

# 基于 ZigBee 的密闭式 LED 植物工厂监控系统

刘 彤, 李 尧, 贺宏伟, 马建设

(清华大学 深圳研究生院/深圳市 LED 封装重点实验室, 广东 深圳 518055)

**摘 要:** 利用无线传感网络技术、LED 控制技术以及 WEB 技术, 设计并实现了基于 ZigBee 的密闭式 LED 植物工厂监控系统。本系统由 3 部分组成, 包括以工控机为上位机的监控中心、基于 ZigBee 的数据传输网络、基于 RS485 总线的环境数据采集。上位机运行基于 tomcat 的服务器程序, 周期性地发送控制和采集命令, 存储和显示相关环境参数信息, 并提供远程用户浏览器访问; ZigBee 无线网络提供数据的透明传输, 通过设计 ZigBee 应用层协议控制数据包的传输目的地址, 确保数据传输的可靠性和准确性; 环境数据采集部分通过 RS485 网络采集和控制环境参数, 如 CO<sub>2</sub> 浓度、温湿度、LED 光照强度等。本文实现的基于 ZigBee 的密闭式 LED 植物工厂环境监控系统, 提供了一种低成本、低能耗、高效率并简单实用的植物工厂环境监控的解决方案。

**关键词:** 植物工厂; ZigBee; LED; 图像传输; 监控系统

中图分类号: S126

文献标识码: A

文章编号: 1003-188X(2015)05-0075-07

## 0 引言

植物工厂环境控制系统趋向于集成化和智能化<sup>[1-3]</sup>, 选取一种可靠的实现方案尤为重要, 其成本和能耗是选择控制系统的决定性因素<sup>[4-5]</sup>。LED 光源逐步替代了传统的植物灯。研究表明, LED 光源在提供植物光合作用、促进植物生长及缩短生长周期中比自然光表现出更好的特性<sup>[6-7]</sup>, 如 LED 波长和亮度可调节<sup>[8]</sup>、波长范围与植物所需光谱范围相吻合等。

本系统采用 LED 光源作为植物光合作用的植物灯, 既降低能耗控制成本, 又减小空间, 实现环保节能。文献[9]采用空气净化与环境控制相结合的方法来综合调控组培室的物理环境; 但是调控区域较小, 且没有考虑系统能耗。文献[10]从能源角度出发, 选取人工光和太阳光并用型植物工厂为研究对象, 设计了一种适合植物工厂的温湿度远程监控系统; 但是该系统仅仅控制温湿度因素, 没有考虑营养液、图像等因素, 且系统成本较高。文献[11]采用了低成本的控制芯片, 设计了一种温室无线传感器网络, 但并没有考虑温室中环境因素的影响, 其实用性有待验证。ZigBee 是一种基于 IEEE 802.15.4 标准的低功耗、低

成本、低速率、支持大量节点、可靠安全的无线通信协议。本系统采用 ZigBee 网络作为数据传输的媒介, 不仅省去了布线的麻烦, 而且降低了成本和功耗。为此, 从成本控制最优化和能源有效利用的角度<sup>[12]</sup>, 设计了一种成本低、能源利用率高、功耗低、实用性强的植物环境监控系统。

## 1 监控系统总体方案设计

本系统的研究对象为面积 300m<sup>2</sup> 的小型植物工厂。该植物工厂拥有 10 余间密闭区房(包括 1 个育苗室), 每个密闭区放置若干培菜架, 培菜架分 4 层可种植不同农作物, 且要求对每一层都能精确监控。监控系统主要控制和采集以下环境参数: LED 光照强度、温湿度、CO<sub>2</sub> 浓度、空调温湿度、水泵开关、植物生长图像。

为了便于系统的维护和扩展, 本监控系统采用分层思想, 将整个系统分为数据中心、无线传感网络及数据采集和控制 3 层, 各层之间通过定义的接口和协议进行通信。无线监控系统信息处理流程如下: 数据中心即上层根据业务需求通过 Web 应用程序发送一定格式的查询或控制命令数据包, 无线传感网络即中间层根据数据包中的地址域确定其目的地并发送下层, 数据采集和控制子系统即下层接收到数据包后对其进行解析, 根据不同的命令执行环境参数检测和控制程序, 并将监测到的数据通过中间层上传给上层, 上层收到数据之后进行显示和存储。

植物工厂监控系统系统架构如图 1 所示。

收稿日期: 2014-05-12

基金项目: 深圳市 LED 封装技术重点实验室资金资助项目(ZDSY20120619141243215); 超短距 LED 投影仪及其互动式教学系统开发及产业化项目(2012B091100014)

作者简介: 刘 彤(1977-), 男, 河北深泽人, 讲师, 博士, (E-mail) liu.tong@sz.tsinghua.edu.cn。

通讯作者: 马建设(1969-), 男, 河南永城人, 副研究员, 博士后, (E-mail) mjs888@126.com。

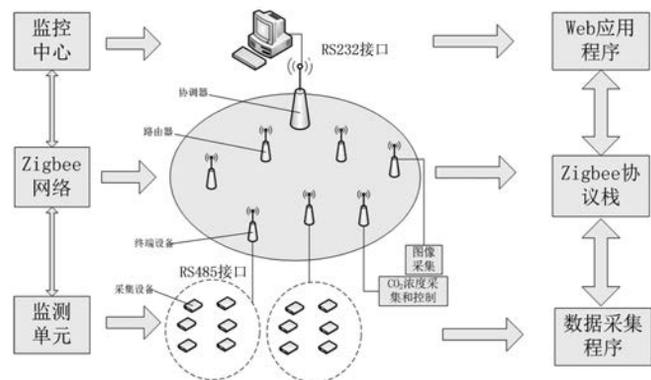


图1 无线监控系统架构图

数据中心(PC或工控机)作为系统的上层,运行Web应用程序,实现整个监控系统的集中控制和管理,同时提供远程用户Internet访问<sup>[13]</sup>;无线传感网络作为系统的中间层,由主节点、路由节点、终端节点构成,各节点运行ZigBee协议栈,覆盖整个监控环境区域,实现数据流稳定的传输;数据采集和控制作为系统的下层,无线网络中的一个终端节点对应一个监测单元,由于RS485具有传输距离远、传输速度快、支持节点多和抗干扰能力强等特点,监测单元网络采用RS485半双工网络,每一个监测单元最多可监测32个节点,增大了监测范围。监测单元中主机为ZigBee终端节点,从机设备由微控制器、传感器、LED照明灯等组成,实现对植物生长环境的监测、控制及数据的采集和上传<sup>[14]</sup>。

## 2 监控系统硬件组成

ZigBee网络由1个Coordinator(协调器)、多个Router(路由器)和多个End Device(终端设备)组成。其中,各设备选取TI公司用于2.4GHz、支持IEEE802.15.4的ZigBee应用片上系统CC2530,它能够以非常低的总材料成本建立强大的网络节点。协调器即无线传感网络中的主节点,与上位机采用RS232串口通信,协调器硬件电路中选取MAX3232电平转换芯片,将RS232电平信号转换为TTL电平信号,并提供电源接口和天线电路。路由器即路由节点,只负责数据转发,其硬件电路和协调器基本相同。终端设备作为无线网络的终端节点,且作为每一个监测单元的主节点,即RS485网络中的主机。协调器和终端设备的硬件框图分别如图2所示。

终端设备CC2530外围电路由电源、天线电路、调试接口、摄像头、CO<sub>2</sub>传感器及RS485电路组成。摄像头采用工业级串口摄像头PTC08,CC2530通过协议与PTC08通信,采集图像数据;CO<sub>2</sub>传感器采用WSN-

300-ND模块,工作电压为3.3V,每2s输出CO<sub>2</sub>浓度数据,通过TTL串口与CC2530通信。RS485电路采用标准的485芯片SP3485作为收发器,支持3.3V供电,最大传输速度可达10Mbps,支持多达32个节点,并且有输出短路保护。

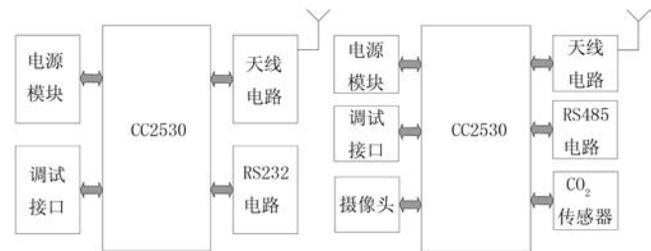


图2 协调器/终端设备硬件图

采集设备硬件采用STC12LE5204PWM作为主控芯片。该单片机是宏晶科技生产的单时钟/机器周期(1T)的单片机,是高速/低功耗/超强抗干扰的新一代8051单片机,具有2路PWM输出,工作电压为3.6~2.2V。采集设备硬件电路如图3所示。

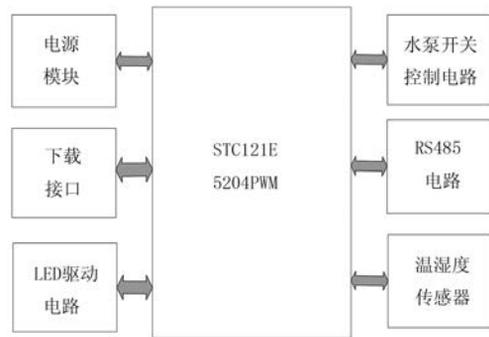


图3 采集设备硬件图

采集设备STC12LE5204PWM外围电路由电源、下载接口、LED驱动电路、温湿度传感器、RS485电路及水泵开关控制电路组成。该单片机由外部5V电源供电,通过电源转换芯片AMS1117,将电压转换成单片机正常工作电压3.3V;通过串口(P3.0/P3.1)直接下载用户程序,同时该串口引脚RX、TX也作为RS485收发数据的引脚。LED驱动电路采用LED驱动芯片L3404HVMA,该芯片通过单片机输出的PWM控制信号控制LED的亮度。温湿度传感器采用DHT11,DHT11是集温度湿度检测于一体的数字化传感器,单线制串行接口,信号传输距离可达20m以上,功耗极低,连接方便。RS485电路同样采用SP3485收发器,与ZigBee终端设备CC2530通信。水泵开关控制电路采用1路IO口,输出高低电平控制电磁阀的开关,电磁阀的驱动电流在20mA以上。

## 3 监控系统软件设计

本监控系统软件设计主要包含上位机Web应用、

协调器应用层、终端设备应用层及采集设备4部分程序的设计。Web应用程序以Tomcat为Web服务器,基于Struts2架构开发设计。该应用提供授权的管理员和普通用户两种身份,管理员用户对整个监控系统进行集中管理和控制,如不同品种农作物生长所需光照设置;普通用户只能查看某品种农作物的生长状况。

### 3.1 协调器软件实现

协调器应用层程序在 ZigBee 协议栈 Z-Stack 架构之上的 AF 层设计和实现<sup>[15-17]</sup>。该程序主要负责判断上位机发送数据包的帧类型,进行单播、组播和广播,建立物理地址和逻辑地址的映射表,接收无线网络中的数据并发送给上位机。其程序流程如图4所示。

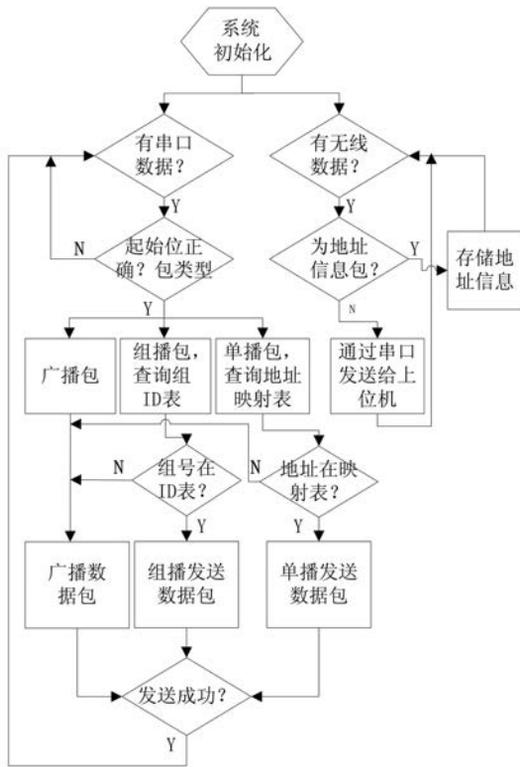


图4 协调器应用程序流程图

协调器程序:系统上电后,组建网络,等待其他设备的连接;与上位机串口相连,当接收到上位机发送的数据包时,判断数据包是否是定义的格式,若不是则丢弃,否则进一步判断数据包是否为广播包、组播包或者单播包。如果是广播包,则将发送目的地址置为0xFFFF,广播数据包发送给所有终端设备;如果组播包,则在组播ID表中查找是否有对应的组ID号,如果有则调用组播发送数据API,将目的地址置为组播的ID号,如果没有ID号,则向上位机报错;如果是单播包,则在地址映射表中查找设备的逻辑地址,若查找成功,则将目的地址置为此网络地址,通过函数 AF\_DataRequest() 将单播数据包发送给指定地址的终端

设备,否则通过广播数据包发送给终端设备,让其自行判断。

### 3.2 终端设备软件实现

终端设备/RS485主机程序:设备上电后,自动加入网络,加入网络之后将自身网络地址和物理地址信息发送给协调器,然后等待外界无线数据包;当有无线数据包时,对数据包进行校验和,以及判断数据包的目的地址是否为本机地址,若不是则丢弃数据包,否则解析数据包;当包体中的命令为控制LED亮度、查询植物周围环境温湿度、控制排水泵的开关时,将这些命令转换成RS485网络通信的数据包,并通过RS485网络发送给RS485从机;当包体中的命令为查询图像、查询CO<sub>2</sub>浓度、设置空调机组室内温度时,根据不同命令执行相应动作。流程图如图5所示。

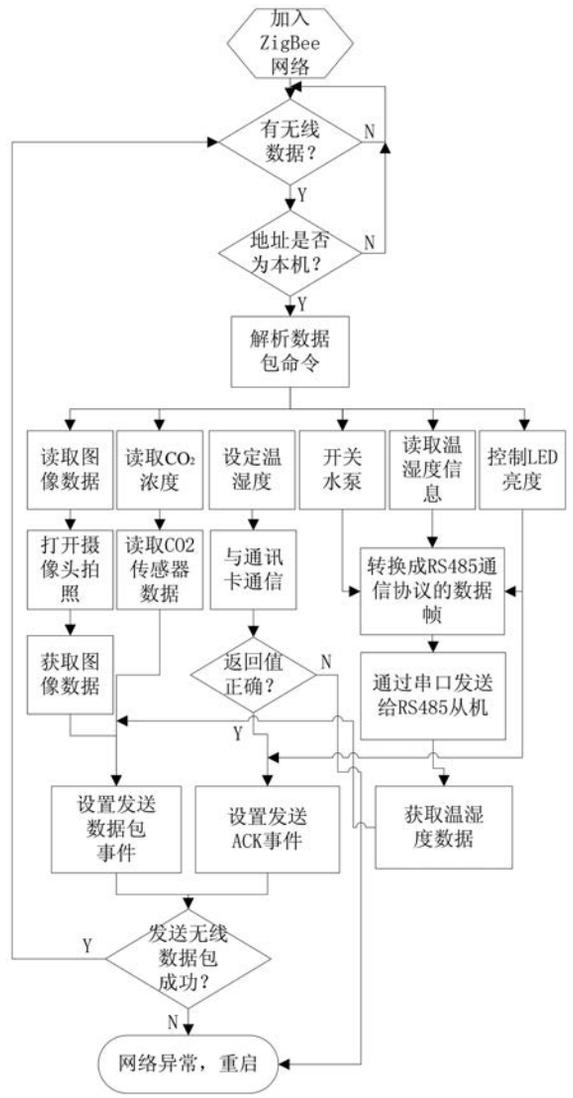


图5 终端设备/RS485主机程序流程图

### 3.3 采集设备软件实现

采集设备/RS485从机程序:设备上电后,初始化温湿度传感器,进入主循环,等待RS485主机发送数

据;当收到数据包时检查包头和包尾是否正确,再检查地址是否为本机地址,若都不是则丢弃数据包,否则解析数据包;如果命令是控制LED的亮度,则开启定时器,输出两路PWM信号给LED驱动芯片,从而控制LED红光和白光的比例;如果是读温湿度命令,则与DHT11温湿度传感器通信,读取温湿度数据并通过RS485网络发送给RS485主机;如果是控制水泵开关,则输出电平信号给电磁阀。其流程图如图6所示。

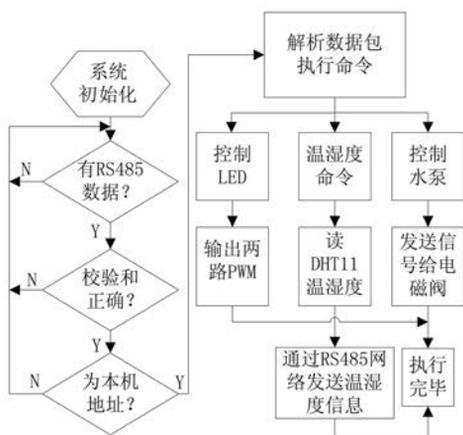


图6 采集设备程序流程图

### 3.4 RS485 通信协议实现

在本监控系统中,数据采集部分的监测单元中采用了RS485网络<sup>[18]</sup>,主要用于采集、监测单元不同位置的温湿度,以及控制培菜架每一层的水泵开关和LED光照强度。

RS485网络采用总线结构,如图7所示。

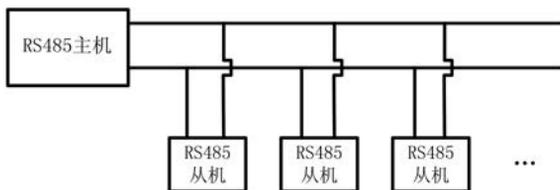


图7 RS485网络结构图

RS485网络中主机和从机通信的数据格式如图8所示。

起始位:占1字节,固定值为0xFE;地址:占1字

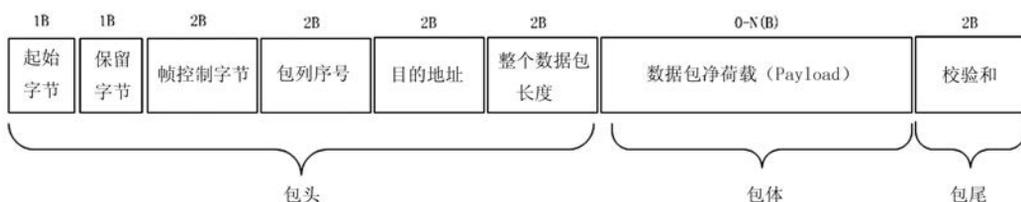
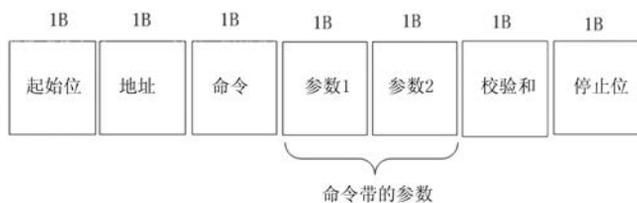


图8 RS485数据包格式图

节,范围为0x01~0xFF,即支持255个从机;命令:占1个字节,现有命令控制LED红光和蓝光比例、控制风机、读取温湿、控制排水泵的开关;参数1和参数2各占1字节,为命令所带的参数,如控制LED红光和蓝光的比例(如各占50%),控制排水泵的开或关(此时参数2不用);校验和:占用1个字节,采用简单的求和取余的方法(只对地址、命令及参数1、参数2求和);停止位:占用1个字节,固定值为0xEF;

由于RS485是半双工的网络,即在发送和接收数据不能同时进行,需要在RS485主机中控制从机发送数据的顺序,避免某些从机同时发送数据导致冲突。本RS485协议中采用了主机分配时间片的方法,即主机与一个从机的在固定的时间片(本系统中为100ms)内完成一次数据通信过程。经过实验,此方法保证了RS485网络主从机通信的可靠性,在植物工厂数据采集和控制中较为实用。



## 4 ZigBee 数据传输协议的设计

### 4.1 数据包格式

本监控系统应用的植物工厂拥有10余密闭房间,每一个房间放置若干监测单元,即培菜种植架;共4层,每一个监测单元对应于一个ZigBee终端设备,而每一层对应于一个数据采集设备。该通信协议是基于ZigBee应用的标准服务类型报文(MSG)而设计的,运行于Z-Stack的AF层10号端点上,并采用自定义的应用对象规范(Profile)0x0F04,主要实现上位机对采集设备、监测单元的单独控制,以及对房间若干监测单元的组控制。

通信数据格式如图9所示。

起始数据:占1个字节,值固定为0x55,保留位为以后扩展所用,占一个字节,值为0x00;帧控制位:占2个字节,帧控制中包含数据的类型(命令包、数据包和

回复包),帧属性(广播、组播和单播)、数据包的数据类型(CO<sub>2</sub>、温湿度、图像)及图像数据包的序号(0~32)等;包序列号:占用2个字节,上位机和终端节点

图9 ZigBee传输协议数据包格式图

每发送一个数据包序列号加1,接收方回复ACK时,将序列号加1,发送方依次来判断数据是否发送成功;目的地址DstAddr:占2个字节,为每个终端设备的物理地址,根据监测单元所处的位置定义,高位字节表示房间区号,低位字节表示监测单元的培菜架号,0x00的地址为房间的CO<sub>2</sub>浓度采集终端设备;数据包长度(DataLen)域:占2个字节,表示整个数据包的长度,值为12+N;数据包净载荷域:占0~N字节,N最大值为512,净载荷数据由用户自定义系统所需要的功能命令,如设置空调机组温湿度、上传植物生长图像及读取CO<sub>2</sub>浓度等,为0字节的时候,数据包为回复包(ACK);校验和:占2个字节,校验和采用简单的求和取余方法。

该通信协议支持数据广播、组播和单播,支持可变长字节数据包,支持超时重传和确认机制,无线网络中监测单元最多达65 535个,支持无限多命令数据包,在植物工厂中可控制和监测的环境参数有LED光强、温湿度、CO<sub>2</sub>浓度、水泵开关及植物生长图像。其中,图像传输是本通信协议的难点。

#### 4.2 图像传输的实现

植物工厂中,观察植物在其生长周期内的生长态势,即观看植物的生长图像来分析和研究其生长状况,对于研究缩短植物生长周期、提高生产量有重要的意义。由于ZigBee技术低数据率(理想速度250kbps)和低数据量(最大传输单元为127字节)的特点,传输1幅数据量为10K余字节的图像就尤为困难。但是在植物工厂中,一般不需要实时动态地显示图像,每隔一定时间采集和显示植物图像就能达到目的。而传输大量的图像数据时,可以采用数据包分片技术将完整的一帧图像数据传输至目的地。在数据包头中的帧控制域中8~12bit为图像数据包的序号,上位机通过此序列号将图像数据包进行重组写入文件并显示。存储一幅10K余左右的图像数据对于RAM仅有8K的CC2530来说是不可能的,但是可以通过选取某种分段读取图像数据的摄像头模块来解决。PTC08是一款集图像采集、拍摄控制、数据压缩及串口传输于一体的工业级图像采集处理模块,图像输出标准的JPEG格式,终端设备CC2530通过TTL电平串口与PTC08通信<sup>[19]</sup>。

PTC08提供两种读取图像数据的方式,一次性读取一帧图像数据和每次读取512字节。Z-Stack提供基于事件调度的操作系统OSAL,本通信协议实现了基于OSAL的图像采集及上传。当启用Z-Stack的ZIGBEE\_FRAGMENTATION配置时,ZigBee的最大传

输单元为524字节。终端节点CC2530采集图像软件实现流程图,如图10所示。

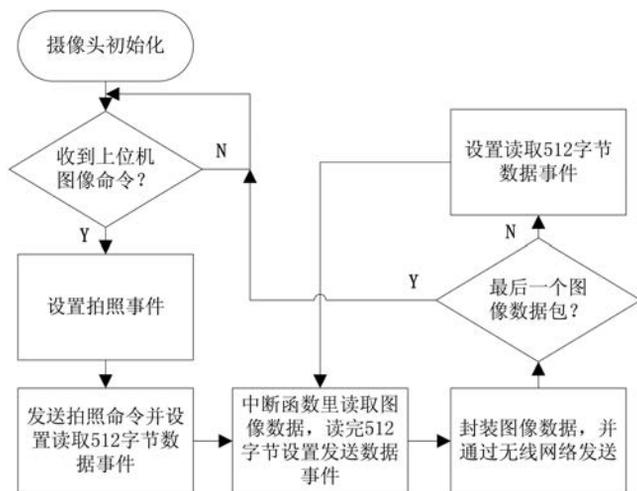


图10 图像采集流程图

在采集图像中定义3种事件,即拍照事件、读取512字节数据事件及发送数据事件。在应用层的任务中分别处理此3种事件:当收到上位机图像命令设置拍照事件,此时要设置拍照标志以防止在图像传输完之前收到:图像命令;然后与PTC08通信,发送设置图像大小和压缩率命令、拍照命令及读取图像数据长度命令,再设置读取512字节数据事件进入等待延时状态;当中断函数中收到512字节设置发送数据事件,继而调用无线发送数据API发送图像数据,并判断是否为最后一个图像数据包,如果不是则设置读取512字节数据事件,否则发送完毕,清除拍照标志<sup>[20]</sup>。

经过实验,采用此方法采集图像,在上位机中收到图像并显示成功率可达95%,从发送命令到显示完整图像时间大约为10s,满足了非实时性,在植物工厂图像采集中具有实用性。

#### 5 实验结果和结论

为了验证所设计的无线网络在植物工厂监控系统中应用的可行性以及该无线监控网络各方面的性能,对整个监控系统进行运行与测试实验。

测试场景:选用1个协调器,2个路由器,8个终端设备,并对其进行编号,由这些节点构成树状网络,如图11所示。编号0的节点为协调器,编号1~8的节点为终端设备,编号9、10的节点为路由器。

协调器与路由器间距10m,路由器与终端设备间距10m,且路由器与终端设备之间有障碍物。上位机连接协调器,作为数据发起的起源点,即网络参数测量过程中的数据包都由上位机发送。

植物工厂监控系统中上位机的请求命令主要包括

控制监测单元 LED、控制监测单元水泵开关、采集监测单元温湿度、采集室内 CO<sub>2</sub> 浓度、控制室内 CO<sub>2</sub> 浓度、设定室内温湿度及采集植物图像。上位机对编号 1~7 的终端设备以单播的形式分别发送采集室内 CO<sub>2</sub> 浓度请求命令来测试单播的丢包率。单播请求命令的丢包率如表 1 所示。

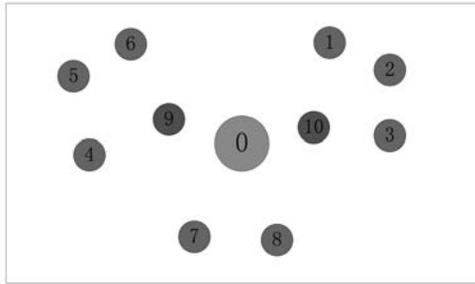


图 11 测试场景图

表 1 请求命令数据丢包率

编号	发送包数	回复包数	丢包率 /%
1	5 000	4 987	0.26
2	5 000	4 977	0.46
3	5 000	4 981	0.38
4	5 000	4 986	0.28
5	5 000	4 979	0.42
6	5 000	4 980	0.40
7	5 000	4 985	0.30

由表 1 可知,单播请求命令的丢包率在 0.20% ~ 0.50% 之间,基本满足监控系统数据传输的要求。

上位机 Web 应用程序如图 12 所示。

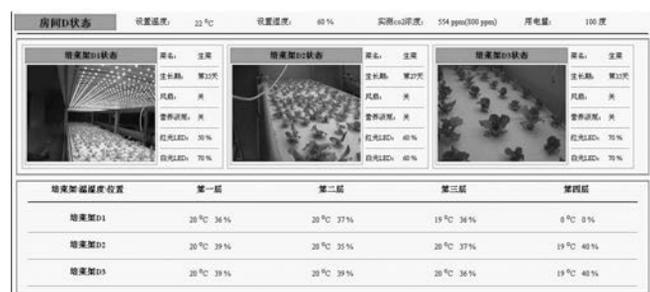


图 12 Web 程序界面图

经测试,整个系统稳定运行超过 1 个月,对于 LED 光照、水泵开关、空调温度这些环境因素均可达到精准的控制;对于温湿度、CO<sub>2</sub> 浓度数据可达到不超过 1s 时延的采集;对于植物图像可满足 10s 以内的非实时显示,该系统完全符合和满足植物工厂对于环境监控的需求。

本文从成本控制和能耗效率角度,设计并实现了

一种低成本、低功耗、简单实用的植物工厂环境监控系统。该系统实现简单、开发难度小、稳定可靠,在植物工厂控制系统未来的发展中具有一定的实用价值。

参考文献:

- [1] 张晓慧,周增产,王峻峰. 植物工厂-开创种植业奇迹的先锋[J]. 农业工程技术:温室园艺,2010,1(5):49-50.
- [2] 杨其长,张成波. 植物工厂概论[M]. 北京:中国农业科技出版社,2005:2-3.
- [3] 杨其长,张成波. 植物工厂系列谈(一)—植物工厂定义与分类[J]. 农业工程技术:农产品加工,2005(5):36-37.
- [4] 杨其长,张成波. 植物工厂系列谈(二)—植物工厂研究现状及其发展趋势[J]. 农业工程技术:农产品加工,2005(6):38-39.
- [5] 罗肖佳. 智能型植物工厂[J]. 技术与市场,2010(6):105-105.
- [6] 胡瑾,田威,赵斌,等. 基于 LED 的设施农业智能补光系统[J]. 农机化研究,2012,34(1):99-103.
- [7] 崔世钢,于洋,苏雄,等. LED 光源在农业上的应用[J]. 天津工程师范学院学报,2012,22(2):6-9.
- [8] 刘彤,刘雯,马建设. 可调红蓝光比例 LED 植物光源配光设计方法[J]. 农业工程学报,2014,30(1):154-159.
- [9] 刘再亮. 密闭式人工光组培室的环境控制与洁净技术的研究[D]. 北京:中国农业大学,2004.
- [10] 周曼丽. 植物工厂环境控制系统的设计[D]. 镇江:江苏科技大学,2012.
- [11] 陈晓栋,郭平毅,兰艳亭. 基于 780MHz 频段的温室无线传感器网络的设计及实验[J]. 农业工程学报,2014,30(1):113-120.
- [12] 王君,于海业,张蕾. 温室环境控制系统的发展[J]. 中国农学通报,2010,26(12):371-375.
- [13] 贺冬仙,杨珀,朱本海. 密闭式植物工厂的嵌入网络式环境监控系统[J]. 农业工程学报,2007(12):156-160.
- [14] 毕玉革,麻硕士. 我国现代温室环境控制硬件系统的应用现状及发展[J]. 农机化研究,2009,31(3):16-17.
- [15] 杨柳. 基于 ZigBee 的无线传感器环境监测网络设计[D]. 上海:上海交通大学,2008.
- [16] 闫丰. 基于无线传感器网络的粮仓温湿度监测系统的研究[D]. 秦皇岛:燕山大学,2009.
- [17] 李迎霞,杜尚丰. 中国温室环境智能控制算法研究进展[J]. 农业工程学报,2004,20(2):267-272.
- [18] 张芳娥,衡君山,甄换强. RS485 总线网络可靠性研究[J]. 仪器仪表学报,2006,27(Z3):2458-2459.
- [19] 宋志强,周献中,王雷,等. 基于 ZigBee 的无线图像传输研究[J]. 计算机应用与软件,2012,29(7):1-2,5.
- [20] 程小雄. 基于 ZigBee 网络的非实时图像采集[J]. 实验室研究与探索,2009,28(12):81-84.

# Enclosed LED Plant Factory Environment Monitoring and Controlling System Based on ZigBee

Liu Tong, Li Yao, He Hongwei, Ma Jianshe

(Graduate School/Shenzhen Key Laboratory of LED, Tsinghua University, Shenzhen 518055, China)

**Abstract:** In this paper, we implemented a wireless control system for a plant factory. The system is self-organizing, easy-install, and extensible to meet the requirement of large plant factories. It is based on a three-layer network structure, with a surveillance center, network of data transmit based on ZigBee protocol, and data acquisition and control based on RS485 network. The surveillance center consists of an industrial control computer (IPC) running a server/client application that can send and receive predefined data packet periodicity. The client application is a web application, which can be visited either locally or remotely by users with mobile devices to monitor the system. The network of data transmit based on ZigBee protocol consists of three logic device, that is, the coordinator, the router and the end device. The coordinator is responsible for setting up ZigBee network and permitting others to join in automatically, providing broadcast, multi-cast, unicast of packet and transmitting packet as a gateway node between IPC and wireless network. Router expands covering area of wireless signal, and transfer the packet from the end device to the coordinator. The ZigBee network guarantees that if one expands the plant factory by adding planting equipments or planting areas, the newly installed equipment will be automatically added to the control network after refreshing the server-side application without cable connection or adjustment on site, which simplifies the installation process of a large scale plant factory greatly. The end device plays an import role in ZigBee network and data acquisition subsystem. It is a host device of the RS485 network, controlling the light quality control subsystem, nutrient cycling subsystem, and air flow subsystem, and monitors the sensor data including the humidity and temperature sensors, carbon dioxide density sensors, Ec and Ph detectors, and camera modules. The camera modules are used to monitor the growth of the plant by sampling the image with a fixed period and transmitting to the IPC server for image process and display.

**Key words:** plant factory; ZigBee; LED; image transmitting; monitoring and controlling system

---

(上接第 74 页)

**Abstract ID:**1003-188X(2015)05-0071-EA

## Research on the Influence of four-wheel Chassis' Working Stroke Rate

Lv Ying, Wu Xiao, Fu Yaoming, Li Zhiwei

(College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

**Abstract:** In order to achieve small turning radius and improve the working stroke rate of four-wheel chassis, agricultural machinery can improve the operational efficiency. The four-wheel tractor operating in small plot turning radius and field width can influence the blank line time. In order to improve small plots of blank line time, the key to come to the chassis with a small turning radius, and can not require reversing steering directly into the next furrow forms. The author believes front axle swing steering-wheel-drive chassis is more suitable way of small plots operations. In the steering, The chassis control the rotation of the front axle drive wheels, the front axle steering device rotates around the initiative, drive chassis to any angle turning. Through compared the front axle swing steering working stroke rate with deflection chassis', the front axle swing steering chassis enhance the work small plots stroke rate.

**Key words:** agricultural machinery; four-wheel chassis; steering; front axle swing type; small turning radius; working stroke rate

# 基于 ZigBee 的密闭式 LED 植物工厂监控系统



作者: [刘彤](#), [李尧](#), [贺宏伟](#), [马建设](#), [Liu Tong](#), [Li Yao](#), [He Hongwei](#), [Ma Jianshe](#)  
作者单位: [清华大学 深圳研究生院 深圳市LED 封装重点实验室, 广东 深圳, 518055](#)  
刊名: [农机化研究](#)   
英文刊名: [Journal of Agricultural Mechanization Research](#)  
年, 卷(期): 2015(5)

引用本文格式: [刘彤](#). [李尧](#). [贺宏伟](#). [马建设](#). [Liu Tong](#). [Li Yao](#). [He Hongwei](#). [Ma Jianshe](#) [基于 ZigBee 的密闭式 LED 植物工厂监控系统](#)[期刊论文]-[农机化研究](#) 2015(5)