



许培培, 万雪芬, 杨 义, 等. 用于观光农业的混合型无线传感器网络节点设计[J]. 华南农业大学学报, 2017, 38(2): 118-124.

用于观光农业的混合型无线传感器网络节点设计

许培培¹, 万雪芬², 杨 义¹, 韩 芳¹, 蒋学芹¹, 卢晨飞^{1,2}

(1 东华大学 信息科学与技术学院, 上海 201620; 2 华北科技学院 计算机学院, 河北 廊坊 065201)

摘要:【目的】设计用于观光农业中游客服务与田间种植管理通用的混合型无线传感器网络节点。【方法】设计该节点的硬件结构及基于 Android 系统的移动智能设备 APP; 利用 ZigBee 与上位机通信来实现种植环境监测和设备控制。【结果】支持用户使用基于近场通信和蓝牙技术的节点田间快速接入功能, 通过移动设备为游客和种植管理者提供园内位置定位、种植信息查看、环境参数监测等服务。【结论】该混合型无线传感器网络节点使用灵活、方便、快捷、功能扩展性好, 可为观光农业提供较为灵活的多业务工程化支持。

关键词: 观光农业; 移动智能设备; 无线传感器网络; 近场通信; 蓝牙技术

中图分类号: TN709; S237

文献标志码: A

文章编号: 1001-411X(2017)02-0118-07

A design of hybrid wireless sensor network nodes for tourism-agriculture

XU Peipei¹, WAN Xuefen², YANG Yi¹, HAN Fang¹, JIANG Xueqin¹, HU Chenfei^{1,2}

(1 College of Information Science and Technology, Donghua University, Shanghai 201620, China;

2 College of Computer, North China Institute of Science and Technology, Langfang 065201, China)

Abstract:【Objective】To design hybrid wireless sensor network nodes for the field managements and tourist services of tourism-agriculture. 【Method】Node hardware structure and mobile APP based on Android system for smart devices were designed. The planting environment was monitored and equipments were controlled by communication between host computer and ZigBee. 【Result】Tourists and field managers could quickly access the nodes in the field based on near field communication(NFC) and bluetooth techniques, and could get location, planting information, environmental monitoring and other services via the mobile devices. 【Conclusion】The hybrid wireless sensor network nodes are flexible, convenient and fast with good expansibility, and can more flexibly support multi-service engineering in tourism-agriculture.

Key words: tourism-agriculture; mobile smart device; wireless sensor network; NFC; bluetooth

无线传感器网络是智能农业的重要支撑手段^[1-2], 近年来已在农业相关领域内得到了广泛应用^[3-5]。无线传感器网络具有布设方便、使用灵活、规模伸缩性强等优点^[6-7]。利用基于无线传感器网络的技术改变农业生产模式, 有助于产生规模化效

益^[8-9]。但是传统的农业无线传感器网络多用于对具体种植参数远程监测及农业设备的远程控制^[10-12], 结构也多基于节点-上位机模式^[13-15]。而移动智能设备的蓬勃发展有望为该领域带来新的变革。首先移动设备在农业无线传感器网络中的应

收稿日期: 2016-06-18 优先出版时间: 2017-01-10

优先出版网址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/44.1110.s.20170110.1424.042.html>

作者简介: 许培培(1992—), 女, 硕士研究生, E-mail: 1530279026@qq.com; 通信作者: 杨 义(1978—), 男, 副教授, 博士, E-mail: yiyang@dhu.edu.cn

基金项目: 国家自然科学基金(11572084, 61201249); 中央高校基本科研业务费(3142012051)

<http://xuebao.scau.edu.cn>

用,有望将传统的结构即“节点-上位机监测控制”模式变为“中心-现场有机结合”的监控方式。系统使用者不仅可以使用上位机实现传统的控制功能,而且能够利用移动设备通过附近的某个节点进行田间接入,进而通过该节点获得局部的监测数据或对附近的设备进行直接控制,由此增加使用的灵活性和实效性。另外通过移动设备的引入,可以进一步丰富农业无线传感器网络的附加功能。

本文提出了一种可用于观光农业的无线传感器网络的混合型节点设计,该节点可以实现农业种植信息监测与控制,并能够供移动设备接入;其通过 ZigBee 与上位机交互,且可结合基于 Android 的 APP 通过近场通信(Near field communication, NFC)及蓝牙技术连接移动智能设备提供田间种植服务与观光服务,从而实现对种植者及游客的多种业务支持。

1 节点整体设计

节点在设计中需兼顾游览观光、远距离监测控制和田间接入的需求。节点在没有外部移动设备接入时为常规工作模式。在这种模式下,节点通过 ZigBee 通信模块接收由上位机发来的指令,并根据具体指令执行数据收集与设备控制。节点接收到数据收集指令后读取其所接传感器的数据及在该轮询周期内的移动设备接入次数,并将数据按照原路径通过 ZigBee 发往上位机。在设备控制指令下,节点通过 PWM 输出或逻辑输出控制外围设备,并监测设备参数,其后将控制结果发回上位机。

支持田间移动设备接入为节点的重要功能。为方便移动设备快速接入节点,在节点上使用融合 NFC 和蓝牙技术的设计。节点 NFC 标签中含有节点标识、节点周围种植环境、蓝牙设备等信息供移动设备读取。移动设备使用者先将手机靠近 NFC 标签,通过对应的 APP 读取节点 NFC 标签中信息,之后将 NFC 标签中编码规格化的信息通过查阅 APP 的内建数据库转化为具体的种植数据及设备参数。移动设备还根据设备参数自动获得认证从而快速连接节点的蓝牙模块,实现速连接入。连接后即可实现节点周围的环境参数实时查看及节点外部机电设备的现场控制。使用该方案不仅方便快捷,而且在人流密度较大的观光场所中利用 NFC 覆盖范围小($<10\text{ cm}$)的特性可有效避免蓝牙多接入出现的冲突。节点所对应的 APP 分为田间管理者 APP 和面向游客的 APP,两者都可以根据节点 NFC 标签中的信息进行观光园内位置定位、作物种植信息查询等,

但两者区别在于仅田间管理者 APP 可进行设备控制及对 NFC 标签信息进行维护。系统总体结构如图 1 所示。



图1 系统结构图

Fig. 1 Diagram of system structure

2 节点硬件设计

节点的硬件设计不仅需要满足系统的功能需求,而且还要尽可能地符合结构简单、可靠性好的要求。在设计中选择微芯公司出品、采用 nanoWatt XLP 技术的 PIC16(L) F1947 微控制器作为节点的 MCU。在 PIC16(L) F1947 的 USART1 接口上使用 RSM485 连接各 RS-485 设备,在其 USART2 接口上连接串口设备。节点中还使用 PIC16(L) F1947 的内部温度传感器对系统核心板电路部分的工作温度进行监测,由此避免异常的环境温度恶化对系统造成的损害。

在对土壤参数的测量中,采用 RS-485 接口的 Hydra II 土壤传感器,通过其可获得土壤体积含水量、土壤电导率和土壤温度等参数。日光辐照数据通过 Davis 公司出品的 6450 日光辐照传感器采集,该传感器依照每 1.67 mV 的电压输出对应 $1\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ 日光辐照的比例关系将日光辐照数据转化为电压输出以供 PIC16(L) F1947 进行 A/D 采集。环境温湿度数据与灌溉水路温度分别由 AM2306 和铠装 DS18B20 采集。两者都通过 1-Wire 接口与 PIC16(L) F1947 连接。节点也可通过 RS-485 总线连入 SM5386B 风速传感器与 SM5387B 风向传感器,由此获得风速/风向数据。为了使节点功能与成本具有一定的弹性,上述传感器都可根据实际需要进行选配增减。用户只需简单地设定节点上的拨码开关即可实现对节点传感器的接入配置。节点中的 PIC16(L) F1947 还可为外部设备提供 PWM 与逻辑电平控制信号,两者都通过与带有电机驱动或继电器的 Plug-In 模组卡连接受控设备。节点中共提供 5 路 PWM 输出,其中 3 路为增强型全桥 PWM,剩余 2

路为标准 PWM/逻辑控制。每一路都可通过上位机发来的设备控制指令单独控制。当每次数据采集及控制命令完成后,节点还要将该次的传感器数据与设备状态量存储在节点的数据空间中。在节点中共存储最近的 15 次数据以备移动设备接入后查看。因为现有农业传感器供电电平多样,所以节点采用太阳能-DC/DC-LDO 方式为节点提供不间断的多电压供电支持。40 W 多晶硅太阳能板的输出通过连接铅酸蓄电池的太阳能控制器后输出 12 V 的电压,经由 LM2596 进行 DC/DC 变换后获得 5 V 电压,再通过 TPS73033 与 TPS73030 提供稳定的 3.3、3.0 V 电压。

PIC16(L)F1947 的 RS-485 总线与 USART2 端口上分别连接 DRF-2619C 型 ZigBee 通信模块与 RN4020 蓝牙模块。DRF-2619C 基于 CC2530F256,实测通信距离最远可达 1 600 m,在具体设计中可根据需求将其设定为 Router 或 Coordinator 模式。由于在部分场地中节点与上位机距离较远,还为这些节点额外配用了 2.4G/18 dBi 的引向天线以增加传输距离,较大幅度地增强 ZigBee 的传输效果。RN4020 蓝牙模块内置 Bluetooth 低功耗 4.1 协议栈,通过 UART 实现 ASCII 命令接口 API。由于节点多布设在田间,而游客通道距离节点有一定距离,所以节点所用蓝牙模块需要有较大的通信距离,RN4020 近 100 m 的通信距离可以较好地满足需要。在布设中,节点与 NFC 标签的平均距离约 5 m。节点所用标签为 NXP 出品的 NTAG216 芯片。该标签易于识读,保

密性与抗干扰性较强,在标签内可以提供近 900 字节的存储空间,可以满足节点标识信息存储的需求。节点功能结构图如图 2 所示。

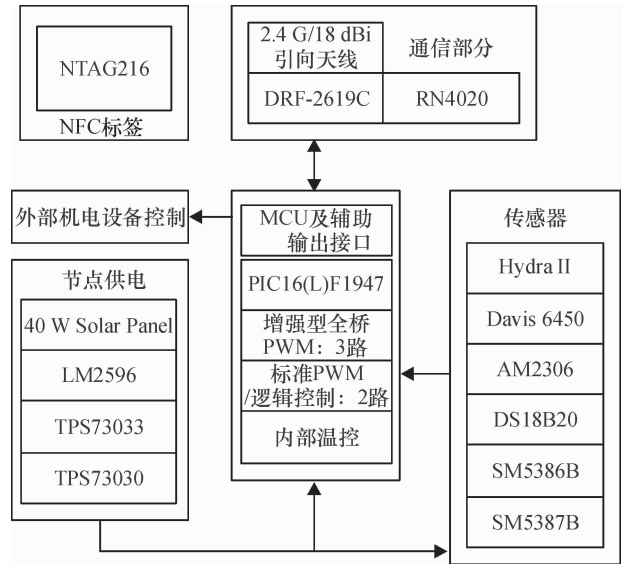


图 2 节点及功能结构

Fig. 2 Node and function structure

节点在工作中分别设置高/低 2 个系统中断响应上位机发来的信息与移动设备接入操作。节点还需要监测其供电与芯片温度,发生异常后须向上位机发送警告信息。其余时间内,节点处于休眠状态以优化能量利用。在上位机与节点通过 ZigBee 进行交互时,上位机下行对节点的调用指令格式、节点上行数据及警告格式如图 3 所示。节点的工作程序结构流程框架如图 4 所示。

下行调用指令格式

0	8	24	32	40	168	184 Bit
先导码	节点网内地址	指令长度	指令类型 (查询/控制)	设备编号及控制参数 (仅设备控制指令)	节点网内地址	

上行数据格式

0	8	24	32	40	424	440 Bit
先导码	上位机网内地址	数据长度	数据类型 (传感器/机电设备)	数据	节点网内地址	

告警格式

0	8	24	32	40 Bit
先导码	上位机网内地址	告警类型	节点网内地址	

图 3 上位机与节点信息交互格式

Fig. 3 Information exchange format between computer and node

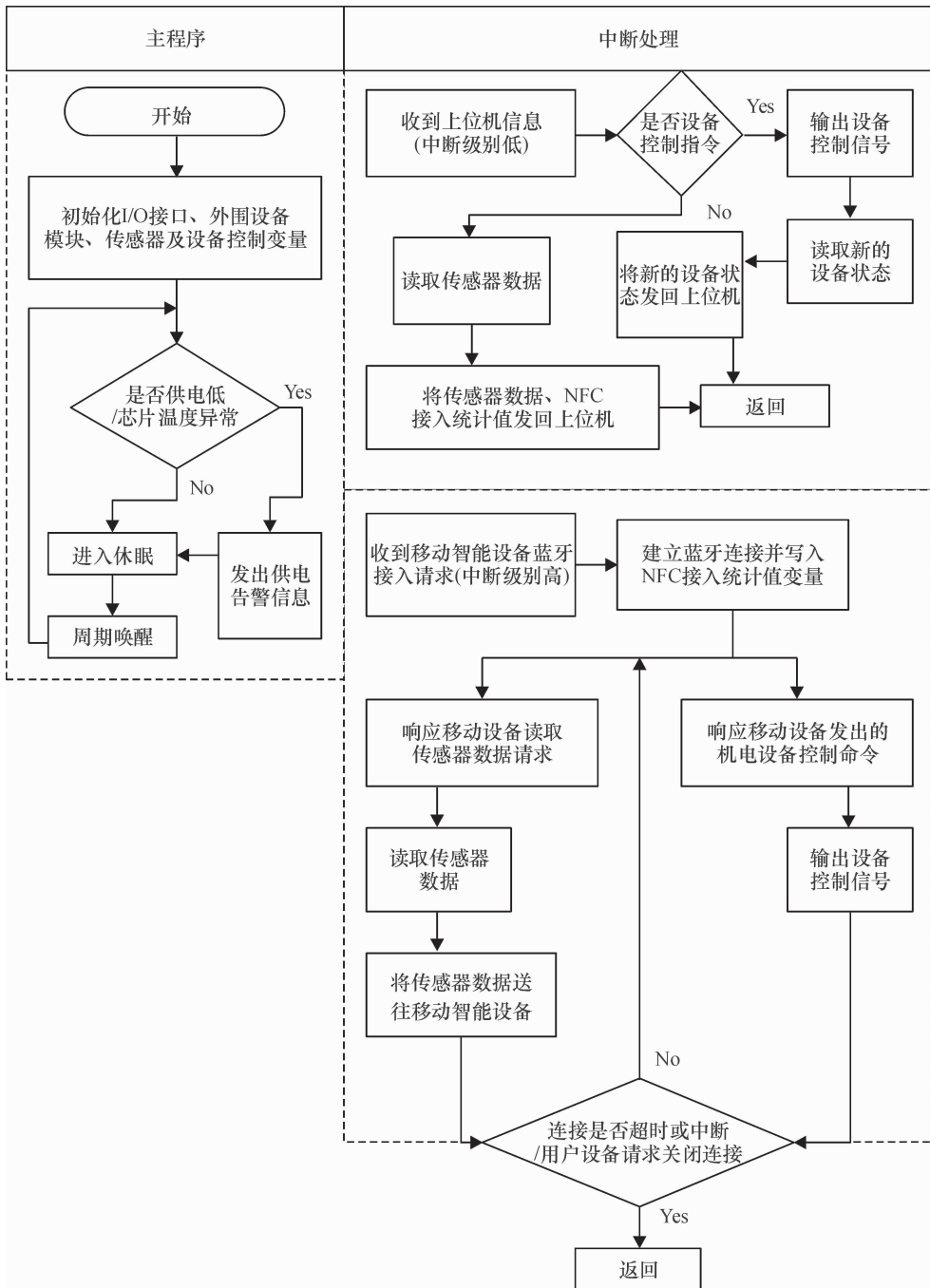


图4 节点程序结构流程框架

Fig.4 Framework of structural flow of node program

3 用于节点接入的 Android APP 设计

用于用户节点接入的 APP 在设计中不仅需要充分考虑应用场景,还需要充分利用移动设备自身的特点,融合 NFC 和蓝牙技术,实现用户接入节点的快速性、便捷性,并保证其可以对节点实现可靠操作。此外对游客来说,其通常不愿花费较长时间来学习 APP 的使用,所以界面应尽可能简单易用。由于 NFC 的功能是在 Android API9 + 以上加入的,用户

所使用的移动设备中系统版本也应为 Android 2.3 或者更高的版本。该 APP 的主要核心功能为 NFC 标签直读、蓝牙自动连接、种植信息/价格显示推送、种植环境参数实时显示、节点机电设备控制、园内位置定位。在 APP 开发中,田间管理者 APP 与游客 APP 采用相同的后台架构和类似的界面布局风格。区别在于游客 APP 的界面上没有机电设备控制与 NFC 标签维护选项。移动端 APP 及结构如图 5 所示。

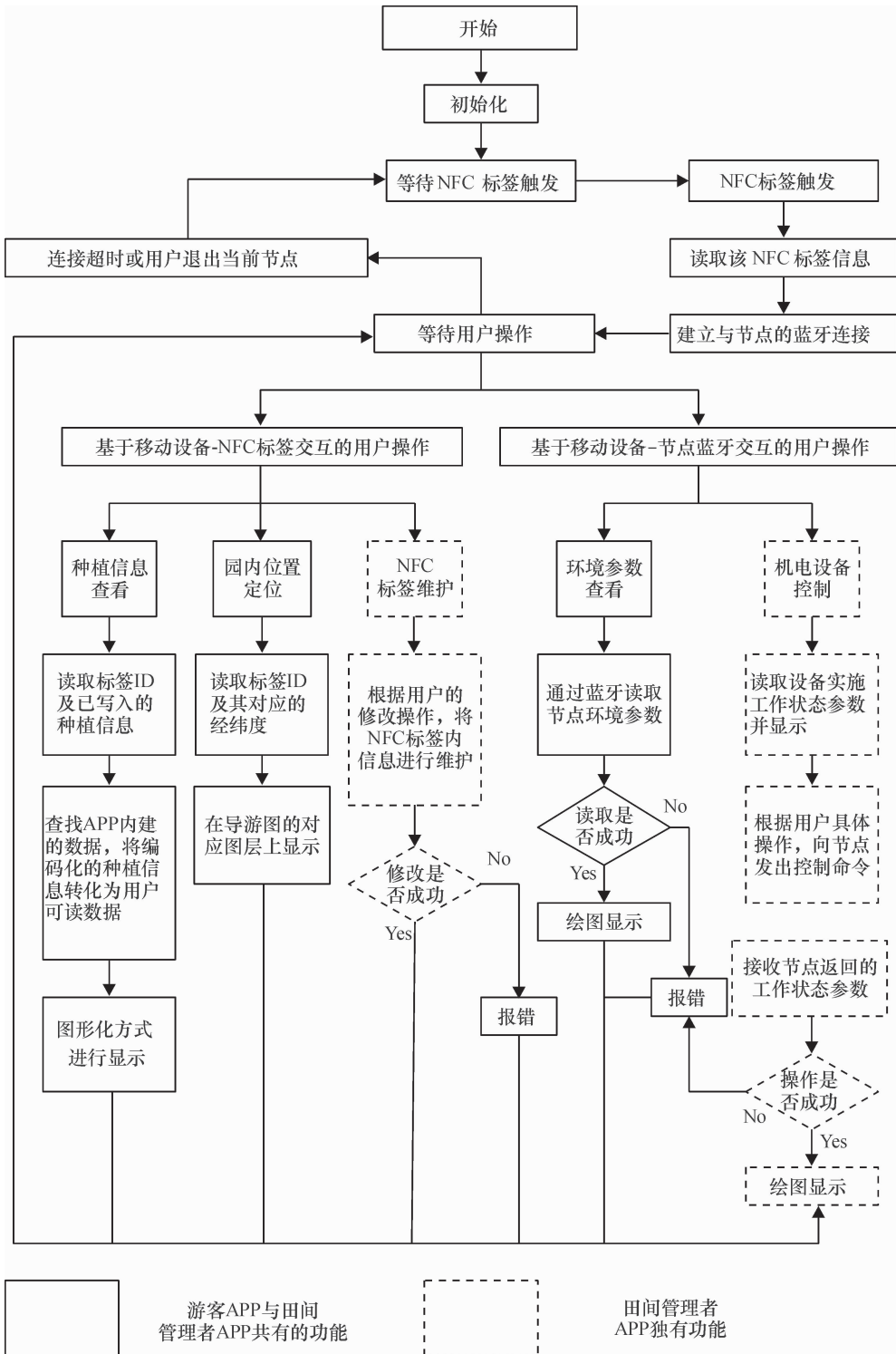


图 5 移动端 APP 工作流程

Fig. 5 Workflow of mobile APP

3.1 读取/更改 NFC 标签信息及定位操作

图 6 为移动端 APP 部分界面,可实时显示相应的信息。读取 NFC 标签信息是指 NFC 设备对无源的 NFC 标签信息读取,该操作主要针对的是 NDEF 格式的数据,它是 NFC 数据交换的一种二进制格式,由 1 个或者多个 NDEF 记录组成,记录内容可以是 URL、MIME 或者 NFC 自定义的数据类型。在本系

统中读取的是写入标签中的蓝牙设备的 MAC 地址和 PIN 匹配码。读取 NFC 标签的步骤如下:定义标签对象、获取 NDEF 消息、NDEF 消息解析、解析后的 NDEF 数据显示及 UI 交互操作。当完成标签读取后,APP 可通过查阅其内建的种植数据定义,并将标签内规格化的信息转换为可供用户识读的产品内容信息,并通过 UI 界面呈现给用户。在田间管理者对

标签中的信息进行维护时,通过预先定义的 BluetoothConnectConfigWriter.java 开启前台调度系统,检测 NFC 的标签类型,随后 APP 则利用 getNdefMsg_from_RTD_TEXT() 函数来获取写入的 NDEF 信息,通过 WriteTask 函数将对应的信息写入到 NFC 标签中。写入的过程中,还通过 UI 提示用户在 NFC 标签

信息更新完成前将移动终端始终靠近 NFC 标签,以便写入数据。此外通过标签还获得了该节点在园内位置的唯一的 ID 信息,在本设计中调用百度地图的 API 实现定位功能。通过匹配 ID 及经纬度信息,为用户找到其对应的园内具体位置,并通过图层标记操作显示在导游图上。NFC 标签中内容如图 7 所示。

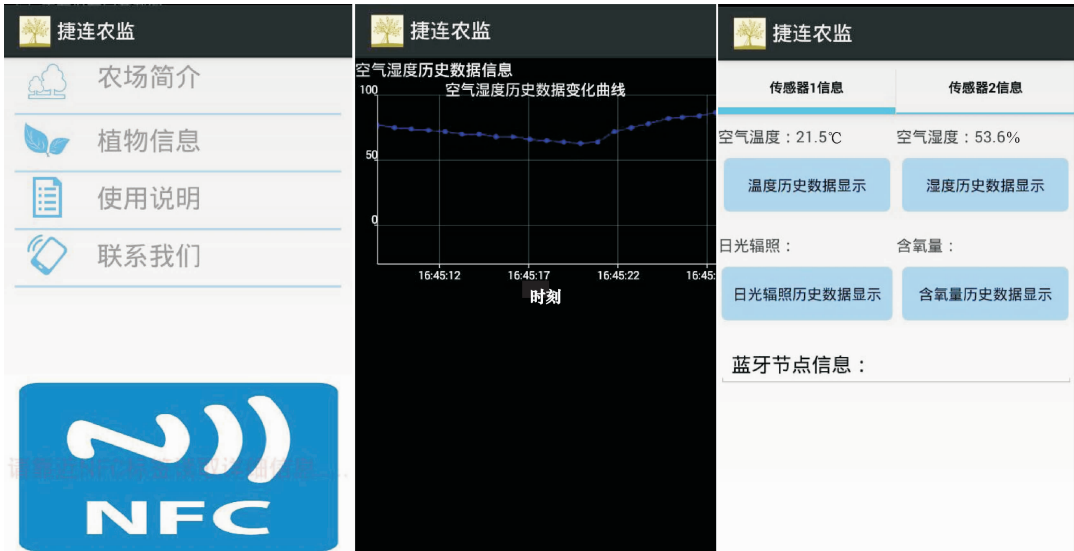


图 6 移动端 APP 用户界面 (UI)

Fig. 6 User interface (UI) of mobile APP

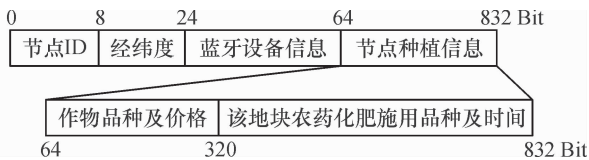


图 7 NFC 标签中内容

Fig. 7 Information of NFC tag

3.2 基于 NFC 标签的蓝牙接入及手机 - 节点交互

在蓝牙连接中,移动设备在扫描 NFC 标签,成功读取标签消息之后,即可实现与指定蓝牙模块的快速连接。与传统的移动设备与蓝牙模块连接的方法相比,省去了传统的搜索蓝牙设备、选择连接设备、输入 PIN 匹配码的繁琐步骤,提高了连接的速度,节约了连接的时间。在获取到解析成功的 MAC 地址和 PIN 匹配码后,将开启一个蓝牙连接的线程,判断蓝牙设备的连接状态,若没有连接,则开始配对。利用读取标签信息的 PIN 匹配码的信息来设置自动配对的值,在配对成功后,APP 界面将会成功跳转到读取种植信息/环境参数显示的界面。由于蓝牙设备在实现通信时,均是以客户端、服务端的模式通信,而在该设计中,移动设备始终是客户端。当节点与移动智能设备实现连接后,不再响应上位机的指令。

接入节点之后,移动设备可以读取各个环境参数的信息,并绘制环境参数变化的曲线。在移动设备与节点的交互中,节点收到种植环境参数查询指

令后,将实时传感器读数与之前存储的 15 次监测值一起发给移动设备。当接收到的数据符合该形式,则截取数据包的特定位置上的字符串,并通过数据格式转化来获得并显示所采集到的传感器数据。为了方便用户监测环境参数的变化趋势,在 APP 中设计多个按钮,点击即可查看各个环境参数变化的曲线图。在该界面上,绘制的环境参数的变化曲线每秒刷新 1 次,较快的刷新速度能够使用户及时准确地发现其变化,并做出相应的控制。同样对节点上设备的控制也由用户通过点击 UI 界面上特定的按钮实现。在移动设备连入节点后,移动设备与节点之间的控制指令及信息交互格式与前述上位机与节点之间的交互格式类似,但是由于此时的蓝牙连接是唯一的,连接架构为 P2P,所以在设计的节点 - 移动设备交互格式中,省略了前述交互格式中节点网内地址和上位机地址。

4 系统测试

系统完成后于河北省秦皇岛市昌黎县进行了现场测试。测试中共布设 11 个节点,其中 5 个布设在园林中,其余布设于蔬菜温室内。节点与上位机之间的距离为 200 ~ 500 m。上位机采用华北工控 EMB3870 低功耗嵌入式工控板,软件基于 C#设计。节点 ZigBee 模块采用基于 CC2530 的 DRF-2618A。

对应地在上位机采用 2.4 G/14 dBi 的全向玻璃钢天线。每 1 个节点所对应的 NFC 标签与节点距离约 3~5 m。系统轮询周期为 220 s。在实测中发现,虽然大多数节点与上位机的无线电视距传输通道内都存在部分障碍物(植物枝叶或大棚支架薄膜等),但是节点与上位机之间在各种气象条件下都可以进行较好的命令与数据交互。即便天气为中到大雨,也能保证信道增益可弥补雨衰对信号的损耗。

由于游客或田间管理者所使用的移动智能设备对节点的访问是高度随机的,在部分情况下会与上位机-节点之间的信息交互过程产生冲突。研究中发现,冲突出现的最主要时间段是节点采集传感器数据的时段。通过分析节点发往上位机的轮询间隔内移动智能设备接入次数还发现,通常游客或田间管理者对节点的访问时间小于 1 个轮询间隔,且较少出现对节点连续性的占用。所以在设计中采用可容纳 2~3 个轮询周期数据的缓存能较好地解决上述冲突问题。研究还针对节点与配套 APP 的使用体验对游客进行了问卷调查。问卷调查重点针对游客游览时间、兴趣度(5 分制)与人均消费这 3 个与游客游园体验密切相关的问题。在问卷调查中共计回收有效问卷 754 份,其中 291 份为使用 NFC 接入游客,其余为普通游客。NFC 接入游客组的人均游览时间(3 h 21 min)、人均兴趣度(4.71 分)与人均消费(154.64 元)比普通游客组(3 h 37 min、4.53 分、114.32 元)都有一定程度的提升。问卷调查结果表明该方式有效地提高了游客游园的兴趣度。尤其是通过该节点对游客实现了种植过程信息与田间管理实时信息的公开化、透明化,较大程度地促进了游客在游园过程中对农产品的消费,进而提高了园区收入。系统的测试结果表明,该节点不仅可以较好地服务于常规农业数据的采集与设备控制,更能有效地服务观光农业游客、提高园区营收。

5 结论

针对使用移动设备访问无线传感器网络节点的需求,本文提出了一种可用于农业观光领域的无线传感器网络节点设计。设计包括节点的硬件结构及软件 APP。该节点不仅可以利用传统 ZigBee 方式与上位机交互监测信息与控制信息,还可为用户提供基于 NFC 技术与蓝牙技术的节点交互功能。由此可满足对农业田间管理的远场/近场综合性管理需求。此外还可通过节点对移动设备的支持,为游客提供商业信息推广、园内定位等游园功能,且实现种植过程对游客的透明化。该系统具有使用灵活、功能伸缩性好、通用化程度高、配置便捷与使用方便等特

点,在观光农业领域预期会有较好的应用前景。

参考文献:

- [1] 李道亮. 农业物联网导论[M]. 北京:科学出版社, 2012:100-103.
- [2] OJHA T, MISRA S, RAGHUWANSHI N S. Wireless sensor networks for agriculture: The state-of-the-art in practice and future challenges [J]. *Comput Electron Agr*, 2015, 118: 66-84.
- [3] ABBASI A Z, ISLAM N, SHAIKH Z A. A review of wireless sensors and networks' applications in agriculture[J]. *Comput Stand Inter*, 2014, 36(2): 263-270.
- [4] SRBINOVSKA M, GAVROVSKI C, DIMCEV V, et al. Environmental parameters monitoring in precision agriculture using wireless sensor networks [J]. *J Clean Prod*, 2015, 2(1): 297-307.
- [5] ABO-ZAHHAD M, SABOR N, SASAKI S, et al. A centralized immune-voronoi deployment algorithm for coverage maximization and energy conservation in mobile wireless sensor networks[J]. *Inform Fusion*, 2016, 30: 36-51.
- [6] 李玉株,肖江. 基于无线传感器网络的野生动物生存环境监测节点硬件设计[J]. *江苏农业科学*, 2012, 40(5): 339-342.
- [7] 孙玉文. 基于无线传感器网络的农田环境监测系统研究与实现[D]. 南京:南京农业大学, 2013.
- [8] 瞿华香,赵萍,陈桂鹏,等. 基于无线传感器网络的精准农业研究进展[J]. *中国农学通报*, 2014, 30(33): 268-272.
- [9] 顿文涛,夏斌,车银超,等. 基于无线传感器网络的农业精量灌溉系统设计[J]. *现代农业科技*, 2012(24): 216-217.
- [10] 胡霸桥. 基于 ZigBee 技术的农业大棚环境温度监测系统设计与实现[D]. 哈尔滨:哈尔滨理工大学, 2012.
- [11] 岳学军,王叶夫,刘永鑫,等. 基于 GPRS 与 ZigBee 的果园环境监测系统[J]. *华南农业大学学报*, 2014, 35(4): 109-113.
- [12] DONG X, VURAN M C, IRMAK S. Autonomous precision agriculture through integration of wireless underground sensor networks with center pivot irrigation systems [J]. *Ad Hoc Netw*, 2013, 11(7): 1975-1987.
- [13] 马从国,赵德安,王建国,等. 基于无线传感器网络的水产养殖池塘溶解氧智能监控系统[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(7): 193-200.
- [14] 蒋毅琼,张漫,李婷,等. 基于 WSN 的日光温室 CO₂ 浓度监控系统[J]. *中国农业大学学报*, 2014, 19(4): 166-171.
- [15] 王文山,柳平增,臧官胜,等. 基于物联网的果园环境信息监测系统的设计[J]. *山东农业大学学报(自然科学版)*, 2012, 43(2): 239-243.

【责任编辑 霍欢】