

# 作物精量灌溉系统的无线传感网络应用开发

熊书明<sup>1</sup>, 王良民<sup>1,2</sup>, 王新胜<sup>1</sup>, 詹永照<sup>1</sup>

(1. 江苏大学计算机科学与通信工程学院, 镇江 212013; 2. 东南大学计算机科学与工程学院, 南京 210018)

**摘要:** 为准确提供作物水分亏缺程度并为精量灌溉提供科学依据, 基于作物水分胁迫声发射原理, 研究无线传感器网络技术在精量灌溉系统中的应用。采用自适应加权数据融合算法来提高声发射信号精度, 提出基于簇的多跳路由算法以减少结点数据传输能耗, 利用 NB100 网关实现无线网和有线网之间的桥接。系统分布式运行, 具有鲁棒性强、易于扩充和伸缩性良好等优点。仿真试验表明该系统组网正确、无线传输能耗占总能耗的 60% 以上, 可以使人们远程、精确获取作物需水信息, 并实施精量灌溉, 能够应用到农田、苗圃、温室等节水农业领域中。

**关键词:** 无线传感器网络, 精量灌溉, 网络协议, 数据融合, 水分胁迫

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2009.07.026

中图分类号: TP273+.2, S122

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2009)-7-0143-05

熊书明, 王良民, 王新胜, 等. 作物精量灌溉系统的无线传感网络应用开发[J]. 农业工程学报, 2009, 25(7): 143-147.  
Xiong Shuming, Wang Liangmin, Wang Xinsheng, et al. Development of wireless sensor networks in precision irrigation system for crop[J]. Transactions of the CSAE, 2009,25(7): 143-147.(in Chinese with English abstract)

## 0 引言

作物在生长过程中, 常受到众多环境的影响, 包括水分亏缺、温度异常、病虫害和不利土壤条件等, 水分亏缺对作物生长发育和产量的影响超过所有其他环境影响的总和<sup>[1]</sup>。随着水资源的日益紧缺和环境恶化, 世界各国水资源供求之间的矛盾愈发突出, 研究表明农业使用约全世界淡水的 70%, 这其中 40% 左右由于蒸发、土壤深层吸收等浪费。为解决此矛盾, 必须大力发展和推广精量灌溉<sup>[2]</sup>, 它根据作物需水信息实时、适量地进行科学灌溉, 达到节水增产的目的。

根据精量灌溉依据的指标不同, 分为两类: 间接指标(包括土壤、气候等)和直接指标(作物生理参数等)。间接指标不能确切反映作物水分亏缺状况, 直接指标作为作物缺水诊断及灌溉控制更为合理<sup>[3]</sup>, 利用作物水分胁迫声监测技术的直接指标具有快速测定且不具破坏性等优点。利用直接指标判定水分亏缺的研究成果主要有: 在音频范围内采集直接指标水胁迫声信号<sup>[4]</sup>, 但其精度受到环境噪声的很大影响; 在超音频范围内采集声发射信号以避免环境噪声的干扰, 使声发射法简便可行<sup>[5]</sup>, 研制出以单片机为核心的作物水分胁迫声监测仪; 基于作物水分胁迫声发射信号监测的温室作物灌溉自动控制系统<sup>[6]</sup>。直接指标的水胁迫声监测方法日益受到众多学者推崇, 然而, 上述系统存在明显不足: 1) 传感器以有线方式连接, 使得布

线复杂, 易受潮湿、高温等环境影响而降低系统通信可靠性, 且可扩展性差; 2) 数据信号集中式处理, 容易造成系统瓶颈, 难以进一步提高系统性能; 这些因素较大地限制了研究成果在生产实际中的推广应用。无线传感器网络(wireless sensor networks, WSN)作为一种新的信息获取方式和处理模式备受关注, 它不依赖于固定的基础设施, 具有快速展开、抗毁性强等特点, 被认为是解决精细农业数据采集和处理的一种好方案<sup>[7]</sup>, 在葡萄栽培、草原放牧和温室环境监测等方面有着广泛的应用, 但在水胁迫声监测系统中对这些问题的解决还处于初始研究阶段。

本文给出基于作物水分胁迫声监测精量灌溉系统的无线传感器网络应用开发的初步研究成果。该系统采用 Crossbow 公司基于 ZigBee 协议的 MicaZ 结点和 MTS310 传感器板进行传感器网络应用设计, 完成数据采集和传输功能, 利用 NB100 网关实现无线网和有线网之间的桥接, 从而能够远程控制精量灌溉。

## 1 工作原理及体系结构设计

### 1.1 作物水分胁迫发声检测原理

水分运输的内聚力理论阐述了水在土壤-植物-大气连续体系统中的运输是处于一定的负压力或张力下的。土壤变得干燥时, 张力就相应地增加, 当超过一个极限值时, 由于水分子间的内聚力失效或对导管壁的附着力失效, 水柱的连续体就不能再保持下去, 从而发生断裂或抽空, 这称之为植物木质部的空穴现象<sup>[8]</sup>, 此时, 张力会突然释放而产生冲击波, 并同时出现声发射信号。声发射信号在超音频(100~300 kHz)范围内, 声发射传感器检测到的信号可以作为植物水分胁迫的生理指标, 判断出作物当前水分缺失<sup>[9]</sup>。

### 1.2 精量灌溉系统中 WSN 结构模型

无线传感器网络是传感世界与数字世界的纽带, 通常由随机部署在感知区域的大量资源受限的结点组成<sup>[10]</sup>。本

收稿日期: 2008-09-07 修订日期: 2009-05-31

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目(60703115); 国家博士后科学基金(20070420955); 江苏省自然科学基金青年科技创新人才启动项目(BK2007560); 江苏大学高级人才科研启动经费(07JJD080)

作者简介: 熊书明(1974—), 男, 江苏泰兴人, 博士生, 主要研究领域为无线传感器网络应用及其安全问题、智能控制等。镇江市学府路 301 号 江苏大学计算机科学与通信工程学院计算机工程系, 212013。

Email: xsm@ujs.edu.cn

设计中系统组成如图1所示，这些结点通过自组织方式构成无线网络，以协作的方式感知、采集和处理网络覆盖区域中作物声发射信号，结点通过基于汇聚树的多跳路由方式将数据传回Sink结点，最终由与Sink结点相连的网关将数据传送到Internet网络，在远程控制中心通过专家系统进行集中处理或发回命令控制WSN中结点的工作参数。该结构功能强大，操作方便，组态灵活，易于系统功能扩充。

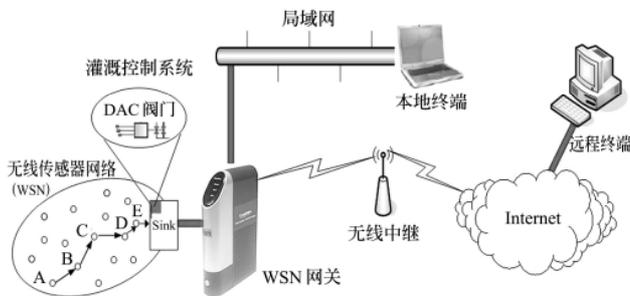


图1 无线传感网络 (WSN) 在精量灌溉系统中的组织  
Fig.1 Organization of wireless sensor networks in precision irrigation system

## 2 系统功能设计与实现

### 2.1 硬件结构

由于具体的应用背景不同，国内外出现了众多 WSN 硬件开发平台，其中以 Crossbow 公司的产品为典型，故本文应用 Crossbow 公司的传感器产品。

#### 1) 传感器结点

传感器结点主要由 MicaZ 模块和传感器板 MTS310CB 组成，完成作物声发射信号的采集与数据路由功能。MicaZ 处理器/通信模块是 Crossbow 公司 Mica 系列中的典型产品，工作在以 2.4 GHz 为起点、带宽 80MHz 的频段内，集成了兼容 IEEE802.15.4/ ZigBee 协议的射频 (radio frequency, RF) 收发器，采用直接序列扩频技术，抗 RF 干扰，数据隐蔽性好、速率可达 250 kbps，新增加的这几点特性从整体上提高了产品性能，非常适合高速、远距离数据传输。与 MicaZ 模块配套的是 MTS310CB 传感器板，它具有多种信息感知能力，包括声音、光、温度传感器，双轴磁强计等，通过 51 针可方便与 MicaZ 模块的连接，结点组成如图 2。

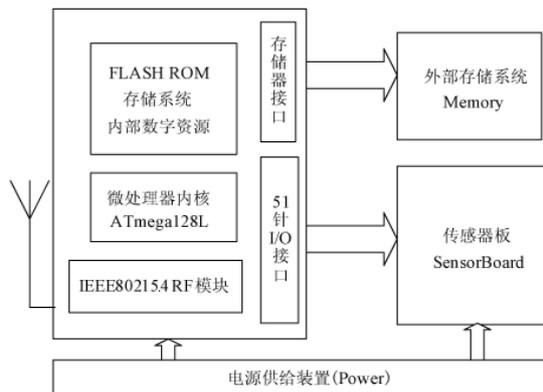


图2 传感器结点组成  
Fig.2 Composition of sensor node

#### 2) 编程板

MIB520CB 带有一个板载处理器，通过 51 针接口与 Mote 结点相连，提供 2 个独立端口分别用于在线结点编程和 USB 数据传输。除作为编程板外，MIB520CB 可与 MicaZ 模块配合作为简单网关使用，在无线传感器网络和基站之间进行数据传输。由于应用 USB 总线接口，故无需外部供电电源。MIB520CB 利用 FTDI FT2232C 将 USB 口虚拟成 COM 口，因此，使用前必须安装 FT2232C VCP 驱动，最终生成两个虚拟口 COM<sub>n</sub> 和 COM<sub>n+1</sub>，分别完成结点编程和数据传输，n 表示驱动程序分配的起始串口号。

#### 3) NB100网关

NB100 是 Crossbow 的无线传感器网络网关设备，基于 IntelIXP420 XScale 处理器，工作频率为 266 MHz，它包含了 1 个有线以太网和 2 个 USB2.0 端口。该设备具有丰富的存储系统，包含 8 MB 的程序 flash、32 MB 的 RAM 和 2 GB 的 USB2.0 系统盘。它运行 Debian Linux 操作系统，具有内建 Web 服务器 MoteExplorer 和传感器网络管理工具 XServe，能够实时检测传感数据和网络工作状态，当传感网络的 Sink 结点连接到第二个 USB 口时，它们自动启动。NB100 起到有线网和无线传感网的桥接作用，通过 Sink 结点与 WSN 相连，可以以有线或无线方式连到 Internet，实现远程数据传输和控制。

### 2.2 应用算法与设计

基于无线传感器网络的精量灌溉系统是一种数据聚集型应用，网络内结点一般采用电池供电，计算能力、通信能力等都有一定限制<sup>[11]</sup>。为延长系统工作寿命，本文设计了网络操作分簇的层次结构和采用自适应簇内数据融合算法<sup>[12]</sup>，在 LEPS<sup>[13]</sup>基础上提出基于簇的簇间多跳路由 LEPS 算法。

#### 1) 自适应加权簇内数据融合算法

设簇内有 1 个簇头 CH (cluster head) 和 N 个成员结点 CM (cluster member)，CM 单独感知作物水胁迫声发射信号并发送到 CH，同一簇内这些感知信号之间常常存在信号的重叠，簇头可以进行数据聚合。然而，CM 传感器感知的数据总是存在噪声，因为它们的感知精度和工作环境不同，测量的准确性必然存在差异，所以根据感知数据得到的聚合值 S 会存在估计误差，我们以方差 D(S) 作为 S 的评价指标。

各传感器不同精度对应的权重为 W<sub>i</sub>。在方差 D(S) 最小这一目标条件下，根据簇内各个传感器的感知结果以自适应方式找到其对应的最优权重，使得融合后的  $\bar{S}$  值达到最优， $\bar{S}$  是 CH 结点对多个 CM 结点数据的融合结果。

设 CH 结点融合估计的真值为 S，各个结点传感器的方差分别为 D(S<sub>1</sub>)、D(S<sub>2</sub>)、...、D(S<sub>N</sub>)，各结点的感知结果为 S<sub>1</sub>、S<sub>2</sub>、...、S<sub>N</sub>，彼此相互独立且是 S 的无偏估计，CH 进行数据融合有如下两式成立

$$\bar{S} = \sum_{i=1}^N S_i \cdot W_i \tag{1}$$

$$\sum_{i=1}^N W_i = 1 \tag{2}$$

$S_i$ 是簇内 $i$ 结点的感知结果，数据融合后得到 $\bar{s}$ ，有

$$\begin{aligned} D(S) &= E[(S - \bar{S})^2] \\ &= E\left[\sum_{i=1}^N W_i^2 (S - S_i)^2 + 2 \sum_{\substack{i=1, j=1 \\ i \neq j}}^N W_i W_j (S - S_i)(S - S_j)\right] \end{aligned} \quad (3)$$

因为 $S_i$ 彼此相互独立且是 $S$ 的无偏估计，有 $E[(S - S_i)(S - S_j)] = 0$  ( $i \neq j; i, j \in [1, 2, \dots, N]$ )，所以，式(3)可写成

$$D(S) = E\left[\sum_{i=1}^N W_i^2 (S - S_i)^2\right] = \sum_{i=1}^N W_i^2 D(S_i) \quad (4)$$

式(4)是关于权重 $W_i$ 的多元二次函数，它必然存在最小值，求取最小值的约束条件是权重 $W_i$ 满足式(2)。根据多元函数求极值的方法，可求出融合结果的最小方差

$$D(S)_{\min} = 1 / \sum_{i=1}^N D(S_i)$$

此时，对应的最优权重为

$$W_i = 1 / (D(S_i) \sum_{j=1}^N \frac{1}{D(S_j)}) \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (5)$$

由式(5)可知，结点传感器的最优权重取决于各个传感器的方差，这些方差一般是已知的，可预先测得各传感器一批样本值，由概率样本估计理论算出其方差。

## 2) 基于分簇的汇聚树路由LEPS协议

协议设计分为两步，成簇阶段和汇聚树路由建立阶段。

成簇阶段如下：

**Step1** 结点依据概率 $T(i)$ 周期性地对簇头选举， $p$ 为预设的簇头所占比例， $r$ 为选举的当前轮数， $i$ 是当前结点的ID， $G$ 是到该轮尚未当选簇头的结点集合， $\lambda$ 为结点剩余能量占初始能量的比值。

$$T(i) = \begin{cases} \frac{p}{1 - p[r \bmod (1/p)]} \cdot \frac{1}{\sqrt{\lambda}} & i \in G \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (6)$$

**Step2** 当选为簇头CH的结点发hello包，通知其他结点加入本簇。

**Step3** 非簇头结点根据无线信号强度决定加入某簇C，发回应答包。

**Step4** 簇头根据收到的信息，生成簇内成员列表，建立分时槽的TDMA调度机制。

簇生成后，簇内成员结点CM仅负责感知声发射信号，CH结点融合多个感知数据，且完成CH结点之间包的中继转发工作，从而进入路由生成阶段。

汇聚树路由建立阶段如下：

**Step1** 簇头结点CH周期性执行指数加权移动平均EWMA链路估计算法，评估自己到邻居CH的链路质量，记录在本地邻居表里。

**Step2** 优先考虑邻居表里邻居CH到汇聚结点的跳数，再结合链路质量选择路由树上的父结点。

**Step3** 广播CH路由更新通告，通知邻居CH路径更新。

**Step4** 邻居CH收到更新通告，更新本地邻居表中邻居结点的主要信息：接收估计值 $revEst$ 和发送估计值 $sndEst$ ，再计算出双向链路传输代价 $cnlCost$ 。

$$revEst = revCount / sndCount_{opp} \quad (7)$$

$$sndEst = revEst_{opp} \quad (8)$$

$$cnlCost = revEst \cdot sndEst \quad (9)$$

$sndCount_{opp}$ 为邻居结点窗口时间内发送包的总数， $revEst_{opp}$ 为邻居结点的接收估计。

**Step5:** 结点分布式地执行上述4步，经过若干周期后，各CH结点生成汇聚树路由。

## 2.3 软件实现

在TinyOS平台上使用nesC对传感器结点进行编程，实现了系统的基本功能。TinyOS是基于事件驱动的操作系统，使用了轻量级任务调度、主动消息通信等技术，有利于软件结构的简化和模块化开发，其目标是用最少的硬件支持传感器结点的并发密集操作。nesC是一种基于组件的结构化应用程序语言，主要用于诸如传感器网络等嵌入式系统，它支持TinyOS的并发模型，通过nesC语言程序设计者可首先建立应用相关的组件，再与系统组件连接，从而形成一个鲁棒的网络化嵌入式系统。

实现中使用到的分组结构如图3所示，该分组是一种嵌套结构，在活动消息(active message, AM)的data域封装了路由/数据信息。AM消息在无线链路上传输，包含5个字节的首部，分别表示下一跳地址、消息类型、组号和包长度，crc校验码在数据域后面占2个字节。路由/数据的首部占8个字节，flag用来区分包的类型，hopcount用来指示到目的结点还要的跳数，seqno表示结点的当前序号，data数组存放路由交换信息或者应用数据。

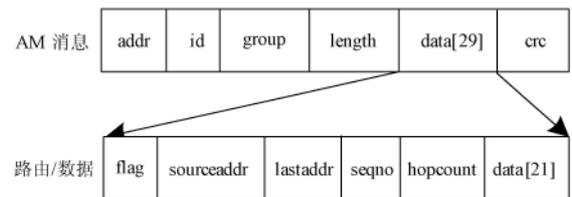


图3 系统使用的分组格式

Fig.3 Packet used in the system

系统包含两个组件，一个顶层配置IrrigationControl组件，以接口为访问点在各个组件间进行导通(wiring)，另一个是功能模块IrrigationControlM组件，实现了声发射信号的感知与融合、结点分簇和路由建立、灌溉控制等功能。这里以结点分簇为例，给出实现的主要流程，见图4，其中，簇头消息中包含结点ID、CDMA编码等字段。在精量灌溉控制过程中，各个传感器结点感知到自身监测区域内作物缺水程度，经多跳路由将缺水信息递送到基站，由基站进行数据融合再判定出传感器网络覆盖区域内作物的整体缺水程度 $\lambda$ ，将 $d=f(\lambda)$ 作为DAC控制模块的数字输入，输出的电压信号驱动供水阀门，实现作物用水的精量供给。

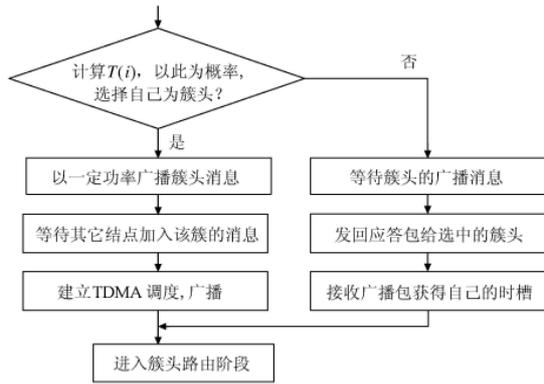


图 4 结点分布式成簇过程

Fig.4 Distributed clustering process of node

### 3 仿真测试

我们使用程序代码模拟器 PowerTOSSIM<sup>[14]</sup>来完成程序代码仿真, PowerTOSSIM 是无线传感器网络应用仿真环境, 由加州大学伯克利分校、哈佛大学等联合开发, 它能够对单个结点的操作提供高精度模拟, 可以准确地反映应用程序在结点上的行为。

仿真 10 个结点, 每个结点定时 5 s 采样作物声发射信号, 仿真结点都从 ADC 组件的 port1 读取数据, 成员结点的数据交由簇头结点融合后再经多跳路由到基站统一决断。

在 PC 机上利用 Java 工具 MainClass 生成结点的逻辑拓扑结构如图 5 所示。MainClass 工具通过 SerialForwarder 串口转发器收集、处理无线传感器网络结点的数据, 这个工具利用数据包头里的控制信息生成逻辑拓扑结构。由图 5 可见, 我们的算法可以生成多跳路由, 从而为可靠传输

结点数据提供保证。例如, 结点 9 和 5 通过中间结点 4 将数据递送到汇聚结点 0。

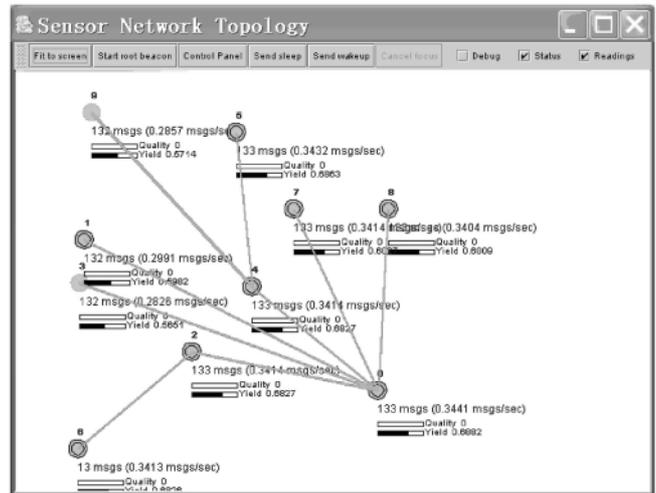


图 5 结点多跳路由逻辑拓扑结构

Fig.5 Logical topology structure of node multi-hop routing

结点能量消耗对系统的工作寿命至关重要, 我们仿真了结点的能耗情况, 具体数据如表 1, 给出每个结点各部件消耗的能量。仿真时没有接传感器板 (--sb=0), 所以 sensor 一项为 0, ADC 读写在整个系统中能量消耗所占比例非常小, PowerTOSSIM 对此忽略并没有对它建模, 所以, 该项数据默认为 Null, 仿真试验中, 没有用到 led 显示和对 eeprom 的访问, 相应地, leds 和 eeprom 两项能耗数据均为 Null。由表 1 中可见, 尽管声发射信号的采样、传输频率很低 (0.2 Hz), 但是无线传输消耗的能量 (radio 列) 却占到每个结点总能耗 (total 列) 的 60% 以上。

表 1 结点能量消耗仿真数据

Table 1 Simulation values of node energy consumption

| ID | cpu      | radio    | adc | leds | sensor | eeprom | cpu_cycle | total    |
|----|----------|----------|-----|------|--------|--------|-----------|----------|
| 0  | 365.3875 | 615.6290 | —   | —    | —      | —      | 0.0000    | 981.0165 |
| 1  | 365.3875 | 607.3979 | —   | —    | —      | —      | 0.0000    | 972.7853 |
| 2  | 365.3875 | 623.5343 | —   | —    | —      | —      | 0.0000    | 988.9218 |
| 3  | 361.5325 | 607.6528 | —   | —    | —      | —      | 0.0000    | 969.1853 |
| 4  | 361.5325 | 612.1164 | —   | —    | —      | —      | 0.0000    | 973.6490 |
| 5  | 361.5325 | 592.4930 | —   | —    | —      | —      | 0.0000    | 954.0256 |
| 6  | 361.5325 | 602.4337 | —   | —    | —      | —      | 0.0000    | 963.9663 |
| 7  | 361.5325 | 596.1450 | —   | —    | —      | —      | 0.0000    | 957.6776 |
| 8  | 361.5325 | 616.9682 | —   | —    | —      | —      | 0.0000    | 978.5008 |
| 9  | 355.1359 | 606.0583 | —   | —    | —      | —      | 0.0000    | 961.1942 |

### 4 结语

针对水资源供求矛盾和农业用水存在巨大浪费的现状, 为解决节水高效农业面临的技术难题, 基于作物水胁迫声发射原理, 利用无线传感器网络新技术研发了作物水胁迫声信号监测的精准灌溉系统。采用自适应加权数据融合算法来提高数据精度, 提出基于簇的LEPS路由算法来降低网络结点能耗。采用MicaZ结点和MTS310传感器板进行传感器网络应用设计, 完成数据采集、传输功能, 利用NB100网关实现无线网和有线网之间的桥接。与传统定点

布设的集中式传感器方法相比, 整个系统分布式运行, 组网正确, 通过簇内数据融合减少了数据传输量, 性能可靠, 具有良好的可扩充性, 可以使人们远程、精确获取作物需水信息, 并实施精准灌溉。

我们将在下一步工作中改进数据处理算法以进一步提高数据感知精度, 从无线信号传输方面考虑降低结点能耗, 以完善整个系统的功能。

#### [参考文献]

[1] 陈玉民, 郭国双, 王广兴, 等. 中国主要作物需水量与灌

- 溉[M]. 北京: 水利水电出版社, 1995: 6—15.
- [2] 康绍忠, 蔡焕杰, 冯绍元. 现代农业与生态节水的技术创新与未来研究重点[J]. 农业工程学报, 2004, 20(1): 1—6. Kang Shaozhong, Cai Huanjie, Feng Shaoyuan. Technique innovation and research fields of modern agricultural and ecological water-saving in the future[J]. Transactions of the CSAE, 2004, 20(1): 1—6. (in Chinese with English abstract)
- [3] 杨世风, 钱东平, 霍晓静, 等. 作物水胁迫声发射检测及视情灌溉系统的研究[J]. 农业工程学报, 2001, 17(5): 150—152. Yang Shifeng, Qian Dongping, Huo Xiaojing, et al. Test of water stress in crops with acoustic emission technology and automatic irrigation system[J]. Transactions of the CSAE, 2001, 17(5): 150—152. (in Chinese with English abstract)
- [4] 霍晓静. 作物水胁迫声发射监测系统的研究及应用[D]. 保定: 河北农业大学, 2002: 11—48. Huo Xiaojing. Study and implementation on monitoring system of crop water stress[D]. Baoding: Agricultural University of Hebei, 2002: 11—48. (in Chinese with English abstract)
- [5] Tyree M T, Sperry J S. Characterization and propagation of acoustic emission signals in woody plants: towards an improved acoustic emission counter[J]. Plant, Cell and Environment, 1989, 12(4): 371—382.
- [6] 尹飞星, 孙耀杰, 高丽哲, 等. 作物水胁迫声发射监测系统的研究[J]. 农机化研究, 2007, (3): 84—86. Yin Feixing, Sun Yaojie, Gao Lizhe, et al. Study on monitoring system of crop water stress[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2007, (3): 84—86. (in Chinese with English abstract)
- [7] 任丰原, 黄海宁, 林闯. 无线传感器网络[J]. 软件学报, 2003, 14(7): 1282—1291. Ren Fengyuan, Huang Haining, Lin Chuang. Wireless sensor networks[J]. Journal of Software, 2003, 14(7): 1282—1291. (in Chinese with English abstract)
- [8] 高峰, 俞立, 张文安, 等. 基于作物水分胁迫声发射技术的无线传感器网络精量灌溉系统的初步研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(1): 60—63. Gao Feng, Yu Li, Zhang Wenan, et al. Preliminary study on precision irrigation system based on wireless sensor networks of acoustic emission technique for crop water stress[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(1): 60—63. (in Chinese with English abstract)
- [9] 张寄阳, 段爱旺, 孙景生, 等. 作物水分状况自动监测与诊断的研究进展[J]. 农业工程学报, 2006, 22(1): 174—178. Zhang Jiyang, Duan Aiwang, Sun Jingsheng, et al. Advances in automated monitoring and diagnosis of crop water status[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(1): 174—178. (in Chinese with English abstract)
- [10] 吴中博, 樊小泊, 陈红. 基于能量水平的多Sink节点传感器网络路由算法[J]. 计算机研究与发展, 2008, 45(1): 41—46. Wu Zhongbo, Fan Xiaobo, Chen Hong. Energy level-based routing algorithm of multi-sink sensor networks, Journal of Computer Research and Development, 2008, 45(1): 41—46. (in Chinese with English abstract)
- [11] 陈力军, 毛莺池, 陈道蓄, 等. 平均度约束的无线传感器网络拓扑控制[J]. 计算机学报, 2007, 30(9): 1544—1450. Chen Lijun, Mao Yingchi, Chen Daoxu, et al. Topology control of wireless sensor networks under an average degree constraint[J]. Chinese Journal of Computers, 2007, 30(9): 1544—1450. (in Chinese with English abstract)
- [12] 孔凡天. 无线传感器网络节点定位与数据融合技术研究及实现[D]. 武汉: 华中科技大学, 2006: 80—84. Kong Fantian. Research and implementation of node localization and data fusion for wireless sensor networks[D]. Wuhan: Huazhong University of Science & Technology, 2006: 80—84. (in Chinese with English abstract)
- [13] 颜庭莘, 孙利民. TinyOS路由协议原理及性能评估[J]. 计算机工程, 2007, 33(1): 112—114. Yan Tingxin, Sun Limin. Principle and performance evaluation of routing protocol in TinyOS[J]. Computer Engineering, 2007, 33(1): 112—114. (in Chinese with English abstract)
- [14] Victor S, Mark H, Borrong C, etc. Simulating the Power Consumption of Large-Scale Sensor Network Applications[A]. Proceedings of the Second ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys)[C]. Baltimore, Maryland, USA, 2004: 188—200.

## Development of wireless sensor networks in precision irrigation system for crop

Xiong Shuming<sup>1</sup>, Wang Liangmin<sup>1,2</sup>, Wang Xinsheng<sup>1</sup>, Zhan Yongzhao<sup>1</sup>

(1. School of Computer Science and Telecommunication Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China;

2. School of Computer Science and Engineering, Southeast University, Nanjing 210018, China)

**Abstract:** In order to accurately provide the extent of water deficit and thus to offer a scientific reference for the precision irrigation, we explored the application of wireless sensor networks to precision irrigation system based on the acoustic emission principle for crop water stress. Adaptive weighted data fusion algorithm was adopted to improve the precision of acoustic emission signal and cluster-based multi-hop routing algorithm was proposed to reduce energy consumption of node transmitting data. By a NB100 gateway, the system realized bridging between wireless network and wired network. It runs distributed and possesses many advantages, such as good robustness, extensibility and scalability. Simulation experiments showed that networking was correct and the energy consumption of wireless transmission was above 60 percent in total energy. The system enables user to precisely acquire the crop water requirement information and thus to implement the precision irrigation remotely, and can be effectively applied to some water-saving agriculture fields, for example, the cropland, the nursery garden, the greenhouse, etc.

**Key words:** wireless sensor networks, precision irrigation, network protocols, data fusion, water stress