

通用农业环境信息监控系统 ReGA 网关设计

张海辉¹, 朱江涛², 吴华瑞^{3*}, 邓清海², 马锦辉², 季大祥²

(1. 西北农林科技大学机械与工程学院, 杨凌 712100;

2. 西北农林科技大学信息工程学院, 杨凌 712100;

3. 国家农业信息化工程技术研究中心, 农业部农业信息技术重点开放实验室, 北京 100097)

摘要: 无线传感器网络 (WSN) 在农业智能化应用中具有良好技术优势和广阔应用前景, 网关作为 WSN 连接外界应用系统的桥梁, 在 WSN 中具有重要作用。已有网关设备主要针对特定应用系统提供数据汇集与转发功能, 很少具备监测区域信息组织管理能力。该文以设计通用农业环境信息监控系统架构为背景, 提出一种基于 WinCE 系统的可配置 WSN 网关体系结构 (ReGA), 在完成监测数据和控制指令转发的基础上, 实现现场可视化设备和监测数据综合管理。ReGA 的可配置体现在支持环境监测类型、监测节点属性动态配置, 通过定义网关与上下层的交互协议, 支持交互指令和封装参数的可配置, 系统结构高内聚、低耦合。试验证明 ReGA 可靠性高, 可灵活应用于农田、水产、林业、温室等不同领域。

关键词: 无线传感器网络, 监控系统, 农业环境, 可配置网关

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2012.03.024

中图分类号: TP391

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2012)-03-0135-07

张海辉, 朱江涛, 吴华瑞, 等. 通用农业环境信息监控系统 ReGA 网关设计[J]. 农业工程学报, 2012, 28(3): 135-141.
Zhang Haihui, Zhu Jiangtao, Wu Huarui, et al. Design of ReGA gateway for general agricultural environment information monitoring system[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(3): 135-141. (in Chinese with English abstract)

0 引言

无线传感器网络 (wireless sensor network, WSN) 作为一种新兴技术, 具有组网灵活、部署方便、支持多种信息上行采集和下行指令控制等优点^[1-3]。近年来, 国内外在农业领域陆续开展了大量应用研究, 出现了各种面向应用的监控系统实现方案和理论研究成果, 为农业数字化、精准化提供了技术支持^[4-8]。在 WSN 体系中, 网关作为连接底层 ZigBee 网络与领域应用系统的桥梁, 其系统架构与开发模式直接决定了 WSN 系统的可用性和灵活性。

目前国内研究提出的嵌入式网关类型较多, 如采用 ZigBee 和 GPRS 技术的面向水环境监测系统网关^[9], 基于 CC2431 的冻土区地温、变形监测系统网关^[10], 以 S3C2410MPU 为核心、基于 Linux 开发的山地茶园旱情监测系统网关^[11]。在体系结构上, 以上网关根据不同的应用背景有针对性的进行设计, 采用固定的硬件结构、接口方案和软件处理流程, 对监控对象与应用需求变化的适应能力较弱, 难以满足不同领域的应用需求^[12-13]。

在功能上, 通常局限于实现 WSN 信息汇聚与转发, 缺乏农业生产基地属性、监测节点参数、实时与历史数据管理等面向应用的管理功能, 难以实现不同类型农业生产场合的现场环境监控。

组态软件常用来支持工业控制应用软件的开发, 对不同的应用只需使用组态软件生成各自不同的数据文件, 就构成所需的工业控制应用软件系统^[14], 大大提高应用对象重用性, 缩短开发周期, 从体系结构上为通用性提供了解决思路, 在工厂化栽培、自动灌溉等集成度较高农业领域已初步应用^[15-16]。组态软件应用中, 用户需具备二次定制开发能力, 即根据不同农业环境监测需求, 掌握开发环境使用方法和详细开发步骤, 且定制后的系统通常具有专用性。本文网关主要面向普通农技人员, 需要简洁易用的软件系统, 且其信息系统二次开发与使用能力有限, 难以根据需求自主定制并动态调整。

本文在设计基于 WSN 的通用农业环境信息监控系统平台过程中, 提出了可配置 WSN 网关体系结构 (re-configurable gateway architecture, ReGA), 借鉴组态软件模块化、功能可配置的设计思路, 将软件功能封装成模块、提供用户可配置接口, 设计通用数据交互协议以提升系统结构的开放性, 采用 Wince 和嵌入式数据库 SQLite 实现了系统各项功能。本网关已应用于陕西阎良甜瓜试验示范站和杨凌苹果苗圃基地, 基地管理人员可根据应用需求配置基地管理属性, 支持运行过程中的动态调整, 以适应运行环境、监控对象的变化, 证明本文设计的可配置网关具有良好适应性。

收稿日期: 2011-03-21 修订日期: 2011-08-23

基金项目: 国家自然科学基金 (60871042); 中央高校基本科研业务费专项资金资助 (CX200901); 核高基重大专项课题 (2010ZX01045-001-004); 杨凌现代农业国际研究院科研培育项目 (201008)

作者简介: 张海辉 (1977-), 男, 湖南新化人, 副教授, 博士, 研究方向为嵌入式计算、网络计算。杨凌 西北农林科技大学, 712100。

Email: zhanghh@nwsuaf.edu.cn

*通信作者: 吴华瑞 (1975-), 男, 山东冠县人, 副研究员, 博士, 研究方向为人工智能。北京 国家农业信息化工程技术研究中心, 100097。

Email: wuhr@nrcita.org.cn

1 ReGA 整体架构

1.1 通用农业环境信息监控系统架构

ReGA 隶属于通用农业环境信息监控系统框架的一部分，该系统定义了一个新型的农业环境监控系统平台架构和实现方案，可将多个农业生产基地的环境信息采集上传，由协调器汇集，经网关、服务器的两级处理，集中存储在海量数据管理中心，同时为多种领域应用系统提供并发访问通道与交互接口，实现应用无关的监控管理平台。系统架构如图 1 所示。

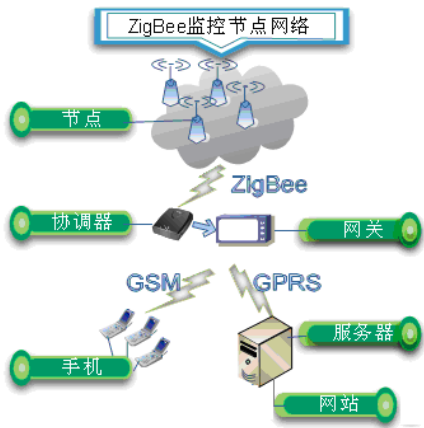


图 1 通用农业环境信息监控系统架构

Fig.1 Architecture of general agricultural environmental information monitoring system

该架构中，网关是系统的信息传输枢纽，一方面它提供了无线传感器网络数据的汇集、处理、转发功能，消除冗余数据、封装转换数据格式；另一方面作为基地现场管理平台，提供网关支持异常数据短信预警和数据实时可视管理能力。

1.2 硬件整体设计

综合考虑网关处理能力、存储能力、通信方式等要求，硬件结构设计如图 2 所示。

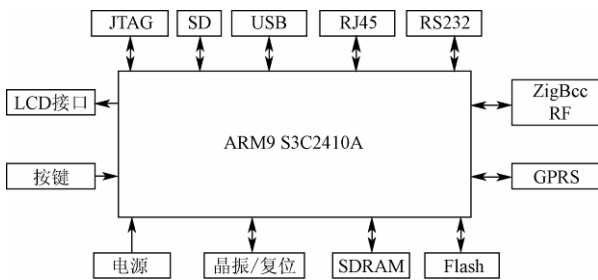


图 2 网关硬件结构图

Fig.2 Hardware structure of gateway

采用 Samsung 公司推出的基于 ARM920T 内核的 16/32 位 RISC 处理器 S3C2410，运行在 203MHz，支持 Wince、Linux 等嵌入式系统。存储器系统包括 2 片 Samsung 公司生产的 K4S561632D-TC/L75 SDRAM，以及 NOR Flash 存储器，满足系统在存取速度和存储容量上的要求。公共核心部件部署在核心板上，拓展板包含外围接口电路，两者通过 272 针的连接线相连，通过修

改拓展板可扩展网关硬件功能。

目前，拓展板集成了 Siemens MC39i GSM/GPRS 通信模块，完成数据传输和短信预警，结合 Ethernet 接口可实现无线、有线 2 种可配置的网络功能；ZigBee RF 模块插接 ZigBee 协调器节点实现与 ZigBee 网络间的数据传输；提供 USB 2.0 接口，方便用户连接鼠标、键盘或转存备份数据；外接 LCD 触摸屏，用于人机交互。

以上硬件平台设计为本文提出的 ReGA 网关提供了强大的数据处理能力、模块化功能部件和丰富的外围接口，具体可参考前期论文^[17]，在此不再详细阐述。本文重点阐述 ReGA 网关通用性设计与交互协议。

1.3 软件整体设计

选用 Platform Builder 定制 Wince5.0 操作系统作为 ReGA 开发和应用平台，以便于农技人员使用。基于标准板级支持包 (board support package, BSP) 开发了网关节点 Bootloader，完成网关硬件初始化和加载 WinCE 系统功能。Wince 经过重新优化编译后具有紧凑、高效、可扩展特点，友好的人机交互和快速开发能力。

制定了系统交互协议，该协议约定节点、网关、服务器三层通信的数据格式、通信逻辑与命令类型，以及统一的环境因子与控制设备的编码方式等。

网关功能主要包括环境信息数据管理、预警信息管理、基地信息管理、通信数据管理和环境因子类型库管理等多个模块。移植开源的 SQLite 数据库，完成各模块数据存储，并提供数据访问接口，由于 SQLite 并发访问锁机制的不足^[18,19]，本文对 SQLite 数据库的多线程并发访问进行了针对性设计。

2 ReGA 可配置功能设计

基地信息管理实现单个 WSN 监测区域的自治管理，通过配置核心模块的不同功能参数，即可应用到设施、大田与水产等不同农业监测系统。

2.1 监控类型可配置

用户根据不同区域监控需求，在监控节点上接入和配置不同类型传感器和控制设备。由于不同应用系统的监控类型具有极大差异性且运行过程动态变化，当需要新增环境监测类型或者已有节点监测类型动态变化时，ReGA 网关可扩展处理该类型数据。同理，当监控节点的外接控制设备发生变化，ReGA 网关也可重配置后实现其运行状态控制。

网关定义了类型编码表完成基地与各节点监测因子类型的统一管理，为每种监控类型和设备类型指定相应的编码，支持运行过程监测因子类型的动态调整，并以此完成监测节点上传数据解析、展示、存储与关联处理。监控类型可配置使网关具有适应不同的领域需求的能力，为通用性奠定了基础。同时可将不同农业监控应用系统数据汇聚到统一监控平台，实现多基地多领域的统一管理。

2.2 监控节点功能参数运行时可配置

系统工作过程中，网关可灵活设定监控节点的部署属性、采集频率，维护其外接设备的运行状态。节点负

责数据采集和设备的直接控制，其各项参数需与监控系统运行需求相匹配。由于不同基地需要监测的环境因子类型以及监测的密集度各不相同，同一基地在不同时期、不同监测子区域需求也不完全相同。如何适应应用需求变化，以及调节 WSN 网络中数据量，在保证监测需求时避免数据量过多导致拥塞，都需要网关支持节点功能参数运行时可配置。ReGA 网关可根据节点的个性需求，运行时动态设置节点采集频率、控制设备属性。ReGA 网关可发送控制指令，实时操纵外接在节点不同端口的控制设备，可实时改变其运行状态（强度、时间和开关状态），如打开外接在端口 1 的风扇以 3 挡强度运行 15 min。

2.3 网关功能参数运行时可配置

网关根据基地网络条件选择以太网、GPRS 等上行通道，可设置数据转发频率、数据包大小、异常数据阈值和预警条件等。底层 ZigBee 协议基于 IEEE 802.15.4 标准，其数据传输率最高为 250 Kb/s，当网络数据量大时，将出现路由节点转发数据超过其处理能力而丢失。ReGA 网关通过应答补发机制确保关键数据的可靠发送，针对不同监控网络规模和质量，支持用户配置超时时间、补发次数、补发类型、失败处理方式等补发参数。同时，针对不同基地节点数量、监测频率，ReGA 可设置数据缓冲区大小、缓冲区处理周期、溢出处理等参数。

ReGA 网关提供异常环境的预警功能，可对实时监测的异常环境信息远程短信报警，以降低灾害气候造成的损失。支持用户设定特定区域、特定环境因子的阈值范围，并绑定一至多个用户手机号码，当实时值超出预设阈值时向用户发送预警短信。

2.4 基地属性可配置

ReGA 网关作为基地管理人员的日常现场管理平台，维护基地的各种属性信息。包括基地名称、位置，所管理的各类温室大棚、种植区块的名称、栽培养殖的物种、包含节点数据等，节点监测类型、电量、详细位置、最新上传数据时间等。通过可视化界面，管理员灵活配置各类属性，使网关能适应不同生产基地需求。

3 交互协议设计

交互协议以建立通用监控平台为目标，规定了农业环境信息监控系统中监测与控制相关的通信协议，涵盖分层监测体系中节点、网关、服务器交互的数据表示、接口定义、交互逻辑和参考实现，满足协议约定的设备、系统可互联互通。由于本协议涉及面广，各类定义和约定众多，以下简述协议要点设计。

3.1 协议数据单元定义

协议数据单元的定义是整个协议的基础，由多个字段有序构成，包括通信类型编号（CTNO）、通信标识（CMID）、网关编号（GWID）、节点编号（MNID）、数据（Data）等。不同字段间通过多级分隔符隔开，分隔符为不可见字符，为了便于表示，本文中以#、*、&等依次降级表示。

其中，CTNO 为 4 位字符，自左向右分别为：第 1 位表示通信方向（1：上传，0：下传），第 2 位表示数

据类型（1：控制指令，0：数据），第 3~4 位为类型编号（01~99）。如‘1001’表示上传环境监测数据，‘0103’表示下发节点采集频率参数设定指令。

CMID 为精确至毫秒级的时间戳，用于网关与服务器之间通信，唯一标志每条数据包，可追踪数据包传输状态、回复确认命令和重发等。GWID 和 MNID 分别为每一个网关和节点的唯一标识符；Data 字段随指令类型的不同而具有不同含义。以上传环境监测数据为例：

1001#20100501012025110#XNB00001#XNT00001*ATP23.5AHM64...STP5.6&XNT00002*AHM45...WHS0.364&.....XNT99999*AHM35...ARF56.2

表示 XNB0001 网关上传了 XNT0001、XNT0002 等节点的监测数据。ATP（空气温度）、AHM（空气湿度）等为环境因子编码，其后的数字为其数值。

3.2 指令集定义

交互协议指令集按通信方向分为下行与上行两部分。下行指令集用于设备控制、状态查询、参数设定、属性更改，上行指令实现监测数据上传、参数与属性同步、下行指令执行结果回复。

依通信实体不同又可将交互指令集分为 ReGA 网关与服务器（应用层）、ReGA 网关与节点（感知层）两个层次。感知层指令格式为：CTNO#CMID #Data，应用层指令格式为：CTNO#CMID#GWID#Data。感知层中每个节点加入 WSN 网络后对应唯一网关，因此在指令中略去 GWID 单元以精简数据包。服务器和节点之间的控制命令需经过 2 个层次，由网关完成指令编码格式转换。交互协议指令集所涵盖的常用通信类型见表 1。

表 1 指令集概览

Table 1 Instruction set overview

CTNO	描述	CTNO	描述
1001	上传监测数据	1106	向上查询节点属性
1002	上传节点属性信息	0001	下传节点属性信息
1003	上传修正参数	0002	下传环境因子修正参数
1004	上传预警历史信息	0101	回复时钟信息
1005	上传命令历史信息	0102	下传设备控制命令
1006	上传节点地址信息	0103	设置采集频率
1101	请求时钟同步	0104	向下查询节点属性
1102	回复设备控制执行结果	0105	查询设备状态
1103	回复采集频率设置结果	0106	回复节点属性查询结果
1104	回复节点属性查询结果	0107	向下查询节点地址信息
1105	回复设备状态查询结果	0108	命令收到确认

以上传节点属性信息为例，该指令由网关发往服务器，用于更新服务器存储的节点属性信息。该指令遵循应用层指令格式，其中 Data 包含一至多个节点的属性，格式为：NodeAttr1* NodeAttr2*...* NodeAttrN。

其中，NodeAttr 包含该节点中多项属性，格式为：MNID&NAID1~NADData1&NAID2~NADData2&...&NAIDN~NADDataN。

NAID 为节点某项属性的标识，NADData 为该属性的值，如“SNM~一号温室”表示该节点所属区域（SNM）属性值为“一号温室”。

3.3 协议公共约定

公共约定包括多级分隔符列表、通信类型编码表、环境因子编码表、控制设备编码表、错误类型编码表，用于简化各层数据包定义、提高拆装数据包速率、增强系统的可扩展性。

网关上行和下行指令的交互过程彼此独立，下行指令基于 WSN 的多跳传输，通常包括 4 个步骤：1) 命令的发送；2) 回复命令收到确认信息；3) 执行命令；4) 回复命令执行结果。上行指令基于 TCP/IP 协议，建立了与中心服务器的可靠链路，指令交互过程通常简化第 2 步。图 3 为 ReGA 网关发起的节点采集频率设置命令的整个通信过程。

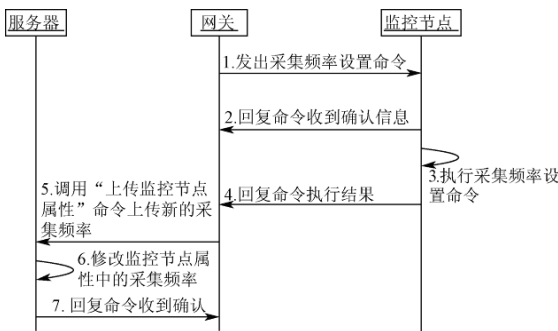


图 3 网关设置节点采集频率过程

Fig.3 Procedures of gateway setting node data acquisition frequency

4 ReGA 网关实现

4.1 开发环境

基于 Wince 可视化集成开发环境 EVC (Embedded Visual C++) 建立单文档应用程序，作为网关软件实现的基本框架。在 EVC 环境编译 SQLite 源码，生成动态链接库并导入程序中，通过 SQLite API 实现嵌入式数据库访问。

4.2 现场可视管理

作为 ReGA 功能展示的重要部分，友好的用户界面设计和实现尤为重要。程序主界面展示当前各节点的最新监控数据，并按用户指定周期进行刷新，提供各类功能菜单完成网关与节点运行参数配置、环境监测数据处理，通过状态栏显示网关与中心服务器的连接状态。运行界面如图 4 所示。



图 4 运行界面截图

Fig.4 Interface of system operation

4.3 数据库并发访问

SQLite 只支持库级锁，即对于同一个数据库，同一时刻仅允许一个写操作，数据库会被写操作独占后导致其他读写操作阻塞或出错。由于 ReGA 网关涉及大量数据的处理，并发运行多个处理线程，需要实现多线程数据库并发访问时的锁机制。

本文根据数据库访问方式，分别设置读锁（由读线程加锁）、写锁（由写线程加锁），已被加写锁的数据库不可再加其他锁，已加读锁的数据库可以继续加读锁，只有在数据库空闲时，才可加写锁。当多线程访问数据库阻塞时，依据操作的重要性，为阻塞队列分配优先级，优先级高的线程优化获得数据库访问权限。

4.4 GPRS 网络与 GSM 预警短信

由 MC39i GSM/GPRS 通信模块实现无线通信功能，MC39i 对外提供 40 针引脚，启动过程中由程序将 IGT (Ignition) 引脚电平拉低不少于 100 ms，并保证下降沿不超过 1 ms，完成 MC39i 模块的软件启动。在 Platform Builder 定制 WinCE 内核时，添加 TCP/IP 协议支持，使 GPRS 模块可利用 Sockets 网络编程接口进行 TCP 通信，实现网关与服务器的信息交互。

网关采用独立的预警监控线程匹配当前环境信息与预设阈值，当超出合理范围时，调用预警短信发送功能，发送预警短信。GSM 短消息支持 Text 和 PDU 2 种常用收发模式，网关采用支持中文的 PDU 模式，利用 MCi39 提供的 AT 指令，设计开发了 GSM 预警短信交互模块，短信内容中包含本次预警的监测节点、环境因子、监测值、预警原因、时间等信息。

4.5 通信数据包处理

网关使用节点的逻辑编码与服务器之间通信，向上屏蔽了底层 WSN 网络的细节，如 WSN 网络信道、节点的网络地址等。当服务器与节点通信时，网关完成通信数据包格式转化，以服务器发往节点发送控制指令为例，网关首先按格式拆包，去除其中 GWID 等底层网络不需要的信息，查找节点逻辑编码网络地址映射关系表，替换逻辑编码为网络地址，然后重新打包发往 WSN 网络。

5 ReGA 网关性能试验

5.1 功能性测试

ReGA 网关作为一种嵌入式系统，性能受 CPU 处理能力、存储容量等硬件制约，也受软件系统架构、编程模式的影响。本文以环境因子监测这一主要功能为测试实例，测试 ReGA 网关软件运行中系统资源占用率、数据传输可靠性以及基地数据管理有效性等 3 方面性能。

5.1.1 测试方法

为了便于分析，进行以下参数定义：

- 1) 网络中节点数目为 N ，各个节点监测不同类型的环境因子；
- 2) 采集周期为 T , min，为了测试方便设定每个节点的 T 相同，即所有节点每隔 T 分钟上传一条数据；
- 3) CPU 占用率为 P ，内存占用为 M ，利用 Wince 系统工具可获取 P 值和 M 值；

4) 数据包丢失率为 L , 网关处理数据包错误率为 E 。

网关持续运行 t 分钟, 各节点发送数据包数目理论值为 $S=N \times t / T$, 通过网关日志文件获取接受到数据包总数 R , 错误数据个数 W , 依据公式

$$L=(S-R) / S \times 100 \% \quad (1)$$

$$E=W / R \times 100 \% \quad (2)$$

可计算得到 L 与 E 的数值。

5.1.2 测试分析

在 $50 \text{ m} \times 50 \text{ m}$ 监测区域, 部署 N 个节点, $N \in \{1, 10, 50\}$, 采样周期 $T \in [1, 60]$, 运行时间为 t , 观测 P 、 M 、 L 、 E 数值变化, 记录运行结果, 并进行统计分析。

测试结果如下:

1) P 随着 T 和 N 的变化, 变动幅度较小, 稳定在 7% 左右。

2) M 维持在 $(1420 \pm 48) \text{ K}$ 范围内, 随着 T 减少、 N 增加, 内存分配与释放的速率提高, 总量范围不变。

3) $N=1$ 时, T 的变化引起的数据包丢失和错误现象甚微:

$N=10$ 时, $E < 2\%$, $L < 2\%$;

$N=50$ 时, 由于无线信道冲突或串口资源竞争, 导致 L 有所增加, 同时网关处理数据量过多, 致使 E 也略有增加, L 与 E 随 T 变化如图 5 所示。

测试过程中动态配置节点属性, 网关未出现一例异常退出现象, 系统资源占用率合理, 没有内存溢出问题, 数据包接受可靠性较高, 各种环境因子数据处理正常。

通过检索历史环境信息评测 SQLite 数据库访问性能, 测试中历史环境信息表存储 5 000 条记录, 查询语句处理时间约为 0.6 s, 由于用户界面需要分页显示, 每次处理 10 条记录, 整个解析过程耗时稳定在 1.5~2 s。

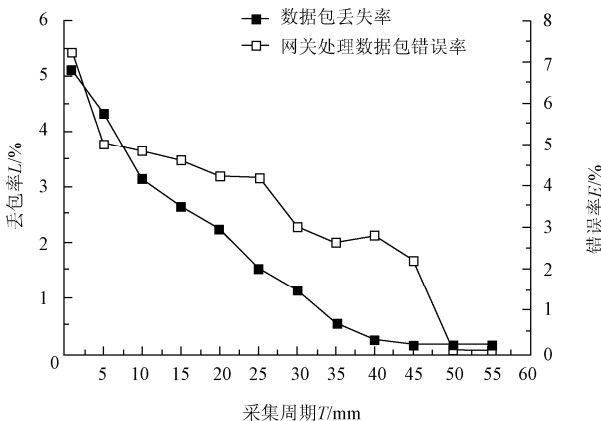


图 5 网关性能测试曲线图

Fig.5 Performance test curve of gateway

5.2 应用验证

在陕西阎良甜瓜试验示范站和杨凌苹果苗圃基地开展了通用农业环境信息监控系统的应用验证, 2 个基地的监测对象、监测策略、区域属性等具有较大差异性, 基地管理人员可根据生产基地应用需求配置 ReGA 网关属性, 以适应运行环境、监测节点、监测对象的变化, 以此验证 ReGA 网关的适应性。

5.2.1 阎良甜瓜试验站应用

2009 年 1 月部署于西北农林科技大学甜瓜试验示范站, 该基地以春季设施育苗和新品种选育为主, 包含可加温日光温室 9 栋, 春秋大棚 4 栋。目前, 系统已部署 36 个监测节点, 可监测温室大棚不同区域、不同类型的环境信息, 主要包括地下 3~5 cm 土壤温度、土壤湿度、土壤电导率, 5 cm 近地面温度、湿度, 50 cm 高度大气温度、湿度、光照强度、CO₂ 浓度、氨气浓度等 8 类影响甜瓜生长的环境因子, 为小气候调节提供依据。其中, 根据春季甜瓜育苗的密集监测需求, 在日光温室的东、中、西 3 个位置各部署 1 个监测节点, 依甜瓜幼苗生长情况, 初期的数据采集频率为 5 min/条, 后期逐渐演化为 10~30 min/条, 监测节点属性配置界面如图 6 所示。



图 6 监测节点属性编辑界面

Fig.6 WSN node attribute editing dialog

基地管理人员通过网关查看各点实时环境数据, 并设置典型监测点的温度上下限阈值范围, 在接收到超限报警短信时, 及时完成加热升温或开棚降温的操作。目前已收集超过 10 万条有效监测数据, 累计发出报警 228 次, 有效减少育苗过程设施小气候突变带来的损失。

5.2.2 杨凌苹果苗圃基地应用

2010 年 4 月部署于杨凌苹果苗圃基地, 该基地以大田苹果苗圃育苗、栽培模式试验、新品种引进为主, 包含示范苗圃区、砧木园区、砧木比较试验区等 16 个区域, 以及 1 个日光温室、4 个网室育苗对比试验区。目前, 系统已监测不同区域的土壤湿度、土壤水分度、大气温度、湿度、CO₂ 浓度、光照强度、风速、风向、降雨量等 9 个环境因子。可在一个监测节点上配置监测同一环境因子的多个传感器, 如监测同一位置 20、40、60、80 cm 深度的土壤温度与土壤水分。



图 7 不同监测类型 WSN 节点

Fig.7 Two WSN nodes with different environmental factors

图 7 左图的监测节点采集空气温度、湿度, 4 个深度土壤温度与水分, 右图节点采集风速、风向、降雨等气象信息, 两者皆采用太阳能供电, 满足户外灵活部署需求。以上信息通过 ZigBee 网络上传至 ReGA 网关, 由基地管理员配置与监测节点相应的属性, 完成不同采集信息的统一分析处理。

5.2.3 应用验证分析

以上 2 个基地部署完全相同的 2 套 ReGA 网关, 基地管理员借助可视化界面配置各自的网关运行参数, 快速建立自治管理环境。在持续 2 年多的监测过程中, 2 个基地的 WSN 网络因监测节点升级更换、监测类型变更等原因多次变化, 通过网关参数和属性重配置, 监控系统工作状态良好, 各项功能运行正常, 证实本网关具有良好的适应性。

6 结 论

本文在设计通用农业环境信息监控系统架构的过程中提出了 ReGA 网关体系结构, 设计了监控系统交互协议, 基于 S3C2410 处理器和 WinCE 嵌入式系统实现了一种现场可视化管理的可配置网关, 为拓展传统网关功能做了前期探讨。2 个不同应用类型生产基地的应用试验证明网关性能稳定高效、可配置、通信可靠, 可满足不同领域监控需求, 提升农业生产管理水平。为了更大程度的提高系统自动化与智能化, 更科学的管理各类设备, 下一步将研究设备的智能控制算法, 实现其智能控制, 增强 ReGA 网关的实用性。

[参 考 文 献]

- [1] Cullar D, Estrin D, Strvstava M. Overview of sensor networks[J]. *Computer*, 2004, 37(8): 41—49.
- [2] Yick, J., B. Mukherjee and D. Ghosal, Wireless sensor network survey[J]. *Computer networks*, 2008, 52(12): 2292—2330.
- [3] Díaz, S.E., J.C. Pérez, A.C. Mateos, et al., A novel methodology for the monitoring of the agricultural production process based on wireless sensor networks[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2011, 76(2): 252—265.
- [4] 高峰, 俞立, 张文安, 等. 基于无线传感器网络的作物水分状况监测系统研究与设计[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(2): 107—112.
Gao Feng, Yu Li, Zhang Wen'an, et al. Research and design of crop water status monitoring system based on wireless sensor networks[J]. *Transactions of the CSAE*, 2009, 25(2): 107—112. (in Chinese with English abstract)
- [5] 韩华峰, 杜克明, 孙忠福, 等. 基于 ZigBee 网络的温室环境监控系统设计与应用[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(7): 158—163.
Han Huafeng, Du Keming, Sun Zhongfu, et al. Design and application of ZigBee based telemonitoring system for greenhouse environment acquisition[J]. *Transactions of the CSAE*, 2009, 25(7): 158—163. (in Chinese with English abstract)
- [6] 曹元军, 王新忠, 杨健全. 基于无线传感器网络的农田气象监测系统[J]. *农机化研究*, 2008(12): 163—165.
Cao Yuanjun, Wang Xingzhong, Yang Jianquan. Design of farmland weather monitor system based on WSN[J]. *Transaction of the Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2008(12): 163—165. (in Chinese with English abstract)
- [7] López Riquelme, J.A., F. Soto, J. Suardiaz, et al., Wireless sensor networks for precision horticulture in Southern Spain[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2009, 68(1): 25—35.
- [8] 乔晓军, 张馨, 王成, 等. 无线传感器网络在农业中的应用[J]. *农业工程学报*, 2005, 21(2): 232—234.
Qiao Xiaojun, Zhang Xin, Wang Cheng, et al. Application of the wireless sensor networks in agriculture[J]. *Transactions of the CSAE*, 2005, 21(2): 232—234. (in Chinese with English abstract)
- [9] 蒋鹏, 何志业, 王浙明, 等. 面向水环境监测的 WSN 网关设计[J]. *计算机工程*, 2010, 36(16): 213—215.
Jiang Peng, He Zhiye, Wang Zheming, et al. Design of WSN gateway for water environment monitoring[J]. *Transaction of the Computer Engineering*, 2010, 36(16): 213—215. (in Chinese with English abstract)
- [10] 尤著宏, 孔令成, 李帅, 等. 一种 WSN 网关节点设计与实现[J]. *自动化与仪表*, 2008, 23(2): 16—23.
You Zhuhong, Kong Lingchen, Li Shuai, et al. Design and implementation of WSN sink node[J]. *Transactions of the Automation and Instrumentation*, 2008, 23(2): 16—23. (in Chinese with English abstract)
- [11] 王卫星, 钟荣敏, 姜晟, 等. 基于茶园旱情监测系统的 WSN 网关设计[J]. *现代电子技术*, 2010, 33(10): 165—177.
Wang Weixing, Zhong Rongmin, Jiang Sheng, et al. Design of ARM-Based WSNs gateway for drought monitoring in tea plantation[J]. *Transaction of the Modern Electronics Technique*, 2010, 33(10): 165—177. (in Chinese with English abstract)
- [12] Huircán, J.I., C. Mu oz, H. Young, et al., ZigBee-based wireless sensor network localization for cattle monitoring in grazing fields[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2010, 74(2): 258—264.
- [13] Steenkamp, L., S. Kaplan and R.H. Wilkinson. Wireless sensor network gateway[C]. in *IEEE AFRICON 2009*, Nairobi: 1—6.
- [14] 王亚民. 组态软件设计与开发[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2003.
- [15] 邓巍, 丁为民. MATLAB 和无 VBA 组态软件在喷头测试中的通信研究[J]. *农业工程学报*, 2006, 22(8): 232—234.
Deng Wei, Ding Weimin. Communication between MATLAB and configuration software without VBA in nozzle property test[J]. *Transactions of the CSAE*, 2006, 22(8): 232—234. (in Chinese with English abstract)
- [16] 韩清华, 李树君, 张云川, 等. 食用菌工厂化栽培环境的远程监测系统[J]. *农业机械学报*, 2008, 39(8): 123—127.
Han Qinghua, Li Shujun, Zhang Yunchuang, et al. Remote monitoring system of edible fungus industrial cultivation

- environment[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(8): 123—127. (in Chinese with English abstract)
- [17] 郭文川, 程寒杰, 李瑞明, 等. 基于无线传感器网络的温室环境信息监测系统[J]. 农业机械学报, 2010, 41(7): 181—185.
Guo Wenchuang, Cheng Hanjie, Li Ruiming, et al. Greenhouse monitoring system based on wireless sensor networks[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(7): 181—185. (in Chinese with English abstract)
- [18] Owens, Michael. The definitive guide to SQLite[M]. Professional and Applied Computing, Apress, 2006.
- [19] 刘祥, 郑中亮, 吴巍荪. SQLite3 在基于 WinCE 平台的智能移动终端设备的应用[J]. 工业控制计算机, 2009, 22(3): 19—20.
Liu Xiang, Deng Zhongliang, Wu Weisun. Application of SQLite3 database in WinCE-based intelligent mobile terminal[J]. Transaction of the Industrial Control Computer, 2009, 22(3): 19—20. (in Chinese with English abstract)

Design of ReGA gateway for general agricultural environment information monitoring system

Zhang Haihui^{1,3}, Zhu Jiangtao², Wu Huarui^{3*}, Deng Qinghai², Ma Jinhui², Ji Daxiang²

(1. College of Mechanical and Electronic Engineering, Northwest A&F University, Yangling, 712100, China;

2. College of Information Engineering, Northwest A&F University, Yangling, 712100, China;

3. National Engineering Research Center for Information Technology in Agriculture, Key Laboratory for Information Technologies in Agriculture, the Ministry of Agriculture, Beijing, 100097, China)

Abstract: Wireless sensor network (WSN) has unparalleled advantages and broad prospects in development of intelligent agriculture. The Gateway plays a important role as the bridge for linking WSN to external application system. Most of the researches currently are specialized in specific data logging and transmission; few of them have the capacity to manage the information of monitoring area. Taking general agricultural environment information monitoring system unrelated to application fields as the background, the paper proposed a Re-configurable Gateway Architecture (ReGA) based on Wince OS, that not only can transmit monitoring data and controlling instructions, but also serves as an integrated management platform for the property of network and environment factors through a visual interface, and provides a SMS warning for exceptional data. The flexibility of ReGA is embodied in supporting of dynamic configuration of environmental monitoring type, monitoring nodes' properties, monitoring areas' attributes. By defining interactive protocols with nodes and server, the interactive instructions and package parameters can be configured. Experiments prove that ReGA is highly reliable, and can be applied to various fields like farm, fishery, forestry and greenhouse flexibly.

Key words: wireless sensor network, monitoring, systems, agricultural environment, configurable gateway