

智能无线传感网络在温室环境监控中的应用研究

吴飞青 胡超

(浙江大学宁波理工学院信息科学与工程学院 宁波 315100)

摘要 针对目前温室监控存在有线通信方式投资大、成本高,且信息采集点的增加使实施布线难度加大,特别是在一些偏僻位置无法应用等问题,文章提出一种层次化无线传感网络(Wireless Sensor Network, WSN)远程监控系统。该系统的传感网络节点可以随机布置、随意扩充和组合。同时利用无线网络协议栈的路由协议和能量监控等关键技术,设计了一套温室实验系统。通过对本系统的性能进行试验测试,结果表明系统具有良好稳定性和可靠性。

关键词 无线传感器网络; GSM; 路由; 温室监控

中图分类号 TP 212.9 **文献标志码** A

A Study on Intelligent Wireless Sensor Network Applied to Greenhouse Environmental Information Monitoring

WU Feiqing HU Chao

(School of Information Science and Engineering, Ningbo Institute of Technology, Zhejiang University, Ningbo 315100, China)

Abstract A hierarchical WSN (wireless sensor network) remote monitoring system was designed to solve the problems of big investment, high costs, and highly difficult sensor wiring when collecting signal notes were increased for wire communication, particularly in some remote regions where the wire communication cannot be used. However, the sensor nodes of the WSN system have the characteristics of random layout expansion and combination. A greenhouse experiment system was established by applying the routing protocol of the wireless network and energy monitoring technique of the WSN system. Based on the experiments and testing performances of the system, the results show that the system is stable and reliable.

Keywords wireless sensor network (WSN); GSM; route; greenhouse monitoring

1 引言

智能温室控制系统实时检测温室作物生长的环境参数,并根据设定的控制策略,来控制温室

环境调节执行器的动作,以保证作物处于最佳生长环境。这是一种以节约能源,提高产量为目的的高效农业信息技术。目前,国内外现代化温室的控制技术发展很快。纵观国内外温室环境调控

收稿日期: 2014-07-14

基金项目: 国家自然科学基金(61273332); 科技部星火计划项目(2011GA701032); 宁波市自然科学基金(2010A610080)

作者简介: 吴飞青(通讯作者), 硕士生导师, 研究方向为物联网、智能信息处理和农业信息监测, E-mail: wfq2006@nit.zju.edu.cn;

胡超, 博士生导师, 研究方向为自动化、智能信息处理和机器人控制。

系统的发展过程,大体可分为两个阶段:一是有线连接方式阶段,二是无线连接方式阶段。有线方式由于需要连接线及转接装置,投资大、运行成本高,不适合偏远地区,而且随着信息采集点的增加,布线难度也在加大。

近几年发展起来的无线传感网络(Wireless Sensor Network, WSN),由于其应用成本低、网络结构灵活和数据传输距离远等优点,已被用于动物的习性观测^[1]和灾害监测^[2]等。但把无线传感网络技术应用于温室监控的报道不多。如何使无线传感器网络有效地对温室各环境参数进行监控,同时保证其具有低成本、低功耗、可靠性高和高效等特点,是一个有待进行深入研究的问题。

为此,本文根据温室的具体情况,结合无线传感网络的特点,设计了基于无线传感网络和 GSM 的温室环境监控系统。该系统可以根据采集温室环境信息的需要,进行传感器节点的随机布置、随意扩充和组合;网络采用层次化的结构形式,节点之间具有自组织能力,大大减轻布线的难度和提高效率,实现了温室环境信息的无线实时传输,为作物的最优生长条件提供了依据和保证。

2 温室环境信息监控系统

2.1 系统的组成及工作原理

基于无线传感网络的温室环境监控系统由传感器节点、传感器节点组成的簇、簇头节点、SINK 节点(网关)、TC35i 模块 1、GSM 网络、TC35i 模块 2 和服务器组成,系统组成框如图 1 所示。

无线传感网络的节点可随机散落在被检测区域内并可以随意扩充,以自组织形式构成网络。典型温室监测的传感器节点包括温湿度传感器(常温下温度精度 $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$,测量范围 $-40^{\circ}\text{C}\sim 123.8^{\circ}\text{C}$;常温下湿度精度 $\pm 3\%$,测量范围 $0\sim 100\%$)与风、雨和阳光辅助传感器。一般,传感器以簇的形式运行。每个簇由一个簇头和多个成员节点组成,簇的形成和簇头的选择由网络采用的路由协议实现。其中,传感器节点负责收集温室的温度、湿度等数据;而簇头负责把附近的许多个温湿度传感器节点的信息收集起来,收集之后进行初步的处理(如计算、压缩、去除冗余等),通过“多跳”路由方式把融合后的数据以无线传输的方式传输给 SINK 节点;汇聚节点由 TC35i 模块 1 通过 GSM 网络以短信息

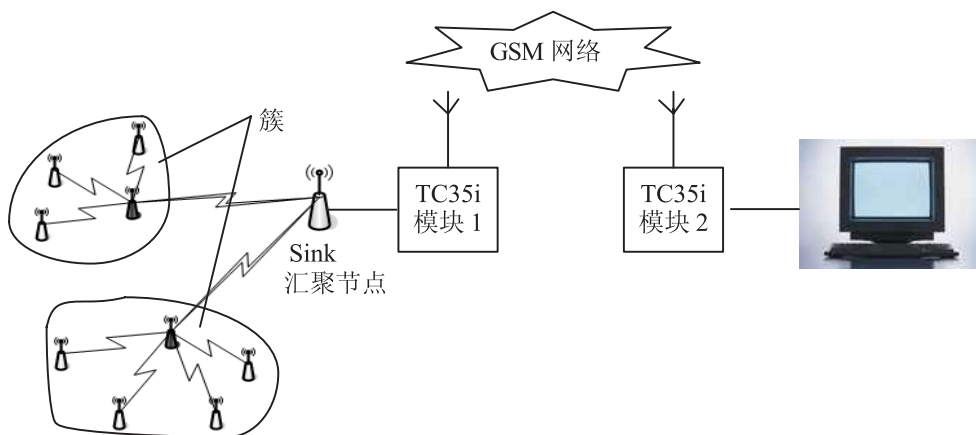


图 1 系统组成框图

Fig. 1. Block diagram of the system

的方式把数据发送出去。远程服务器端 TC35i 模块 2 负责接收 TC35i 模块 1 传送过来的信息并将收集到的信息送往服务器, 以便其查询和决策控制。中心服务器根据收集到的各种信息, 结合不同栽培作物的环境要求, 参照农业专家总结的合理环境控制数据, 采用模糊控制与预测控制相结合的控制方法做出智能决策。而后通过 TC35i 模块 2 发出相应的控制操作, TC35i 模块 1 进行接收, 把控制信号传送给相应的环境控制执行设备, 包括调控天窗、侧窗、湿帘风机、内外遮阳系统、热风炉或加热管道、内循环风机、补光系统、补气系统和浇灌系统等设备, 通过这些设备, 完成温室的目标参数的控制。

2.2 温室环境信息无线传感网络的硬件系统

2.2.1 无线传感节点的结构及功能

如图 2, 无线传感节点由传感器模块、处理模块、无线通信模块和能量供应模块四个部分组成^[3-8]。其中, 传感器模块负责温室内的温度、湿度信息的采集和数据转换; 处理模块负责控制整个传感器节点的信息处理操作和存储, 处理本身采集的数据和其他节点发来的数据, 包括数据安全、路由协议、同步定位、功耗管理、任务管理等等; 无线通信模块负责与其他传感器节点进行无线通信, 交换控制消息和收发采集数据; 电源供应模块为传感器节点提供运行所需的所有电源。

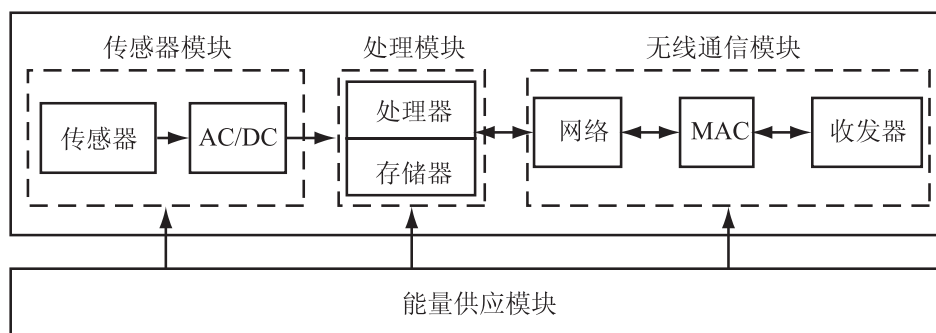


图 2 温室无线传感器节点总体架构

Fig. 2. Architecture of greenhouse wireless sensor node

2.2.2 TC35i 模块

TC35i 是 Siemens 公司生产的 GSM 无线调制解调器, 支持中文短信息的工业级 GSM 模块, 包括短信的接收与发送, 工作在 EGSM900 和 GSM1800 双频段, 电源范围为 3.3~5.5 V, 可传输语音和数据信号, 功耗在 EGSM900(4 类)和 GSM1800(1 类)分别为 2 W 和 1 W, 通过接口连接器和天线连接器分别连接 SIM 卡读卡器和天线。TC35i 的数据接口(CMOS 电平)通过 AT 命令可双向传输指令和数据, 可选波特率为 300 b/s~115 kb/s, 自动波特率为 1.2 kb/s~115 kb/s。它支持 TEXT 和协议数据单元(Protocol Data Unit, PDU)格式的短消息(Short Message Service, SMS), 可通过 AT 命令或关断信号实现重启和故障恢复^[9]。

TC35i 由供电模块(ASIC)、闪存、ZIF 连接器、天线接口等 6 部分组成(如图 3)。作为

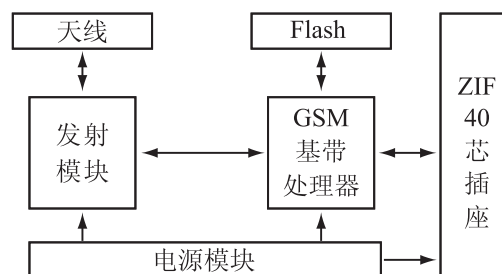


图 3 TC35i 模块的功能框图

Fig. 3. Block diagram of TC35i module

TC35i 的核心, 基带处理器主要处理 GSM 终端内的语音和数据信号, 并涵盖了蜂窝射频设备中的所有模拟和数字功能。在不需额外硬件电路的前提下, 可支持 FR、HR 和 EFR 语音信道编码。

TC35i 的数据输入/输出接口实际上是一个串行异步收发器, 符合 ITU-T RS232 接口标准。它有固定的参数: 8 位数据位和 1 位停止位, 无校验位, 波特率在 300 bps~115 kbps 可选, 硬件握手信号用 RTS0/CTS0, 软件流量控制用 XON/XOFF, 接口信号采用 CMOS 电平, 支持标准的 AT 命令集。TC35i 与外界通信就是依靠 16~23 的数据输入/输出, 它可以完全应用也可以部分应用, 本设计只是涉及里面的 18-RXD0、19-TXD0 作为输入输出, 其他的作为语音通信输出。要使 TC35i 正常工作必须先启动 TC35i, 即给控制线 15 的点火线 IGT 一个大于 100 ms 的低电平^[10]。

3 实验系统设计

本实验在宁波周边某温室进行, 温室种植杜鹃, 温室长度为 50 m, 开间宽度 10 m, 天沟高

4 m, 脊高 4.5 m, 室内面积达 500 m², 温室开有天窗和侧窗, 侧窗为南北向, 配备了供暖、保温、通风和降温等环境调控设施。根据温室的开窗结构和室内流场分布的特征, 温室在水平面上分成 9 个区域, 在垂直方向上分成 3 个层次, 总共分成 27 个区域(如图 4)。无线传感器模块采用宁波中科集成电路设计中心研发的 GAINS-3 模块。该 GAINS-3 系列无线传感器模块采用低功耗、高可靠性的 ATmega128L 单片机为核心的控制芯片, 采用 Chipcon 公司的超高频单片收发通信射频收发器 CC1000。模块具有低电压、低功耗、高灵敏度的特点, 通信距离在室外无障碍的情况下理论上可以达到 300 m^[3]。每个区域布置有温湿度传感器节点, 总共布置了 81 个传感器节点和 1 个 SINK 节点。

4 网络协议及关键技术

温室智能无线传感网络能否有效对环境进行监控, 一个重要的因素是网络协议。本无线传感器网络的协议栈包括应用层、传输层、网络层、数据链路层和物理层。系统采用模块化的设计思想, 其关键技术包含无线路由机制、能量监控和

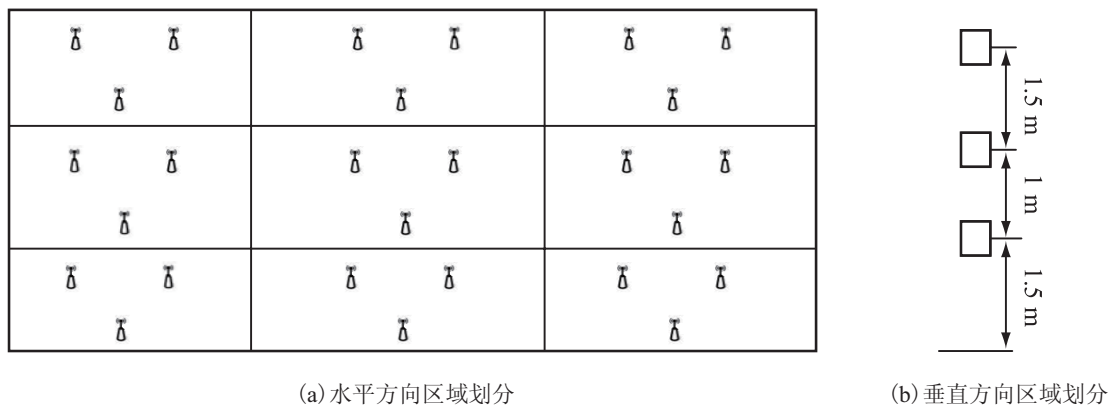


图 4 区域分布示意图

Fig. 4. Schematic diagram of sensors distribution

短信息的编码等。

4.1 无线传感器的路由机制

路由协议的目标是在源节点和目的节点之间建立可靠的路由, 保证数据的高效和可靠传输。传感器网络设计的路由协议可以分为两类: 平面型路由协议和分层路由协议^[4,5]。

GAINS-3 系列室外最大通信距离为 300 m 左右。由于在温室内有作物等障碍物等, 会减少其通信距离, 所以室内最大通信距离为 100 m。经过在温室中测试, 传感器节点与基站的距离在 50 m 的范围内, 数据传输比较稳定。由于最远的无线传感器节点离基站的距离为 25.6 m, 从理论上可以采用单跳方式的路由机制。然而, 一方面考虑到各节点离基站的距离有长有短, 如采用单跳方式, 各节点的能耗就不均衡; 另一方面, 考虑到用于温室群的监控, 因而采用多跳的路由技术, 多跳传输就是在多个终端之间建立网络, 像传递接力棒一样点对点传输数据的方式。

在温室环境监测实际应用环境下, LEACH (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy) 协议, 即低功耗自适应集簇分层型协议仍然存在着协议无法保证簇头节点能遍及整个网络的问题, 很可能出现被选的簇头节点集中在网络中某一区域的现象, 这就给温室环境中边缘节点信息的采集带来了困难。所以, 本系统采用 LEACH 协议的改进版本 LEACH-c, 通过模拟退火算法获得更优的簇头选择策略, 使得簇头的分布更加合理。为避免频繁选举簇头的通信开销, 将网络中的所有节点连接成一条链。链中只有一个节点充当 Sink 节点的角色, Sink 节点在链中顺序游走, 实现节点的能耗平衡。每个节点根据信号强度来衡量其所有邻居节点距离的远近, 在确定其最近邻居的同时, 调整发送信号的强度以便只有这个邻居能够听到。从离 Sink 最远的传感节点开始依次连接下一个最近的传感节点, 从而把整个传感网中的节点组合成一个链。链中每个

节点只能向邻居节点发送数据, 每个传感节点沿链传送数据到簇头节点, 在数据传送过程中进行数据融合, 簇头节点收集完数据则发送给基站。

4.2 能量监控

为了确保网络中各节点的可靠运行, 中心计算机将对各传感器节点进行能量监控。一旦发现某节点能量低于警戒水平, 便及时发出警报, 提醒用户更换相应节点电池或传感器。本系统采用的 LEACH-c 协议, 就考虑到了传感器网络节点的能量问题。该协议作为一种分层路由协议, 通过簇头节点与信息收集节点通信, 减少了其他节点的能量消耗。其次在软件设计中采用门限敏感能量有效协议, 即通过设定两个门限值来减少传输节点所采集、传输的数据, 从而减少能量消耗^[11]。在该协议中, 每个簇头节点向其簇内节点广播其设定的硬门限和软门限值, 使得节点仅传输采集到的值在设定范围的数据。具体地说, 如果节点采集到第一个超过硬门限的值, 则将其发送给簇头。此后, 节点仅传送满足硬门限条件并且与硬门限值之差小于软门限值的数据。通过改变门限值, 可以不同程度地延长网络的生存时间。

4.3 TC35i 模块的编码规则

通过 AT 语言对模块进行控制。每条命令以字母“AT”开头。AT 后跟字母和数字表明具体的功能, 所有的 AT 命令总是以 AT 开头, 以回车<CR>结束。TC35i 模块提供的命令接口符合 GSM07.05 和 GSM07.07 规范。TC35i 的数据接口通过 AT 命令可双向传输指令和数据, 支持两种格式: TEXT 和 PDU 格式。当短信息模块收到网络发来的短信息时, 能够通过串口发送指示消息, 数据终端设备可以向 GSM 模块发送各种命令。与 SMS 相关的 GSM AT 指令见文献[5]。

对发送短消息采用 TEXT 和 PDU 模式需要权衡。使用 TEXT 模式收发短信代码简单, 实现起来十分容易, 但最大的缺点是不能收发中文短

信；而 PDU 模式不仅支持中文短信，也能发送英文短信。PDU 模式收发短信可以使用 3 种编码：7-bit、8-bit 和 UCS2 编码。其中，7-bit 编码用于发送普通的 ASCII 字符，8-bit 编码通常用于发送数据消息，UCS2 编码用于发送 Unicode 字符。根据实际情况，本文介绍的方案采用较简单的 TEXT 编码规则。

下面介绍 TEXT 方式下短消息发送和接收的步骤(或过程)：

(1) 对 GSM Modem 进行初始化，输入 ATZ，若成功系统将会返回 OK；

(2) 设置短消息中心，宁波的短消息中心是 +8613800574500：

AT+CSCA=“+8613800574500”（短消息中心）；值得注意的是，如果短消息中心号码改变，在使用 AT+CSCA 语句时，TC35i 要重新启动；

(3) 设置短消息发送格式，这里我们采用 TEXT 模式发送短消息

AT+CMGF=1（后面的值为 1 则以 TEXT 模式发送；0 以 PDU 模式编码发送）；

(4) 发送短消息，以发送“test”为例，发送到“139XXXXXXXX”

```
AT+CMGS=“139XXXXXXXX”
```

```
> test ^z ;
```

（>是系统给出的输入提示符，test 表示要发送的文本信息，^z 表示 Ctrl+Z 表示输入结束）

(5) 读取短信息，以读取第一条短信为例，AT+CMGR=1。

5 实验测试

通过对无线传感器网络路由机制进行测试，主要包括端到端延时测试、吞吐率测试、丢包率测试、路由发现时间测试和路由协议效率测试。试验结果表明，发包时间间隔大于 10 秒时，网

络丢包率小于 3%，可以认为网络运行比较稳定。网络的容量大概是每秒 2 个数据包，由于网络容量是和 MAC 协议(802.11)密切相关的，考虑到节点发送路由维护包的开销，因此是合理的。

虽然也有不少研究者做过温室环境信息传输的研究，但因为实验条件(如传感器数量和布局等)不统一，故难以对结果评价指标做一些量化对比。如前人的研究有用有线传输、无线 2G、3G 网络通信技术、无线传感网络技术、蓝牙和 Wi-Fi 等方式进行信息的传输^[12,13]。上述系统采用的无线传输技术，要么是单个或几个传感器，要么是在一个平面上布置，无法对温室环境进行全空间的监测。本系统采用的层次化无线传感网络可以根据需要随机进行布置和组合，减少布线的难度，可以对温室环境进行空间上的全方位监控；同时监控数据的灵敏度较好，能耗较低。为温室节能控制提供全面准确的数据，同时也为温室结构优化设计和加热、降温设施的优化布置提供有力的数据支撑。

本文通过对无线传感器网络的温室环境监控系统进行测试，结果见图 5。图 5(a)和(b)分别为温室秋季某区域温度和湿度的监控曲线。图中的温湿度数据为无线传感网络中的一个监测节点发送到监控平台上的一天 24 小时的实时数据，可以看出温湿度曲线能够实时反应温室内环境的变化特征。温度方面，从室内的一天的气象数据(图 5)中可以发现，白天室内温度的上升趋势和太阳辐射的增大趋势几乎完全一样，温度上升的时间比太阳辐射时间略有推迟。由于室内温度不能超过植物适宜的生长温度上限，所以在温度超过其上限就通过自动开窗通风等方式来降低温度。湿度方面，作物有个适宜的湿度范围，当室内湿度超过其上限时，进行开窗通风或除湿；当室内湿度低于其下限时，采用喷雾等方式来补偿室内空气的水蒸气含量以满足植物生长需求。

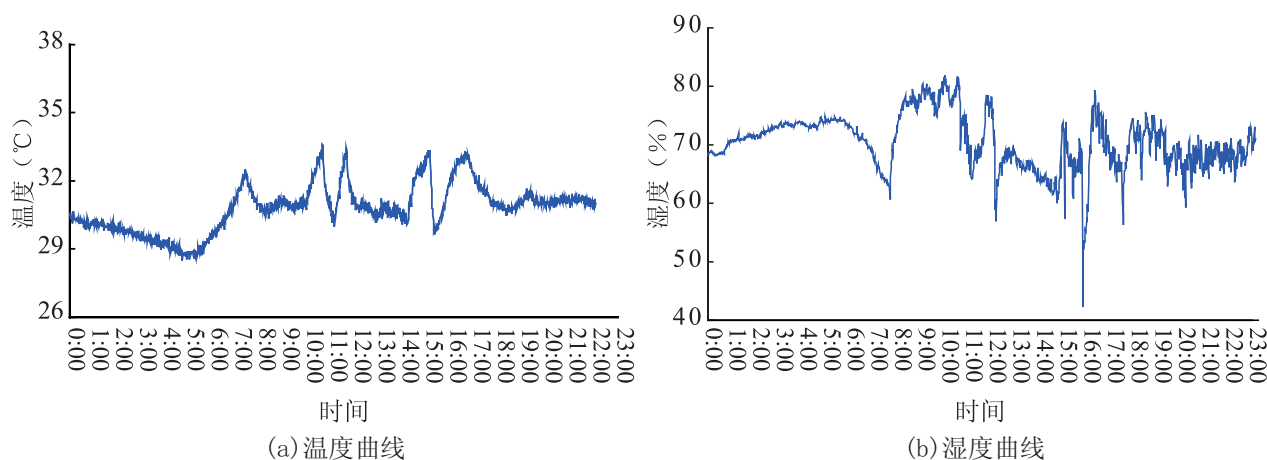


图 5 温湿度曲线

Fig. 5. Temperature curve and humidity curve

6 结 论

基于无线传感器网络的温室环境监控系统可以根据需要随机进行布置、随意扩充和组合, 大大减少布线的难度, 不需要进行周期性路由维护, 减轻了网络负荷, 保证了环境监测的可靠性与实时性。该系统实现了无线传感网络和 GSM 通讯技术的有机结合, 具备网络化和智能化的特点, 管理人员能够随时随地通过网络查看温室内环境的情况。本文提出的技术能适应各种区域条件下的温室及环境参数的监测, 可实现全天候实时的温室自动控制。系统已在一个典型温室中实现应用测试, 实验表明该系统具有较高的稳定性和可靠性, 可以推广应用。

参 考 文 献

- [1] Polastre J, Szewczyk R, Mainwaring A, et al. Analysis of wireless sensor networks for habitat monitoring [C] // *Wireless Sensor Networks*, 2004: 399-423.
- [2] Bonnet P, Gehrke J, Seshadri P. Querying the physical world [J]. *IEEE Personal Communication*, 2000, 7(5): 10-15.
- [3] 李晓维, 徐勇军, 任丰原. 无线传感器网络技术 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2007.
- [4] Heinzelman WR, Chandrakasan A, Balakrishnan H. Energy efficient communication protocol for wireless micro-sensor networks [C] // *Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences*, 2000: 3005-3014.
- [5] Sohrabi K, Gao J, Ailawadhi V, et al. Protocols for self-organization of a wireless sensor network [J]. *IEEE Personal Communications*, 2000, 7(5): 16-27.
- [6] 吴键, 袁慎芳. 无线传感器网络节点的设计和实现 [J]. *仪器仪表学报*, 2006, 27(9): 1120-1124.
- [7] 叶伟松, 袁慎芳. 无线传感网络在结构健康监测中的应用 [J]. *传感技术学报*, 2006, 19(3): 890-894.
- [8] 徐勇军, 安竹林, 蒋文丰, 等. 无线传感器网络实验教程 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2007.
- [9] 吴飞青, 李林功, 马修水. TC35i 在温室环境信息监控中的应用 [J]. *自动化仪表*, 2008, 93(8): 41-44.
- [10] 句荣辉, 沈佐锐. 基于短信息的温室生态健康呼叫系统 [J]. *农业工程学报*, 2004, 20(3): 226-228.
- [11] 孙路, 姜鹏, 夏鹏, 等. 机房环境监测的层次化传感器网络路由机制 [C] // *计算机技术与应用进展 2007——全国第 18 届计算机技术与应用 (CACIS) 学术会议论文集*, 2007: 1888-1892.
- [12] 李萍萍, 王纪章. 温室环境信息智能化管理研究进展 [J]. *农业机械学报*, 2014, 45(4): 236-243.
- [13] 杜晓明, 陈岩. 无线传感器网络在温室农业监测中的应用 [J]. *农机化研究*, 2009, 6: 141-144.