation of wireless multimedia sensor nodes[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2010. (in Chinese)

~~~~~

(上接第 178 页)

- 11 中国科学院地理科学与资源研究所. 一种全方位多角度测定平台: 中国, 02160132. 1 [P]. 2004-07-21.
- 12 北京师范大学. 便携式手动多角度观测架: 中国, 200910077927 [P]. 2009-07-08.
- 13 北京农业智能装备技术研究中心. 移动多角度观测平台及使用其的观测方法: 中国, 101726733A [P]. 2010-06-09.
- 14 Wang Z, Coburn C A, Ren X, et al. Assessment of soil surface BRDF using an imaging spectrometer[C] // Proceedings of SPIE, Belgium, 2010.
- 15 Wang Z, Coburn C A, Ren X, et al. Effect of soil surface roughness and scene components on soil surface bidirectional reflectance factor[J]. Canadian Journal of Soil Science, 2012, 92(2): 297 ~ 313.
- 16 李小文. 地物的二向性反射和方向谱特征 [J]. 环境遥感, 1989, 4(1): 67 ~ 72.  
Li Xiaowen. The two reflective and directional spectrum characteristics of objects[J]. Remote Sensing of Environment, 1989, 4(1): 67 ~ 72. (in Chinese)
- 17 Coburn C A, Peddle D R. A low-cost field and laboratory goniometer system for estimating hyperspectral bi-directional reflectance [J]. Canadian Journal of Remote Sensing, 2006, 32(3): 244 ~ 253.