

赵正军,王福平,潘杰,等.基于 Wi-Fi 的马铃薯贮藏环境测控系统设计与应用[J].江苏农业科学,2019,47(2):233-237.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.02.058

基于 Wi-Fi 的马铃薯贮藏环境测控系统设计与应用

赵正军¹,王福平²,潘杰³,原思杰³

(1. 北方民族大学计算机科学与工程学院,宁夏银川 750021; 2. 北方民族大学创新创业学院,宁夏银川 750021;

3. 北方民族大学电气信息工程学院,宁夏银川 750021)

摘要:使用 Wi-Fi 无线网络构建一套适用于马铃薯贮藏环境的参数采集与控制系统。给出系统的总体设计方案,系统由 Wi-Fi 无线网络、控制中心主机、远程客户端等组成。详细阐释系统的硬件与软件设计方法,针对 Wi-Fi 无线网络的构建提出 2 种基于 ESP8266 的 Wi-Fi 无线组网与传输方案,可分别适用于小型、中大型贮藏环境测控系统。根据应用情况,该系统搭建简单,能够实现对马铃薯贮藏室环境的实时检测与控制,保证了马铃薯的贮藏品质,本系统对发展开拓马铃薯贮藏技术也具有现实意义。

关键词:Wi-Fi;物联网;马铃薯;贮藏环境;无线网络;测控系统

中图分类号:S126;TP273+.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2019)02-0233-05

如今,农产品的生产加工过程向着安全、绿色的方向发展,在这一过程中,贮藏保存是其中重要的环节之一。贮藏环境和条件作为影响农产品保存期限和食用价值的重要因素^[1],受到了越来越多的关注。我国是世界上种植马铃薯面积最大的国家,对马铃薯的贮藏保存仍以传统的窖藏方式为主,人为干预因素较少^[2],从而导致马铃薯在贮藏过程中容易产生生芽、腐烂现象。为保证马铃薯的贮藏品质,针对我国北方地区广泛采用半地下式马铃薯贮藏室(窖)的特点,本研究基于 32 位无线 SOC ESP8266 以及增强型 51 单片机 STC15,设计马铃薯贮藏室环境测控系统,通用 Wi-Fi 构建的无线网络实现对贮藏环境各项参数的实时监测和实时控制,大大降低了马铃薯贮藏期间的损坏率^[3]。

作为物联网技术在马铃薯贮藏上的应用,吴琮等提出了一种基于 ZigBee 的马铃薯储藏环境监测系统^[4],贾倩民等提出了一种基于通用分组无线服务技术(general packet radio service,简称 GPRS)的马铃薯贮藏环境监控系统^[2],这些系统均实现了对贮藏环境参数的有效采集或有效调节,但在实际应用中,ZigBee 存在着传播距离近、数据信息传输速率低、室内空间信号衰减严重等问题,GPRS 则存在着数据传输成本高、无法组网传输等缺点。马铃薯贮藏室在空间上一般是多个贮藏室并行排列,对无线网络的信号强度和无线信号的网传传播方式有着较高的要求。Wi-Fi 作为目前一种广泛应用的无线网络方式,技术成熟、成本低廉、普及率高,并且有传输范围广、传输速率快、组网方便的特点,适用于室内空间无线数据传输。鉴于此,本研究设计基于 Wi-Fi 的马铃薯贮藏环境检测与控制系统,并详细介绍 Wi-Fi 方式下无线网络的

构建方法。

1 系统工作原理及结构

1.1 系统工作原理

基于 Wi-Fi 的马铃薯贮藏环境测控系统由环境参数实时检测与环境参数自动调控等 2 个部分构成。通过分布于贮藏室内的感知与控制终端节点,实时采集贮藏室内各种影响马铃薯贮藏品质的关键环境因子,如温度、湿度、CO₂ 浓度等^[2,5-6],然后通过 Wi-Fi 无线网络将采集到的传感器参数传送到控制中心主机,由控制中心主机来实时显示各种参数以供工作人员查看,并通过设定的控制算法及策略,由主机对环境参数进行分析和处理,作出相应的环境调节对策,将对策转化为控制命令再经由 Wi-Fi 网络下发到终端节点,终端节点依照命令通过电路接口来控制贮藏室调节设备,如冷风机、除湿机、自然风机等。如此过程不断循环,从而让贮藏室环境保持在一个适宜马铃薯保存的区间范围内。通过控制中心主机搭建 web 服务器,借助于因特网,工作人员可以远程通过手机 APP 或者网站来实时查看贮藏室环境参数信息,设置控制参数,实现远程手动控制等功能。

1.2 系统结构

整个贮藏环境测控系统主要由贮藏室环境参数感知与控制节点、各种调节设备、Wi-Fi 无线网络、无线路由器、控制中心主机、因特网、手机 APP、远程客户端等组成。选用深圳市安信可科技有限公司推出的 ESP8266 模块来构建无线 Wi-Fi 数据传输网络,采集与控制节点上集成温度、湿度、CO₂ 浓度传感器来检测各种环境参数数据。节点控制核心采用 STC 公司的 STC15 系列增强型 51 单片机,实现节点的传感器采集和环境调节命令的控制。整个 Wi-Fi 无线网络的数据经过一台无线路由器,上传到同样与路由器相连接的控制中心主机计算机,主机计算机一方面将收到的数据通过上位机软件界面实时显示,供现场工作人员查看,另一方面将数据存储到数据库,提供 web 服务器服务以便远程通过手机 APP 或客户端实时监测,并结合各种控制模型和算法,对数据

收稿日期:2017-09-18

基金项目:宁夏高校科学研究项目(编号:NGY2015150)。

作者简介:赵正军(1988—),男,湖北武汉人,硕士,主要从事物联网、智能控制研究。E-mail:sharonaaz@163.com。

通信作者:王福平,教授,主要从事物联网、计算机控制技术研究。
E-mail:w_fuping@126.com。

进行集中分析和处理,产生相应的环境调节命令。命令经由无线路由器和 Wi-Fi 网络下发至终端节点,由终端节点对整个贮藏室环境参数作出调节。系统结构如图 1 所示。

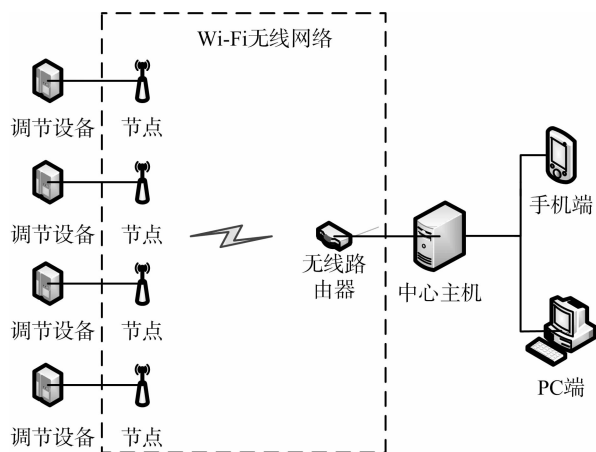


图1 系统结构

2 系统设计

2.1 采集与控制节点设计

采集与控制节点是整个 Wi-Fi 无线传感与控制网络构建的重要要素,它负责与无线路由器一起搭建整个系统的 Wi-Fi 无线网络,并承担采集数据、传输数据、执行调节命令的任务。

2.1.1 节点硬件设计 采集与控制节点的电路框架如图 2 所示,由主控 STC15 单片机、ESP8266 Wi-Fi 模块、温湿度传感器、CO₂ 浓度传感器、调节设备控制接口及其他外围电路组成。主控单片机选择宏晶科技有限公司的 STC15F2K60S2 单片机,片载 2 组独立高速异步串行通信接口 UART,可分别用于 CO₂ 浓度传感器以及 ESP8266 模块的串口通信。Wi-Fi 模块采用安信可公司的 ESP8266-12F Wi-Fi 模块,支持标准的 IEEE802.11 b/g/n Wi-Fi 协议,内部含有完整的 TCP/IP 协议栈,用 AT 指令配置并通过串口通信使用。CO₂ 浓度传感器选择郑州炜盛电子科技有限公司的 MH-Z14A CO₂ 浓度传感器,其内部通过非色散红外原理对空气中的 CO₂ 浓度进行检测,以串口方式进行数据通信,与 STC15 单片机之间的数据通信帧可使用求和校验。温度与湿度采集选用 DHT11 温湿度一体化数字传感器,其内部利用电阻元件测量温度和湿度,与单片机之间采用单总线数字信号通信方式。对贮藏室调节设备的控制,由 STC15 单片机的 IO 接口结合光耦驱动继电器来实现调节设备的控制。

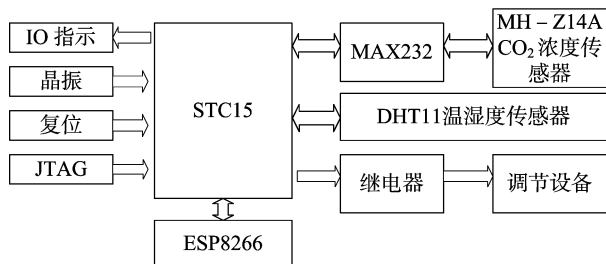


图2 采集与控制节点电路

2.1.2 节点软件设计 STC15 单片机底层代码采用循环执行方式运行,内部设定定时器,每隔一段时间自动采集贮藏室的环境参数数据,对数据进行初步处理后,通过 ESP8266 上传至 Wi-Fi 无线网络,最终到达主控主机。一旦接收到主控主机通过 Wi-Fi 无线网络下发的控制命令后,便根据命令控制相应的环境调节设备。ESP8266 构建 Wi-Fi 无线传输网络,采用传输控制协议(transmission control protocol,简称 TCP)通信方式,通过串口在 STC15 单片机和 Wi-Fi 无线网络之间实现数据交互功能。节点的软件工作流程如图 3 所示。

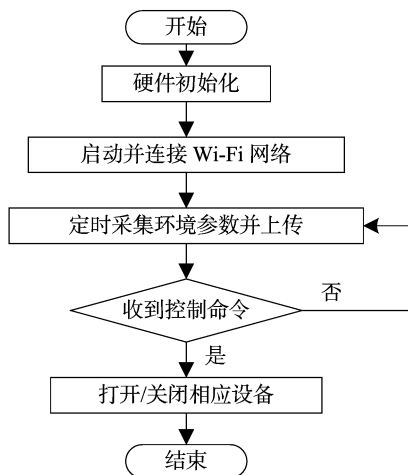


图3 采集与控制节点软件工作流程

2.2 主控主机与服务器设计

主控主机就是位于工作间的主机计算机,通过无线路由器连接到 Wi-Fi 无线网络,在 Wi-Fi 网络中作为 TCP 服务器使用。主控主机从 Wi-Fi 网络接收终端节点采集的贮藏室环境参数数据,在电脑软件界面上显示实时数据。同时对数据进行分析处理,对长期采集的大数据进行建模,根据模型利用模糊控制技术并结合多种因素进行贮藏室环境调节设备的集中控制。主控主机上使用 SQL Server 2008 数据库保存各项环境参数,使用基于 VC++ 6.0 开发的主控软件来与 Wi-Fi 无线网络进行 TCP 数据传输以及数据分析处理,数据存取、控制命令决策等功能。同时,在主机上搭建 web 服务器,将数据发布至因特网,利用跨平台技术和 Java 技术开发的手机 APP 可以让工作人员远程查看或控制贮藏室环境,通过超级文本标记语言 5.0(hypertext markup language 5.0,简称 HTML5)、活动服务器页面(active server pages,简称 asp)技术开发的 web 页面,工作人员也可以在任何一台连接因特网的计算机上查看或控制贮藏室环境参数。主控主机的结构示意图及工作流程如图 4、图 5 所示。

3 Wi-Fi 无线网络的构建

Wi-Fi 是一种构建 WLAN 无线局域网的技术,它采用的是电气和电子工程师协会 IEEE 802.11 通信标准,通常使用 2.4 GHz 射频频段进行信息传输。ESP8266 是由深圳市安信可科技有限公司推出的高性能无线 SoC 片上系统芯片,它提供了一套完整的 Wi-Fi 无线传输解决方案。ESP8266 采用串口与其他设备进行通信,能够实现串口与 Wi-Fi 之间的转换传输。ESP8266 有 3 种 Wi-Fi 工作模式,分别是 Wi-Fi

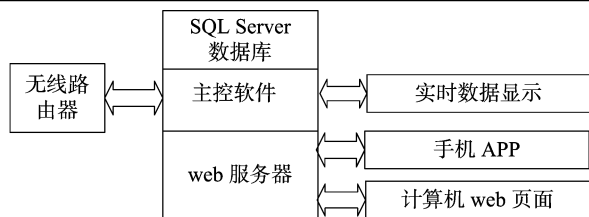


图4 主控主机结构示意图

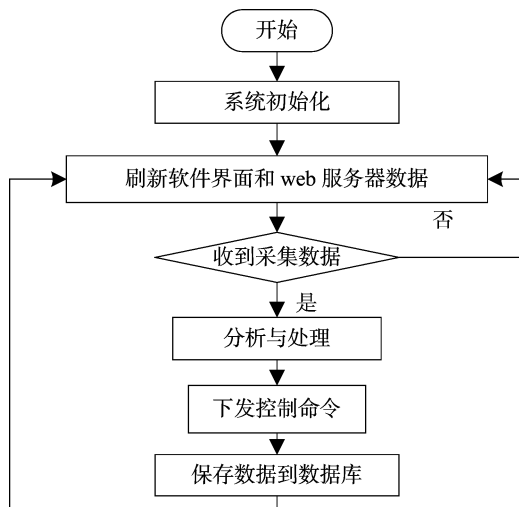


图5 主控主机工作流程

STA、Wi-Fi AP、Wi-Fi STA + Wi-Fi AP 模式，可以灵活地配置出需要的 Wi-Fi 数据传输方案。在 Wi-Fi STA 工作模式下，ESP8266 须要先连接到路由器，进而连接到网络，其他无线设备也须要通过路由器才能与 ESP8266 进行通信。在 Wi-Fi AP 工作模式下，ESP8266 会自己构建 Wi-Fi 热点，其他无线设备可以直接与 ESP8266 相连，组成一个无线局域网进行通信，此时，当 ESP8266 作为 TCP 服务器时，最多可以支持 5 个客户端设备。在 Wi-Fi STA + Wi-Fi AP 工作模式下，ESP8266 既可以通过路由器连接到网络，然后与其他 Wi-Fi 设备进行通信，也可以通过自身构建 Wi-Fi 热点，让其他 Wi-Fi 设备连接到自身来进行通信，这种模式可以实现局域网和广域网的对接传输^[7-8]。

在 ESP8266 的 3 种 Wi-Fi 工作模式下，每种模式均可实现 TCP 客户端、TCP 服务器、用户数据报协议 (user datagram protocol, 简称 UDP) 等 3 种网络传输形式。TCP 是面向连接的数据传输协议，进行 TCP 协议数据传输时，须建立通信双方之间的有效连接，并带有数据确认和数据重新传送的机制，保证数据的传输一定是可靠的，相当于闭环数据传输。而利用 UDP 进行数据传输时，无须建立双方的连接，发送数据的一方直接往接收方的 IP 地址上发送要传输的数据即可，而不管对方是否接收到数据以及接收到的数据是否正确，相当于开环的数据传输^[9]。本系统设计采用可靠的 TCP 传输形式。

3.1 用于小型贮藏系统的星状网络设计

基于 ESP8266 的 3 种工作模式以及数据传输形式，对于小型贮藏环境测控系统的 Wi-Fi 无线网络构建如图 6 所示。采集与控制节点上的 ESP8266 均设置为 STA 终端工作模式和 TCP 客户端形式，所有节点通过一台无线路由器连接到主

控主机，主控主机设置为此 Wi-Fi 网络的 TCP 服务器，通过无线路由器与各个节点进行数据和命令交互。此种星状 Wi-Fi 无线组网与传输方案的特点是结构简单、成本低、数据传输效率高，但由于各个节点均通过无线路由器连接主机计算机，所以在距离上不能离无线路由器太远，因此适合作为节点数量较少，1 间乃至数间贮藏室的小型贮藏系统的 Wi-Fi 组网与传输方案^[10-12]。

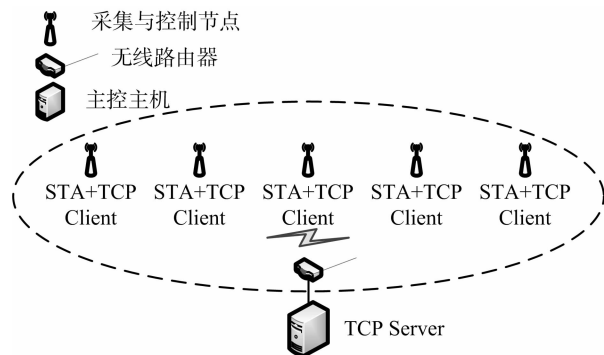


图6 用于小型贮藏系统的星状网络

3.2 用于中大型贮藏系统的树状网络设计

用于中大型贮藏环境测控系统的 Wi-Fi 无线网络构建如图 7 所示。Wi-Fi 无线网络构建为树状网络形式，可以在空间距离上相近的 2~6 个节点构建成一个独立小型 Wi-Fi 无线局域网，抽出其中 1 个离无线路由器最近的节点 A 设为 AP TCP 服务器 + STA TCP 客户端形式，剩下的 1~5 个节点则设置为 STA TCP 客户端形式。在这个独立的小型无线局域网中，通过节点 A 的 AP 工作模式，设置 1 个 Wi-Fi 热点，并将节点 A 设为 TCP 服务器，剩下的几个节点均连接到节点 A 构建的 Wi-Fi 热点，以 TCP 客户端形式与节点 A 进行通信。节点 A 同时拥有另一种工作模式即 STA TCP 客户端，以 STA 模式连接到无线路由器，进而连接到主控主机，主控主机设为 TCP 服务器，与节点 A 进行双向数据传输。在这种树状网络中，可以构建多个独立的小型无线局域网，这些独立小型局域网的数据都交由其各自网络中设为 AP + STA 模式的节点进行中转，由这个节点再来连接无线路由器和主机计算机进行数据交互。依据这种特性，理论上 1 台无线路由器可以连接 254 台 Wi-Fi 设备^[13]，而 1 个 ESP8266 作为 TCP 服务器时可以最多连接 5 个客户端，由此计算可知，具有 3 层结构的树状网络最多可以拥有 $254 \times 5 = 1270$ 个节点。在满足数据传输效率的情况下，可以在 3 层树状网络基础上继续构建 4 层、5 层乃至更多层的树状网络，从而使用更多的节点。由此推算可知，此种网络组网与传输形式非常适用于构建中大型贮藏系统的 Wi-Fi 无线数据传输网络^[14-15]。

3.3 Wi-Fi 无线网络构建方法

ESP8266 通过串口，由上位机使用 AT 指令对其进行配置和使用，指令基本格式为 AT + <CMD>。使用 ESP8266 并配置为 AP TCP 服务器和 STA TCP 客户端的指令配置如表 1 所示，通过 STC15 单片机串口将配置指令依次下发执行即可。

3.4 Wi-Fi 无线网络性能测试

利用 ESP8266 构建的 Wi-Fi 无线数据传输网络要验证网络的可靠性，确保每个节点均能加入到网络，每个节点均能正常与主机计算机进行通信。测试中共使用了 6 个节点，1

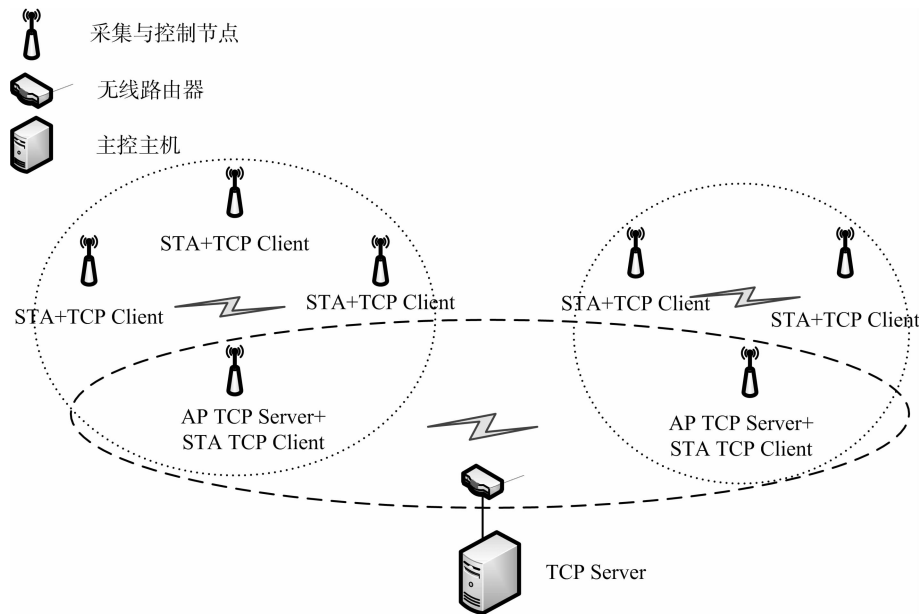


图7 用于中大型贮藏系统的树状网络(3 层)

表 1 AP TCP 服务器 + STA TCP 客户端配置

序号	指令	作用
1	AT + CWMODE = 3	设置为 AP + STA 工作模式
2	AT + RST	重启并使设置生效
3	AT + CWSAP = “XXX”, “*****”, 1, 4	设置 AP 参数: 建立热点 SSID 为 XXX, 密码为 ***** , 通道号为 1, 加密方式为 WPA_WPA2_PSK
4	AT + CWJAP = “AAA”, “*****”	STA 模式加入热点: SSID 为 AAA, 密码为 *****
5	AT + CIPMUX = 1	开启多连接
6	AT + CIPSERVER = 1, 8086	开启服务器, 端口号为 8086
7	AT + CIPSTO = 1 200	设置服务器超时时间为 1 200 s
8	AT + CIPSTART = 0, “TCP”, “192. 168. 1. X”, 8086	STA 模式由通道 0 连接到 192. 168. 1. X 端口 8086

台无线路由器、1 台主机计算机。将 6 个节点分为 2 组, 每组 3 个节点, 每组中选 1 个节点设为 AP TCP 服务器 + STA TCP 客户端, 此节点对这一组的数据进行中转, 另外 2 个节点设为 STA TCP 客户端, 由此构建 2 个独立的无线局域网。主机计算机设为 TCP 服务器, 再通过无线路由器与 2 组中设为 AP + STA 模式的节点建立连接, 这样就构建了一个含有 2 个独立无线局域网的 3 层树状 Wi - Fi 网络。对各个节点分别进行配置后, 在计算机主机上用网络调试助手搭建 TCP 服务器, 设置好 IP 地址和端口号, 然后建立连接。测试结果如图 8 所示, 经过长时间测试表明, 此种方法构建的 Wi - Fi 网络数据传输正常, 无丢包及数据错误现象。

4 系统应用情况

基于 Wi - Fi 构建的马铃薯贮藏环境测控系统, 于 2016 年 11 月在宁夏固原市原州区的固原六盘山薯业有限公司马铃薯贮藏仓库装机运行, 当地马铃薯最合适的贮藏环境参数为: 温度 1. 5 ~ 4. 5 ℃, 相对湿度 85% ~ 95%, CO₂ 浓度为 800 ~ 1 300 mg/m³, 运用此系统后, 贮藏室内的环境参数得到了稳定控制, 始终保持在适宜贮藏的区间范围内, 相比之前的窑藏及人工定时维护方式, 马铃薯生芽腐烂等损坏情况大幅减少。使用该系统得到的主机软件界面如图 9 所示。

5 结论

借助于 Wi - Fi 无线网络通信技术, 设计开发一种基于 Wi - Fi 的马铃薯贮藏环境测控系统, 介绍系统的硬件与软件设计方法, 并详细探讨 Wi - Fi 无线数据传输网络的构建。针对系统设计中用到的 Wi - Fi 模块 ESP8266 的配置和使用等也作了相关介绍。通过使用此系统, 整个贮藏室环境参数控制均由计算机自动完成, 减轻了工作人员的劳动强度, 有效避免了人工调控不及时、不精准的问题, 使马铃薯在贮藏期间的品质得到了有效保障。同时也可以根据实际需求, 在 Wi - Fi 网络中加入更多的检测传感器和控制决策算法, 实现对贮藏环境的科学有效控制。

参考文献:

[1] 刘国红. 基于 ZigBee 的智能粮仓监控系统设计[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(7): 420 - 423.

[2] 贾倩民, 陈彦云, 陈科元. 马铃薯贮藏的环境影响因子及监控系统[J]. 农机化研究, 2014(3): 58 - 61, 69.

[3] 郑纪业, 阮怀军, 封文杰, 等. 农业物联网体系结构与应用领域研究进展[J]. 中国农业科学, 2017, 50(4): 657 - 668.

[4] 吴 琼, 张长利, 董守田. 马铃薯贮藏环境监测系统设计[J]. 农机化研究, 2013, 35(1): 138 - 140, 163.



图8 Wi-Fi网络数据传输测试

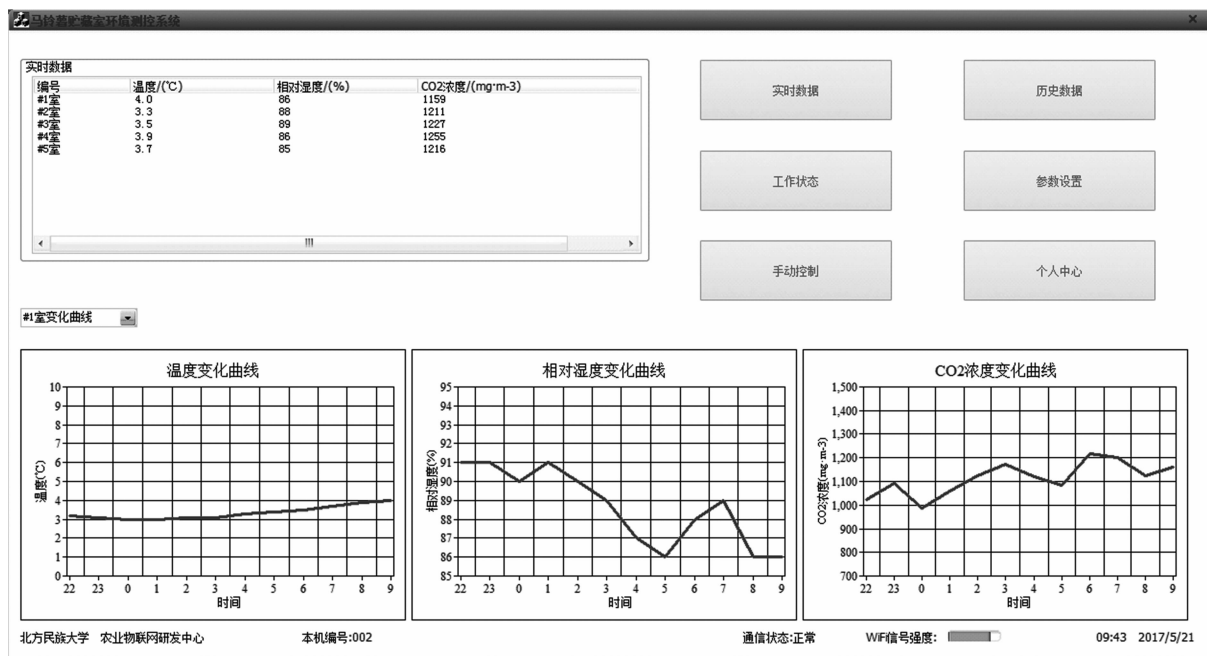


图9 主机软件运行界面

- [5] 阴国富, 朱创录. 基于物联网的精密温室环境管控系统研究[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(10): 491-493, 494.
- [6] 仲伟波, 李忠梅, 石 婕, 等. 一种用于设施农业的 ZigBee - WiFi 网关研制[J]. 计算机科学, 2014, 41(S1): 484-486.
- [7] 吴君青, 陈 鸣, 胡 超, 等. 园区 WiFi 网下软定义移动通信的设计与实现[J]. 软件学报, 2016, 27(增刊2): 35-42.
- [8] 周 瑞, 李志强, 罗 磊. 基于粒子滤波的 WiFi 行人航位推算融合室内定位[J]. 计算机应用, 2016, 36(5): 1188-1191, 1200.
- [9] 王继刚, 顾国昌, 徐立峰, 等. 可靠 UDP 数据传输协议的研究与设计[J]. 计算机工程与应用, 2006, 42(15): 113-116.
- [10] 顾 鑫, 王士同, 许 敏. 领域自适应的最小包含球设计方法[J]. 控制与决策, 2013, 28(2): 177-182, 187.
- [11] 赖新宇, 赵增华, 吴璇璇. 802.11n 与 ZigBee 共存: 子载波置零多输入多输出物理层模型[J]. 计算机应用, 2014, 34(12): 3373-3380.
- [12] 陆 音, 缪辉辉. 复杂室内环境下的 WiFi 定位技术研究[J]. 计算机科学, 2016, 43(11): 152-154.
- [13] 陈 勇, 王 群. TCP/IP 网络中 IP 地址原理及 IP 子网的划分[J]. 无线电通信技术, 2000(2): 57-61.
- [14] 杨 晟, 何腾兵, 吕树鸣. 2 种贮藏方式下马铃薯品质指标的变化[J]. 河南农业科学, 2012, 41(6): 24-28.
- [15] 严 乔, 金连文. 一种基于 WiFi 无线网络具有认字功能的家庭教育机器人[J]. 计算机应用研究, 2010, 27(2): 582-585.