

# 自适应 Tree-Mesh 结构的大棚无线监测网络设计

石繁荣<sup>1</sup>, 黄玉清<sup>1</sup>, 任珍文<sup>1</sup>, 伍春<sup>2</sup>

(1. 西南科技大学信息工程学院, 绵阳 621010; 2. 西南科技大学国防科技学院, 绵阳 621010)

**摘要:** 针对大棚基地作物状态及环境信息的无线采集的需求, 设计了改进的分簇 Tree-Mesh 混合拓扑结构无线传感器网络, 并利用 ZigBee 实现了组网和多跳通信, 以 CC2530 为核心设计了多传感器无线节点硬件系统, 基于 Z-Stack 协议栈设计了有限状态机节点程序。同时, 针对无线节点低功耗和网络信息低冗余的要求, 设计了基于接收信号强度指示的最佳发射功率自适应机制, 和基于感知数据差值的最小传输数据冗余自适应机制。试验结果表明, 节点单跳和多跳通信速率典型值分别为 20 与 0.3 kb/s, 采用干电池供电和直流供电的节点通信距离分别可达 30 和 90 m。仿真结果证明采用低功耗自适应机制的节点功耗降低了 38.44%, 可用作大棚基地的环境监测。

**关键词:** 传感器, 拓扑, 监测, Tree-Mesh, ZigBee, CC2530, 自适应, 低功耗

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2013.05.014

中图分类号: S126, TN919.72

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2013)-05-0102-07

石繁荣, 黄玉清, 任珍文, 等. 自适应 Tree-Mesh 结构的大棚无线监测网络设计[J]. 农业工程学报, 2013, 29(5): 102-108.

Shi Fanrong, Huang Yuqing, Ren Zhenwen, et al. Design of adaptive tree-mesh hybrid wireless sensor networks for greenhouses[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(5): 102-108. (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

无线传感器网络 (WSN, wireless sensor network) 是信息科学的热点研究, 通过在监测区域中部署大量低成本的无线传感节点协同工作, 从而实现信息感知和传输。ZigBee 有高可靠性、自组网、多跳路由、低成本、低功耗、低速率和网络容量大等特点<sup>[1-4]</sup>, 国内外大量研究将其应用到无线传感器网络中<sup>[5-15]</sup>, 亦有相关研究提出 ZigBee 与 RFID 的混合应用<sup>[16-20]</sup>。

无线传感器网络应用到大棚环境信息采集, 可推动农业生产的信息化和智能化, 目前国内外有大量基于 ZigBee 的无线传感器网络的研究, 已有大量相关的研究将其应用在精细农业中<sup>[8-15]</sup>。文献 [8-12] 描述了一种基于 ZigBee 的农业环境信息采集系统, 文献 [13-14] 描述了一种基于 ZigBee 的农业设施无线控制系统, 文献 [5-7] 则描述一种 ZigBee 与其他网络混合的异构系统, 其中 ZigBee 技术被广泛用来组建无线网络。

本文针对大棚基地成簇分布的特点, 设计了 Tree-Mesh 分簇混合拓扑结构, 并在此基础上设计

了基于 ZigBee 的无线节点软硬件系统, 同时针对节点低功耗管理需求设计了功耗管理机制, 以满足大棚基地环境信息的长期监测, 实现作物信息无线采集, 以及基地无人值守监控。

## 1 网络拓扑结构

在拓扑结构上, 文献 [5-15] 描述的系统主要为分层树形拓扑结构, 特点是路由发现和网络层次结构清晰, 便于网络设备管理, 不足则在于树干节点的路由能力和生命周期决定了子网络的生命周期。

本文针对大棚基地成簇分布的特点, 结合现有系统的优点, 设计了基于分簇的 Tree-Mesh 混合网络拓扑结构, 如图 1 所示。系统包含一个含 ZigBee 协调器的网关, 多个作为簇头的路由节点, 以及大量的普通路由节点和传感器节点。网络以大棚为单位形成分簇, 每一个分簇内包含 1 个簇头, 数个路由节点和传感器节点。簇头处于大棚之间的连通区域, 并与汇聚节点组成一个 Mesh 网络, 与簇内的路由节点和传感器节点组成分层 Tree 形网络。传感器数据首先汇集在簇头上, 经网关传输至控制台。

基于上述网络结构描述, 本文完成工作主要为多传感器网络软硬件设计, 以及在此基础上开展节点低功耗自适应机制的研究。网络中的设备为可编程设备, 且具有一定的计算能力, 本系统在网络拓扑结构, 以及网关和网络设备硬件设计上, 充分考虑了系统扩展性和研究的延续性, 可开展农业精细

收稿日期: 2012-12-08 修订日期: 2013-02-14

基金项目: 绵阳市科技计划项目 (10J006)

作者简介: 石繁荣 (1987-), 男, 重庆人, 助教。主要从事无线传感器网络研究。绵阳 西南科技大学信息工程学院, 621010。

Email: shifanrong1987@163.com

灌溉和农业设施无线控制等后续研究。

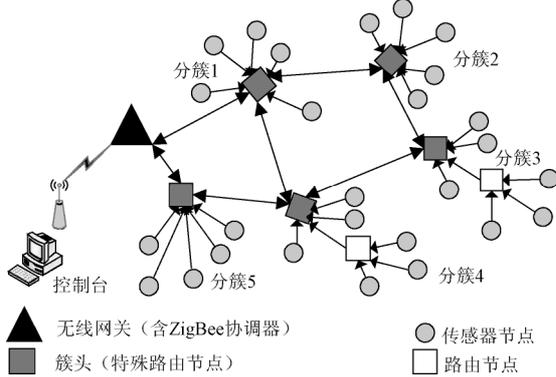


图 1 网络拓扑结构  
Fig.1 Network topology

### 2 硬件系统

多传感器节点以 CC2530 为核心集成多种传感器，可采用两节 5 号电池供电。CC2530 集成了无线电收发器、8051 内核、串口、ADC 和定时器等外设<sup>[21]</sup>，因此节点成本、体积和功耗都能得到极大降低，并支持节点完成数据运算。

低功耗的无线节点由 CC2530 射频模块、传感器扩展板和电源底板块组成。CC2530 射频模块和传感器扩展板通过电池底板上的插针连接，以拨码开关触发节点程序兼容多种类型的传感器扩展。传感器单元可根据大棚环境需求，替换相应的传感器扩展板，本文针对温湿度、加速度和气压信息描述扩展板的设计。

系统包含的协调器、路由节点和传感器节点共用上述的 CC2530 射频模块，根据节点实际功能设计相应的程序。分别设计了协调器程序、路由节点程序（簇头）和传感器节点程序，对射频模块烧写相应的程序得到不同类型节点。

图 2 所示为采用两节 5 号干电池供电的无线传感器节点实物图，而簇头节点通常采用直流电源供电。

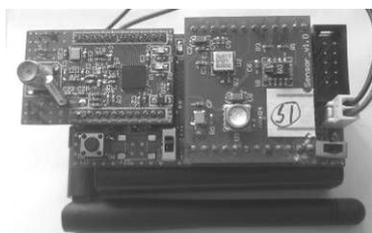


图 2 无线传感器节点  
Fig.2 Wireless sensor node

### 3 多传感器节点程序设计

节点程序基于 Z-Stack 协议栈设计，运行于类似嵌入式操作系统的被称为 OSAL (operating system

abstraction layer) 任务分配机制<sup>[22-24]</sup>，模块化实现 ZigBee 协议层，并基于协议栈应用层开发子程序。

#### 3.1 数据传输协议

节点程序基于 Z-Stack 协议栈实现低功耗改进和 Tree-Mesh 网络组建，在其应用层完成多传感器程序控制、数据帧组装和解析。所以网络数据传输协议定义有：

1) 网络中传输的数据实体均由应用层生成并按照帧格式封装为数据帧，对于协议栈则为透明传输，只有目标节点的应用层解析处理数据帧。

2) 节点程序低功耗改进和 Tree-Mesh 网络组建，均在 Z-Stack 的 MAC(Media Access Control)层和 NWK(Network)层实现，低功耗管理相关数据传输目的地为对等节点的 MAC 层和 NWK 层，相对于其他协议层则为透明数据。

#### 3.2 数据格式定义

主要针对控制台界面显示和交互式控制，设计了节点设备简单描述符数据实体和节点设备数据实体。

设备简单描述符实体如图 3，其功能为向协调器或网关控制平台，报告节点属性(Z\_atr)、网络地址(NWK\_addr)和节点父节点网络地址(Coor\_addr)，以及设备标号(Dev\_ID)和控制/状态(STA)等相关信息。网关程序根据描述符控制管理指定节点设备，并动态生成网络拓扑结构图和控制界面。



图 3 简单描述符数据实体  
Fig.3 Simple descriptor data entity

节点设备数据由源节点应用层生成，目的地是网关管理平台或网络中节点的应用层对象实体。节点设备数据实体如图 4，对于同一个节点负载多个设备，在控制和解析节点上特定的设备数据/状态时，由 NWK\_Addr 锁定源/目标节点的位置，再由 C\_ID 锁定节点上对应设备。

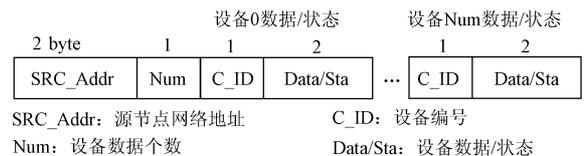


图 4 节点设备数据实体  
Fig.4 Node device data entity

#### 3.3 基于有限状态机的多传感器程序设计

多传感器控制程序运行于 Z-Stack 协议栈应用

层, 节点周期性采集并传输数据, 随后调用 `osal_start_timerEx()` 函数注入传感器定时休眠任务, 考虑程序的通用性和逻辑性, 传感器程序设计基于有限状态机 (finite state machine, FSM) 完成, 将传感器的总线时序按基本操作定义为相应的状态, 并根据其转换模式设置对应的状态跳转机制, 实现传感器控制及相关操作。程序状态转移示意如图 5 所示。传感器控制程序通常处于空闲状态 `IDLE`, 在获取转换命令后, 则进入传感器启动状态 `start`, 转换时间结束后进入转换状态 `convert`。若转换成功则读取数据, 否则重启传感器。

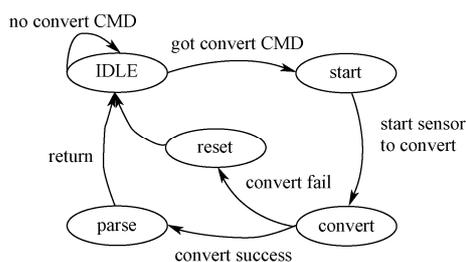


图 5 传感器控制程序状态示意图

Fig.5 Sensor control process state diagram

#### 4 节点低功耗自适应机制设计

传感器节点的能量消耗大部分用于无线传输, 根据文献[25]描述, 无线传感器节点发送、接收和 `IDLE` (帧监听) 操作消耗了节点绝大部分的能量, 而传感器和处理器消耗较少的能量。而无线传感器网络主要为收集范围内的环境信息, 传感器节点应及时获取环境的变化, 并将其传输到控制台采取应对措施。传感器节点按照固有的周期采集和发送感知数据, 对于传感器节点能量管理和环境信息感知的实时性, 都有不合理之处。主要有以下 2 个方面:

1) 在环境保持稳定、只是在极小的范围内变化时, 如  $0.1^{\circ}\text{C}$  的温差, 传感器采集的数据不足以反应环境信息的变化, 而节点仍然按照固定的周期采集环境信息并传输, 这种不合理的工作机制, 会导致节点能量被浪费掉;

2) 而另一种情况则是, 当环境发生骤变时, 如温度突然升高了  $10^{\circ}\text{C}$ , 此时系统希望感知节点能够密切地关注环境信息的变化, 若节点按照固定的周期去采集传感器数据, 则不能达到及时反映环境信息的目的。

针对上述问题, 在感知节点上设计了基于接收信号强度指示 (received signal strength indication, RSSI) 的发射功率调整机制和基于感知数据差的低功耗自适应机制。

##### 4.1 基于 RSSI 的发射功率自适应机制

针对网络环境稳定且较少移动的节点, 其能量

消耗主要用于节点数据发送, 而基于 RSSI 值调整发射功率, 并建立可靠的通信链路, 是降低节点能量消耗的一种方法。

图 6 所示为子节点与父节点建立最低功耗通信链路的流程, 首先, 子节点以最大发射功率加入网络, 并向父节点发送发射功率校正命令; 在接收到父节点返回的 RSSI 值后, 子节点则根据 RSSI 的大小调整自己的发射功率。调整过程持续到感知节点以最小的发射功率, 与父节点建立可靠的通信链路。

RSSI 受节点之间的距离和障碍物等信道质量情况影响, 不同的子节点与父节点建立可靠链路所需要的发射功率则不一样。根据节点间的实际信道质量, 调整不同节点间的发射功率, 避免节点以固定的发射功率通信时因距离太近而造成的能量浪费。

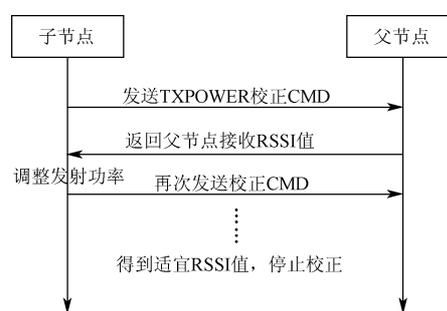


图 6 功率校正流程

Fig.6 Power correction process

##### 4.2 基于感知数据差的低功耗自适应机制

为了避免节点不必要的发射操作和过于频繁的唤醒行为, 感知节点能根据其采集的环境信息, 调整自己下一次采集时间 (既是休眠时间长度), 选择性地将数据向管理端更新, 可以节约节点的能量, 且满足网络对环境信息感知的实时性要求。在本系统中, 设计了一种基于传感器数据差的感知调整方法。这种方法包含 2 个方面:

1) 感知节点根据当前温度的测量值与历史温度测量值的差, 若差值在系统设置的误差范围之内, 如  $<0.5^{\circ}\text{C}$ , 则节点将丢弃当前的测量值, 放弃将其更新至网关管理端, 并直接进入休眠状态。

2) 另一方面, 同样是根据测量差值, 计算节点休眠时间, 即是下一次测量时间, 定义为:

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{D1} = \left| \sum_{k=0}^n V_k - V_{def} \right| \quad (k \in 0, 1, 2, \dots, n) \\ V_{D2} = \left| \sum_{k=0}^n V_k - V_{k+1} \right| \quad (k \in 0, 1, 2, \dots, n) \\ T_n = \begin{cases} 1/f_{def} & V_{D2} < V_{erro} \\ 1/(V_{D1} \times V_{D2} f_{step} + f_{def}) & V_{D2} > V_{erro} \end{cases} \end{array} \right. \quad (1)$$

其中  $V_k$  为第  $k$  个历史数据,  $k$  取值为  $(0, 1, \dots, n)$ ,

如  $V_0$  为当前测量值。  $n$  为参与平均运算的数据个数，  $V_{def}$  为系统设置的常量。  $VD_1$  为  $V_{n-k}$  与  $V_{def}$  之差的累加绝对平均值，反映当前测量对象偏离  $V_{def}$  的程度。  $VD_2$  为  $V_k$  与相邻的历史测量值  $V_{k+1}$  之差的累加绝对平均值，反映当前测量对象的变化趋势。  $f_{def}$  为默认测量频率（默认休眠时间）， Hz；  $f_{step}$  为频率调整的步长， Hz；  $V_{erro}$  为系统对测量误差容忍值；  $T_n$  为节点休眠时间， s。  $VD_2 < V_{erro}$  时，  $T_n$  保持不变，反之则做调整获得新的休眠周期。

## 5 系统传输性能试验分析

### 5.1 点对点传输试验

点对点传输是节点性能的一个重要指标，本文分别针对节点的数据速率和传输距离做了大量的试验测试，基于大量实测数据，统计丢包率情况获得典型值。

图 7 所示为数据速率测试丢包率统计，试验环境设置为：室外环境，3.3 V 直流供电，传输距离（视距） >30 m，发射功率 1 mW，单次测试持续时间 10~20 min。图示数值为节点多次试验的平均值，当发射速率逐渐增大到 21 kb/s 时，接收节点丢包率明显增大，速率为 22.5 kb/s 时丢包率约为 6%，可得节点的数据速率测试最大可靠值为 20 kb/s，比较接近 ZigBee 的典型数据速率 25 kb/s<sup>[1]</sup>。

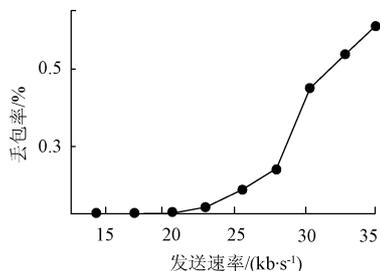


图 7 单跳传输测试丢包率

Fig.7 Single-hop transmission rate test packet loss rate

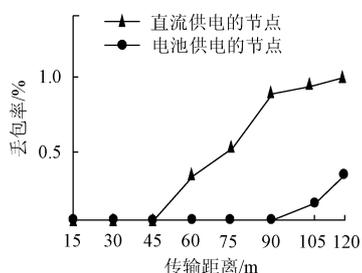


图 8 传输距离测试丢包率

Fig.8 Transmission distance test packet loss rate

图 8 所示为数据传输测试丢包率统计，试验环境设置为：室外环境，发射功率 1 mW，单次测试

持续时间 10~20 min。图示数值为节点多次试验的平均值，采用两节 5 号干电池供电的节点传输距离 >30 m 时，丢包率则开始增加，传输距离接近 100 m 时，丢包率则接近 100%。采用直流电源供电的节点最大传输距离为 90 m。

### 5.2 多跳通信试验

多跳通信试验设置了由源设备终端节点、中转设备路由器和目标设备协调器组成的 2 跳网络。测试环境与点对点通信一致，节点均以两节 5 号干电池供电，源设备到目标设备的距离 >50 m。针对数据速率和丢包率进行大量试验，得到发送速率与接收速率对比如图 9 所示，目标节点数据速率与丢包率关系如图 10 所示。

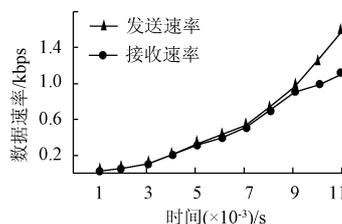


图 9 发送/接收数据速率对比

Fig.9 The data rate of TX/RX compared

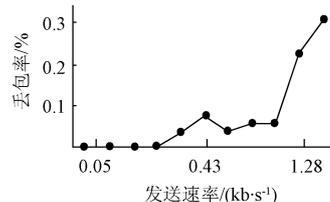


图 10 多跳传输丢包率

Fig.10 Multi-hop transmission experiment packet loss rate

图 9 与图 10 反映了多跳网络下的路由节点的吞吐量和数据处理能力，图示可知，由于协议栈效率等因素，多跳通信下的传输速率有一定的降低，在保证丢包率为 0 的前提下，两跳通信的数据速率的试验值可以达到 0.3 kb/s。而经多跳路由后，数据的有效传输距离得到提高。

## 6 节点低功耗仿真分析

针对上述低功耗自适应机制，基于 20 kb/s 试验数据速率值，针对温度对象进行 Matlab 仿真分析。

### 6.1 传感器节点功耗模型

本文参考文献[26-28]对节点能量消耗模型的描述，并引用文献[28]推导的数学模型，将无线传感器节点的能量消耗分为发送、接收和空闲模式下的能量消耗。分析了本文所描述系统的节点能量消耗组成，增加了传感器控制（指令操作）、休眠模式下的能量消耗，得到无线传感器节点能量消耗的

数学模型为:

$$\begin{cases} P_{avr} = P_{tx}T_{tx} + P_{rx}T_{rx} + P_{idel}T_{idel} + P_{sleep}T_{sleep} + P_{order}T_{order} \\ P_{col} = 1 - e - \left( \sum_{i=1}^{N_{msg}} g_i L_i \right) \frac{N_{int}}{r} \\ E_{bit} = \frac{P_{avr}}{N \times L(1 - P_{col})} \\ R = \frac{P_{avr}}{E_{bit}(1 - P_{col})} \\ E = \frac{4.124}{R} e^{\frac{0.0425}{R}} \\ \bar{E} = \frac{E}{T} \end{cases} \quad (2)$$

其中  $N$  为节点发送速率, kb/s;  $L$  为数据包的长度即节点数据负载, Byte;  $P_{avr}$  为周期  $T$  内, 节点的发送模式、接收模式、空闲模式、指令模式和休眠模式下的能量消耗之和, W;  $P_{col}$  为单信道碰撞概率;  $E_{bit}$  为节点发送 1bit 数据能量消耗, J;  $N_{msg}$  表示大小不同的数据包的个数;  $g_i$  表示长度为  $L_i$  的数据包的网络负载, Byte;  $\bar{E}$  为节点周期时间内的平均能量消耗, W。

### 6.2 感知节点功耗仿真分析

改进后的感知节点采用了 4.1 和 4.2 描述的自适应机制, 仿真模型参数: 设置式 1 参数  $f_{step}$  为 0.0042 Hz, 默认休眠时间均为 2 分钟, 温度测量允许误差最大值 0.2°C, 以 20°C 为常温, 取  $n$  为 3。

考虑大棚基地的生产需求, 可知其温度为在小范围内波动恒定值, 这一规律符合平稳随机过程的数字特征, 恒定温度即统计平均, 波动幅度即标准方差, 因此设温度为一个平稳随机过程, 以此产生符合客观规律的仿真样本。温度值采用 `normrnd()` 函数生成随机样本, 取均值参数  $\mu$  为 20, 标准方差参数  $\sigma$  为 0.6。图 11 所示为 2 个温度样本: 随机变化的平稳样本; 以及在平稳样本中插入骤变值的骤变样本, 如区域 A 所示。

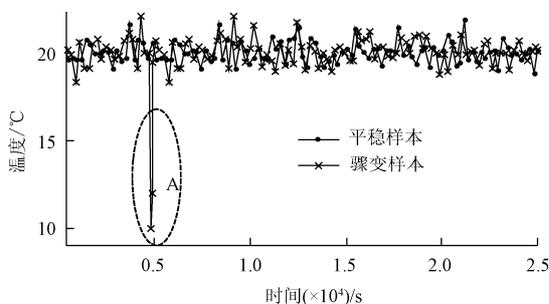


图 11 温度值样本

Fig.11 Temperature value of the sample

图 12 所示改进前后的感知节点对 4 个温度样

本采集的功耗统计图。区域 A 对应的为改进节点采集骤变样本的功耗, 在其所处的时间段内, 由于温度发生骤变, 节点的自适应机制增大了传感器对温度信息的感知频率和传感器数据上传频率, 感知节点的功耗随之增大。另改进节点对平稳样本的采集功耗则明显低于为改进的节点功耗, 节点的整体功耗相比改进前呈明显的下降趋势。

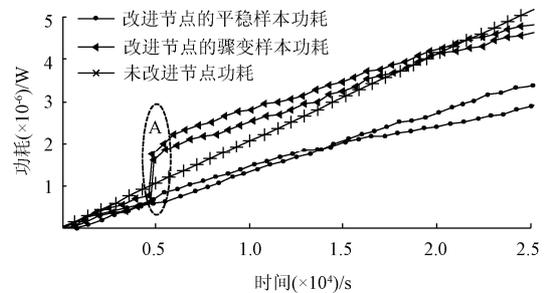


图 12 感知节点功耗对比

Fig.12 Sensor node power compared

通过统计 2000 个仿真样本结果, 得到改进后的能量消耗为改进前的 77.52%~45.58%, 平均值为 61.56%, 相比未改进节点降低了 38.44%。

### 7 结 论

本文设计了 Tree-Mesh 分簇混合拓扑结构的无线传感器网络, 以适应大棚基地的环境监测应用, 完成了以 ZigBee 芯片 CC2530 为核心的系统软硬件设计, 实现环境信息感知、传输和设备无线控制。针对节点低功耗需求, 基于节点能量消耗分布, 设计了低功耗自适应机制, 以降低网络中冗余数据, 并满足信息感知实时性的要求。

试验结果表明, 节点单跳通信与多跳通信数据速率典型值分别为 20 和 0.3 kb/s, 采用两节 5 号干电池供电与直流电源的节点平均通信距离分别可达 30 和 90 m。基于上述试验结果, 通过 Matlab 仿真分析证明, 具有低功耗管理机制的节点平均能量消耗降低了 38.44%。实际应用下的低功耗管理效率, 则需要进一步的试验测试。

#### [参 考 文 献]

- [1] Drew Gislason. Zigbee Wireless Networking[M]. Burlington: Newnes, 2008.3, 14.
- [2] Robert Faludi. Building Wireless Sensor Networks with ZigBee, XBee, Arduino, and Processing[M]. Sebastopol: O'Reilly Media, 2010.20—60.
- [3] Fred Eady. Hands On ZigBee[M]. Burlington: Newnes, 2007.23—45.
- [4] Shahin Farahani. ZigBee Wireless Networks and Transceivers[M]. Burlington: Newnes, 2008:32—65.
- [5] 郑凯. 基于 ZigBee 无线传感器技术的心电监护网络的

- 研究[D]. 吉林: 吉林大学图书馆, 2008: 10—20.  
Zheng Kai. Research on Electrocardiograph Monitoring Network based on ZigBee Wireless Sensor Technology [D]. Ji Lin: Jilin University Library, 2008: 10—20. (in Chinese with English abstract)
- [6] Zhang Qian, Yang Xianglong, Zhou Yiming, et al. A wireless solution for greenhouse monitoring and control system based on ZigBee technology[J]. Journal of Zhejiang University, 2007, 8(10): 1584—1587.
- [7] Xi Wang, Hui Gao. Agriculture wireless temperature and humidity sensor network based on ZigBee technology[J]. Computer and Computing Technologies in Agriculture V, 2011: 155—160.
- [8] 肖德琴, 古志春, 冯健昭, 等. 稻田水分监测无线传感器网络优化设计与试验[J]. 农业工程学报, 2011, 27(2): 174—179.  
Xiao Deqin, Gu Zhichun, Feng Jianzhao, et al. Design and experiment of wireless sensor networks for paddy field moisture monitoring[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(2): 174—179. (in Chinese with English abstract)
- [9] 邓小蕾, 郑立华, 车艳双, 等. 基于 ZigBee 和 PDA 的农田信息无线传感器网络[J]. 农业工程学报, 2010, 26(增刊 2): 103—108.  
Deng Xiaolei, Zheng Lihua, Che Yanshuang, et al. Development of wireless sensor network of field information based on ZigBee and PDA[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2010, 26(Supp.2): 103—108. (in Chinese with English abstract)
- [10] 孙玉文, 沈明霞, 周良, 等. 农田无线传感器网络的节点部署仿真与实现[J]. 农业工程学报, 2010, 26(8): 211—215.  
Sun Yuwen, Shen Mingxia, Zhou Liang, et al. Simulation and realization of farmland wireless sensor networks nodes deployment[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2010, 26(8): 211—215. (in Chinese with English abstract)
- [11] 王卫星, 罗锡文, 孙道宗, 等. 茶园信息采集无线传感器网络节点设计[J]. 农业工程学报, 2011, 27(5): 169—173.  
Wang Weixing, Luo Xiwen, Sun Daozong, et al. Design of wireless sensor network node for data transmission in tea plantations[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2011, 27(5): 169—173. (in Chinese with English abstract)
- [12] 杨婷, 汪小昆. 基于 ZigBee 无线传感网络的自动滴灌系统设计[J]. 节水灌溉, 2010(2): 10—16.  
Yang Ting, Wang Xiaochan. Automatic drip irrigation system design based on ZigBee wireless sensor network[J]. Water Saving Irrigation, 2010(2): 10—16. (in Chinese with English abstract)
- [13] 张观山, 束怀瑞, 高东升, 等. 基于 ZigBee 和 GPRS 的远程果园智能灌溉系统的设计与实现[J]. 山东农业大学学报: 自然科学版, 2012, 43(3): 377—380.  
Zhang Guanshan, Shu Huairui, Gao Dongsheng, et al. The monitoring system design and implementation of orchard drought based on GPRS and ZigBee[J]. Journal of Shandong Agricultural University: Natural Science, 2012, 43(3): 377—380. (in Chinese with English abstract)
- [14] Ropponen A, Linnavuo M. Low-frequency localization and identification system with ZigBee network[J]. International Journal on Smart Sensing And intelligent Systems, 2011, 4(1): 75—93.
- [15] Yang Huanjia, Yang Shuanghua. Connectionless indoor inventory tracking in Zigbee RFID sensor network[C]// IECON'09, 2009: 2618—2623.
- [16] Weixin Wang, Jongwoo Sung. Complex Event Processing in EPC Sensor Network[J]. ISORC, 2008: 165—169.
- [17] Jongwoo Sung, Sanchez Lopez T, et al. The EPC Sensor Network for RFID and WSN Integration Infrastructure . Fifth Annual IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshop, 2007, 3: 618—621.
- [18] Chav alit Srisathapornphat, Chaiporn Jaikao, Chien-Chung Shen. Sensor information networking architecture. international conference on parallel processing workshops[J], 2000, 8: 23—31.
- [19] Huanjia Yang, Lili Yang, etc. Hybrid Zigbee RFID sensor network for humanitarian logistics centre management[J]. Journal of Network and Computer Applications, 2011(34): 938—948.
- [20] A. Ropponen, M. Linnavuo. Low-Frequency Localization and Identification System with Zigbee Network[J]. International Journal on Smart Sensing And intelligent Systems, 2011, 4(1): 75—93.
- [21] TI. cc2530 datasheet. <http://www.ti.com.cn>. 2011.5.01.
- [22] TI. CC253X User Guide. <http://www.ti.com.cn>. 2011.5.01.
- [23] TI. OSAL API.pdf. <http://www.ti.com.cn>. 2011.5.8
- [24] TI. Z-Stack Smart Energy Developer Guide. <http://www.ti.com.cn>. 2011.5.1.
- [25] Daborah Estrin. Tutorial “Part IV: Sensor Network Protocols”[R]. Mobicom, 2002. <http://nest1.ee.ucla.edu/tutorials/mobicom02>. 2011.4.11.
- [26] Alberto Cerpa, Deborah Estrin. ASCEN Adaptive Self-Configuring sensor Network Topologies[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2004, 3: 272—285.
- [27] 高博. 无线传感器网络中 IEEE802.15.4 MAC 的协议建模与能量有效性研究[D]. 上海: 上海交大图书馆, 2009: 27—32.  
Gao Bo. Modeling and Energy-Efficiency Study of IEEE 802.15.4 MAC in Wireless Sensor Networks[D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University Library, 2009: 27—32. (in Chinese with English abstract)
- [28] 杨凤, 李强, 朱灵波. 一种无线传感器网络跨层能量模型及能耗计算[J]. 计算机工程与应用, 2008, 4(22): 172—175.

Yang Feng, Li Qiang, Zhu Lingbo. Cross-layer energy model and energy consumption formulas for WSN[J].

Computer Engineering and Applications, 2008, 44(2): 172—176. (in Chinese with English abstract)

## Design of adaptive tree-mesh hybrid wireless sensor networks for greenhouses

Shi Fanrong<sup>1</sup>, Huang Yuqing<sup>1</sup>, Ren Zhenwen<sup>1</sup>, Wu Chun<sup>2</sup>

(1. School of Information Engineering, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, China;

2. School of National Defence Science and Technology, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, China)

**Abstract:** Wireless sensor networks have been widely utilized in agricultural production in such as crop information monitoring systems, agricultural facilities' wireless control systems, etc. The wireless sensor networks could promote the development of agricultural information and intelligence, and more research has been focused on using ZigBee wireless technology to build the networks in recent years. To collect the base crop status and environmental information of greenhouses in a wireless way, a wireless sensor monitoring network system was designed. The basic work of this paper was the software and hardware system design; further work is projected to be low-power adaptive mechanism design. In analyzing the distribution characteristics of the greenhouse base, it could be seen that the greenhouses were concentrated in their distribution, but independent from each other. So the network topology architecture was designed as clustering Tree-Mesh hybrid topology architecture, and the nodes of the cluster belonged to the same greenhouse. The network was built up by a coordinator, and a large number of routers and sensor nodes were joined in. The coordinator was a sink node, it was designed as a gateway, and there were some routers which played the role of cluster head in the network. The clustering Tree-Mesh hybrid network was built in two steps: First, the mesh network was established by the coordinator and cluster head. Then, the tree network was built by the cluster head, and the tree was a cluster with routers and sensor nodes. The system utilized ZigBee to build the wireless sensor network and multi-hop communication, and the hardware of a single chip multi-sensor wireless node based CC2530 was designed. The modular design of the hardware subsystem was composed of a radio module, sensor module and power module. The finite state machine node software and the low-power improvement were designed based on Z-Stack. The stack ran on a task allocation mechanism that was similar to the embedded operating system. According to the wireless channel quality of the motionless node, the best transmit power adaptive mechanism based Received Signal Strength Indication was designed, and the node adjusted the transmission power to get a credible communication link. According to the energy consumption distribution of the node subsystem, to reduce the energy consumption of the wireless transmission, a minimum data transmission redundancy adaptive mechanism based perceptual data difference value was designed. And the node dropped the sensor data which had less information to avoid frequent wireless transmission. With these adaptive mechanisms, the node could meet the requirements of low power consumption and low network data redundancy. The test results showed that, when the transmitting power is 1 mW, the typical data rate of point-to-point communication is 20 kb/s, and of multi-hop is 0.3 kb/s. The communication distance of the node with the 5th battery powered is up to 30 m, and DC is 90 m. The theoretical simulation analysis showed that the energy consumption of the low-power adaptive mechanism node reduces by 38.44%. The system can meet the greenhouse base environmental monitoring application.

**Key words:** sensors, topology, monitoring, Tree-Mesh, ZigBee, CC2530, adaptive, low power consumption