

阴国富. 基于光载无线交换技术的渭南智慧农业系统研究[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(8): 414-418.

# 基于光载无线交换技术的渭南智慧农业系统研究

阴国富<sup>1,2</sup>

(1. 渭南师范学院, 陕西渭南 714099; 2. 陕西省渭南市智慧城市工程技术研究中心, 陕西渭南 714000)

**摘要:**针对精细农业应用具有作物类型与地势多样、受干扰因素多等特点, 以较好的环境适应性、低功耗、低成本、标准化为目标, 对面向精细农业的无线传感器网络组织结构和组网方式进行研究, 结合实施农业与大田的实际应用环境, 设计无线多媒体传感器网络系统架构, 进行仿真试验。结果表明, 该系统能够较好地满足精细农业应用需求, 均衡节点能耗, 延长网络生命周期。

**关键词:**无线传感器网络; 智慧农业; 压缩传感; 光载无线交换

**中图分类号:** S126      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1002-1302(2014)08-0414-05

渭南市是陕西省的主要农业城市, 是西安市的菜园子、果园子, 该地地域辽阔、地形复杂、气候多变。如何在有限的农田资源基础上, 借助先进的科技手段提高农田的生产效率、经济效益与环境效益已经成为亟待解决的问题。目前, 以现代信息技术与农业技术融合为特点的农业技术成为解决以上问题的关键支撑技术之一, 其核心是利用信息技术精确、及时地获取地块中每个小区土壤、环境与作物的信息, 诊断作物长势和产量在空间上存在差异的原因, 并对每个小区作出决策, 准确地每个小区上进行灌溉、施肥、喷药等, 以达到最大限度地提高水、肥等的利用率, 增加产量, 减少环境污染的目的。

无线多媒体传感器网络(WMSNs)是20世纪发展起来的一种无线自组织网络, 是物联网的关键组成部分, 因此智慧农业解决方案集先进的物联网工程信息平台、新兴现代农业、移动互联网和物联网技术为一体, 依托部署在农业生产现场的各种传感节点(环境温湿度、土壤水分、二氧化碳、图像等)和无线通信网络实现农业生产环境的智能感知、智能预警、智能决策、智能分析、智能控制等, 为农业生产提供精准化种植、可视化管理、智能化决策平台<sup>[1]</sup>。

收稿日期: 2014-04-25

基金项目: 国家自然科学基金(编号: 11304230); 陕西省教育厅科研专项(编号: 2013JK1085); 渭南师范学院特色学科建设项目(编号: 14TSXK007)。

作者简介: 阴国富(1980—), 男, 陕西富平人, 硕士, 副教授, 从事无线传感器网络研究。Tel: (0913) 2088785; E-mail: yinguofu@126.com。

## 1 基于光载无线交换技术的渭南智慧农业系统设计

智慧农业系统包括物联网工程信息平台、环境监测系统、智能控制系统、数据中心、生产追溯系统、远程农业监控系统等。基于物联网工程信息平台的智慧农业系统架构如图1所示。

在农业大棚部署各种用途的传感设备, 如温度传感器、湿度传感器、光照传感器、土壤水分传感器等, 以采集农作物生长环境的各种参数<sup>[2]</sup>。传感设备将采集到的数据通过无线传感网络(ZigBee)等传输给中间层Wi-Fi/无线传感网关, Wi-Fi/无线传感网关再将采集到的信息进行过滤、分组、关联、聚合等操作, 形成TCP/IP数据包, 通过物联网工程信息平台及有线计算机网络上到数据中心; 数据中心将数据进行整理、分类, 保存在数据服务器上, 并根据农业专家系统对各类控制设备实施控制, 达到对温湿度、光照、土壤水分、土壤肥力、环境通风的智能控制; 数据中心将各类数据和设备状态信息通过网路发布出去, 提供本地、远程的数据访问及设备控制, 达到远程监控农业生产过程; 数据中心将农作物生长及生产过程中的各种数据进行分类保存, 以实现对农产品的安全追溯及产品生产过程的追溯。

### 1.1 物联网工程信息平台

物联网信息平台由光载无线交换机及其配套设备远端射频单元构成, 用于实现Wi-Fi无线射频信号的远距离、大范围的光纤分布, 是物联网无线网络分布的主要方式。

光载无线交换机安装在物联网智慧农业系统中心机房的落地式网络机柜里面, 与原来的有线布线网络连接, 接入有线计算机网络; 光载无线交换机内置Wi-Fi接入点(AP, 所有

[5] 陈圣波, 孟治国, 湛邵斌, 等. 遥感影像信息库[M]. 北京: 科学出版社, 2011: 23-35.

[6] 刘慧, 汤亮, 张文宇, 等. 基于模型的可视化水稻生长系统的构建与实现[J]. 农业工程学报, 2009, 25(9): 148-154, 彩插2.

[7] Mather P M. Computer processing of remotely-sensed images: an introduction[M]. 3rd ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2004: 110-123.

[8] 杜根远. 海量遥感图像内容检索关键技术研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2011: 46-48.

[9] 熊德兰, 杜根远. 遥感影像模板数据库设计与实现[J]. 现代计算机: 上半月版, 2012, 10(10): 62-65.

[10] 蒋楠, 李卫国, 杜培军. 雷达遥感在水稻生长监测应用中的研究进展[J]. 江苏农业科学, 2011, 39(2): 491-493.

[11] 中国科学院计算机网络信息中心. 地理空间数据云[DB/OL]. [2013-12-01]. <http://www.gscloud.cn/>.

[12] 柳钦火, 辛晓洲. 定量遥感模型、应用及不确定性研究[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 52-80.

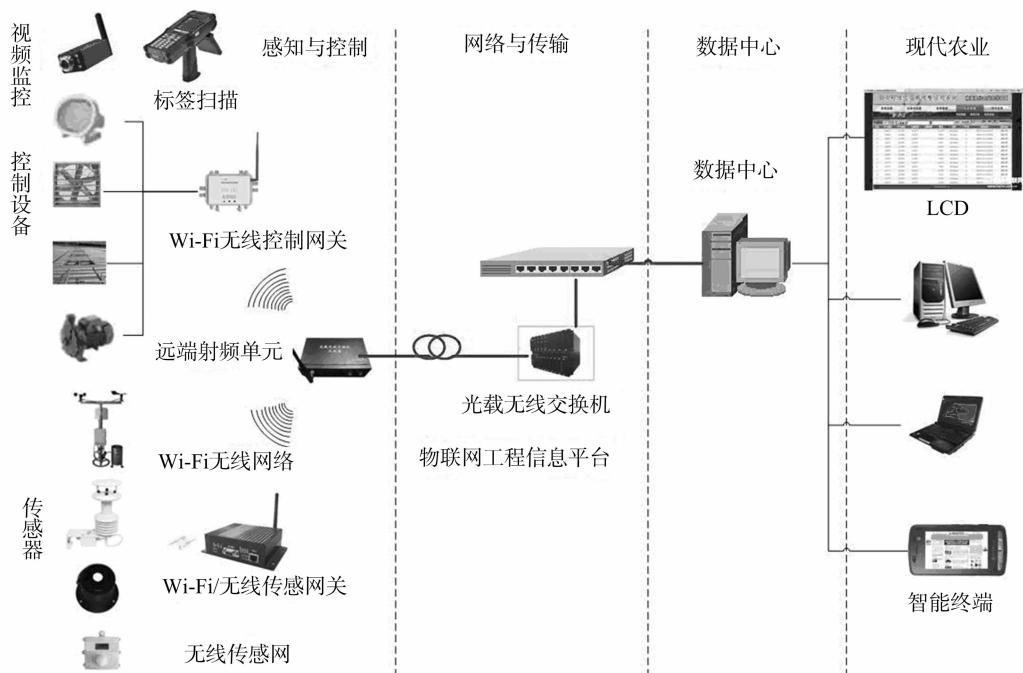


图1 基于物联网工程信息平台的智慧农业系统架构

网络协议处理、基带数据处理、射频信号处理都集中在光载无线交换机内),通过单模光纤链路将 Wi-Fi 射频信号分布至农业大棚内,完成大棚内 Wi-Fi 无线信号的全覆盖,将 Wi-Fi/无线传感网关、Wi-Fi 无线控制网关、Wi-Fi 摄像头、Wi-Fi 手持扫描终端及其他 Wi-Fi 智能终端(手机、笔记本电脑等)接入统一的 Wi-Fi 无线局域网,构成整体的物联网平台。

## 1.2 数据中心

为实现物联网智慧农业系统的智能管理、智能控制,并开展功能复杂的综合设计和科研项目,智慧农业系统配置了 1 台高性能服务器,用于存储系统数据及运行系统程序。

该数据中心的服务器具备自动采集环境数据并分类处理和存储,能根据农业专家系统提供的设备控制指令或实现自动控制,提供本地或远程网络访问服务,实施对系统的本地或远程监控和设备管控。数据中心通过大屏幕实时显示环境参数、音视频信息的汇总及各种异常状态和生产信息提示(图 2)。

编 号	116号	119号	129号	134号	136号	149号
空气温度(℃)	12.3	12.6	12.1	12.2	12.3	13.1
空气湿度(%)	28%	29%	29%	27%	28%	29%
光照强度(KLux)	0	0	0	0	0	0
二氧化碳(ppm)	0	0	0	0	0	522
基质温度(℃)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.3
基质水分(%)	0%	0%	0%	0%	0%	75%
更新(分钟前)	3	3	1	3	3	3

图2 数据中心信息状态

## 1.3 环境监测及控制系统

1.3.1 环境监测系统 环境监测及控制系统由各类传感器节点、无线传感网络、无线传感网关构成,实现对农作物的生长过程进行全面监管和精准调控<sup>[3]</sup>。系统主要感知气候参数、土壤参数以及视频图像数据。气候参数的感知主要包括

风向、风速、空气温湿度、光照强度、空气二氧化碳含量等,土壤参数的感知主要包括土壤水分、营养液 EC 值、pH 值等,感知土壤水分、肥力等参数,视频图像感知采用 Wi-Fi 摄像头实施对农作物及大棚周边的实时监控。环境监测系统中无线传感网采用 ZigBee 无线传感网,每个传感器连接 1 个 ZigBee 节点,无线传感网拓扑结构采用星形结构,将各个传感器的数据无线汇集到 Wi-Fi/无线传感节点,经处理、封包,经物联网工程信息平台上传数据中心。

1.3.2 智能灌溉系统 智能灌溉系统根据土壤水分传感器和空气温湿度传感器数据,自动感测到什么时候需要灌溉、灌溉多长时间;自动开启灌溉系统,自动关闭灌溉系统;同时可以根据土壤的干湿度,实现土壤太干时增大喷灌量,太湿时减少喷灌量等。该系统包括硬件部分和软件系统,其中硬件部分包括土壤水分传感器、空气温湿度传感器、Wi-Fi 无线控制网关、灌溉设备、水帘(弥雾)等;软件系统分为 2 个部分,第一部分数据采集、综合整理以及数据发布,提供远程数据查看,第二部分为远程控制系统,实现远程设备状态查询及设备控制(图 3)。

1.3.3 智能光照控制系统 智能光照控制系统根据大棚内光照传感器和光合有效辐射传感器,自动感测到大棚内光照是否合适,并通过控制卷帘的开闭及人工照明灯的亮灭,自动调节大棚的光照强度,以满足农作物生长需要。该系统包括硬件部分和软件系统,其中硬件部分包括光照传感器、Wi-Fi 无线控制网关、自控卷帘、自控遮阳板(遮阳网)、自控内遮阳(幕布)、照明灯;软件系统分为 2 个部分,第一部分数据采集、综合整理以及数据发布,提供远程数据查看,第二部分为远程控制系统,实现远程设备状态查询及设备控制。

## 1.4 远程农业监控系统

远程农业监控系统主要依托数据中心的网络服务器,提供远程访问服务,采取 B/S 模式,远程智能终端(智能手机)

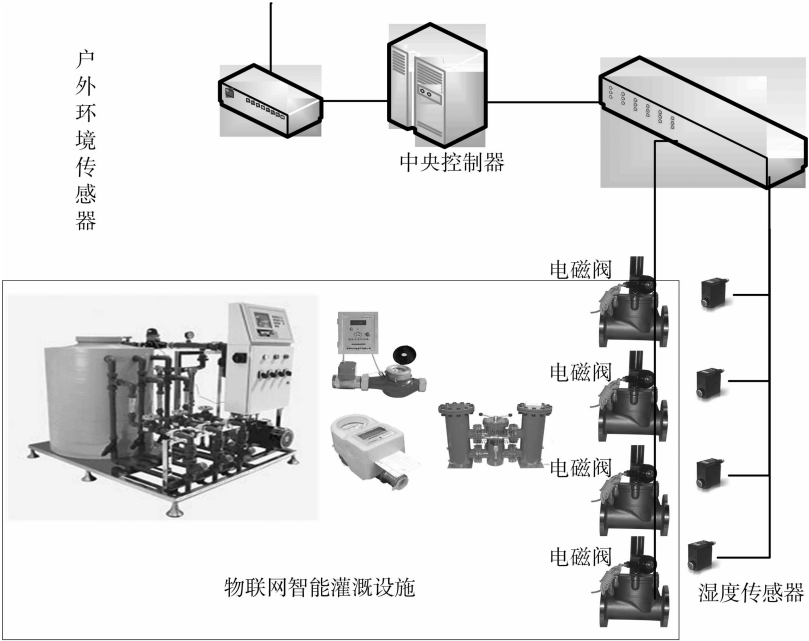


图3 智能灌溉系统的构成

本地或异地访问服务器,查询大棚各类传感器数据、设备状态,以及施加远程设备控制等。

远程农业监控系统系统框架如图 4 所示,主要包括感知与控制、光载无线交换网络以及数据中心构成。其中,感知与控制部分在视频监控中采用 Wi - Fi 网络,在农情感知中采用

无线传感器网络形式,通过物联网工程信息平台中的远端射频单元实现多种网络的融合;光载无线交换网络采用光载无线交换机实现与数据中心以及 Internet 的互联互通;数据中心完成农业生产一线数据的汇总、智能判决控制以及信息发布功能如图 5 所示。

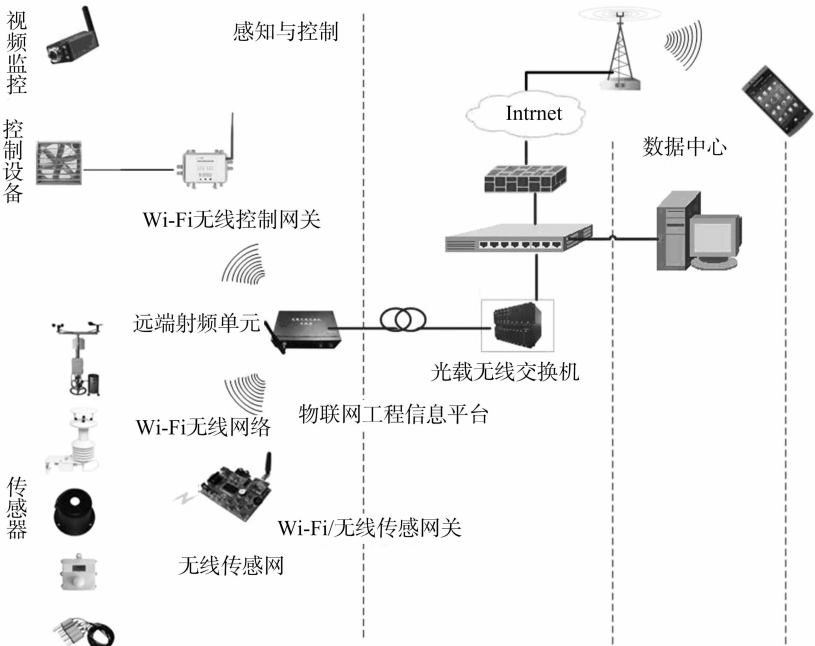


图4 远程农业监控系统的架构

2 无线传感器网络数据处理关键技术及评价指标

渭南市无线多媒体传感器网络以系统感知和判决数据为中心,其中数据处理任务是无线多媒体传感器网络中的一个核心问题,在很大程度上决定了网络的性能。根据渭南市精细农业分布位置、规模程度以及农产品生产过程中的具体特

点采用远距离、局部高密度的无线多媒体传感器网络作为研究背景,针对农业分布较为分散的特点提出多种网络融合的方式,针对局部节点较多、数据量大的问题,采用数据压缩技术实现高效传输,以尽最大程度降低网络内部传输的数据量,降低节点能耗,节约节点内部存储器容量,降低工程成本,延长无线传感器网络的生命周期。另外,通过制定无线传感器



图5 手机监视和控制图示

网络 QoS 评价指标体系, 优化无线传感器网络并改进网络的服务质量。

## 2.1 无线传感器网络压缩传感技术

压缩传感或压缩感知 (compressive sensing, CS) 是 2006 年以来逐步发展起来的, 它是一种将无线传感器网络与数据压缩技术融合的数据获取方法<sup>[4]</sup>。该方法的核心思路是: 在保障数据能够精确恢复的基础上, 数据采用的过程中判别信号是否为可压缩信号, 如果是可压缩信号则可通过远低于奈奎斯特准则的方式进行数据的采用处理, 从而可以在很大程度上加大信号的压缩范围。由于渭南市地区农业生产存在分布不均等现象, 可以在节点密集地区采用压缩传感技术, 在数据携带的信息量不减少的情况下, 能够有效降低数据在传输过程中的数据容量, 进而减少无线传感器网络在传输过程中的节点能量消耗, 增长网络的生命周期, 提高网络的健壮性。压缩传感主要包括传输信号稀疏表示、选择测量矩阵、实现并优化重构算法 (图 6)。



图6 压缩传感流程

首先, 判断信号是否可压缩, 如果信号  $x \in R^N$  并且信号  $x$  在正交集  $\Psi$  上可以压缩, 进行变换系数运算  $\Theta = \Psi^T X$ , 其中  $\Theta$  是  $\Psi$  的等价稀疏表示 (或者逼近)<sup>[5]</sup>; 然后, 设计  $M \times N$  维的观测矩阵  $\Phi$ , 要求  $\Phi$  与变换基  $\Psi$  不相关, 通过观测  $\Theta$  数据从而得到  $Y = \Phi\Theta = \Phi\varphi^T$  观测集合, 这个过程是信号  $x$  通过  $A^{CS}$  (矩阵表示, 称为 CS 信息算子) 进行观测:  $Y = A^{CS} X (A^{CS} = \Phi\Psi^T)$ ; 最后, 采用范数最优化问题的方法求解  $X$  的近似逼近值 ( $X$  通常不能求出其精确值, 智能进行逼近值计算)  $\hat{X}$ :

$$\min \|\Psi^T X\|_0, s.t., A^{CS} X - \Phi\varphi^T = Y. \quad (1)$$

算法验证采用 Matlab 为分析工具, 无线传感器网络中与空间因素有关的数据集合采用二维高斯分布进行模拟得出, 通过渭南市智慧农业实际工程应用, 该模拟数据基本能够满足试验需求, 研究对象为分布在  $1 \text{ hm}^2$  内的无线传感器节点, 并且节点分布满足随机分布要求。在验证过程中, 假定无线传感器网络中的节点在同一时间将多方面的感知数据进行汇总传输至簇头节点, 接收到大量数据的簇头节点通过感知压缩算法对接收到的数据进行压缩并编码传输, 传输过程中观测数据通过多个节点传送至解码单元, 汇聚点采用解码算法对无线传感器网络中的感知数据进行重新构造。

由图 7 可知, 感知参数为 100 个。当观测数值不断增加时, 重构误差不断减少, 当数量达到 40 时, 重构误差基本可以控制在 0.05 以下, 从而达到精确重构的目的, 进而减少无线传感器网络节点数据发送量, 降低功率消耗, 能够满足智慧农业感知压缩的需求。

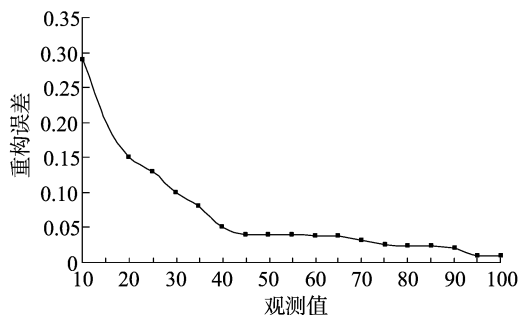


图7 观测数据数量与重构误差的关系

## 2.2 无线传感器网络服务质量评价

在渭南市智慧农业的应用需求过程中, 由于特色农业的区域分布特点决定节点的布置面积较大, 并且各个节点之间的距离不相等, 有的很远, 分布较分散, 有的较近, 分布较集中; 另外, 智慧农业要求节点能够满足高温、潮湿、雨雪等自然环境的需求, 并且保证在各种情况下的正常工作<sup>[6]</sup>。因此, 必须通过 QoS 进行网络性能指标评价。针对渭南市农业物联网信息系统的实际情况, 主要从网络数据时延、网络能量消耗、丢包率等几个方面进行无线传感器网络服务质量进行评价。

2.2.1 网络数据时延 对于每一个农业 WSN 节点, 它要花费  $f$  的时间来获取上一跳节点传送过来的路由请求, 然后花费  $f$  的时间处理代码进行运算, 花费  $k$  的时间将路由数据发送给下一跳的网络节点。因此, 沿整个路由的时延可以计算为农业物联网工程中的无线传感器节点花费的时间<sup>[7]</sup>, 即获得前一跳节点的路由请求时间、路由处理计算时间、根据路由算法将路由数据转发给下一跳节点的时间。因此, 总的网络时延可以根据公式 (2) 进行计算:

$$\text{Delay}[P(V_s, V_d)] = \sum_{v \in P(V_s, V_d)} \text{Delay}(v) + \sum_{e \in P(V_s, V_d)} \text{Delay}(e). \quad (2)$$

2.2.2 网络能量消耗 网络能量消耗的计算公式为:

$$EC(R) = P_{o, \text{proc}}(t_{o, \text{setup}} + t_{o, \text{ocq}} + t_{o, \text{proc}}) + P_{o, \text{tran}} \times t_{o, \text{ruan}} + \sum_{k=1}^{H-1} \{P_{k, \text{proc}} \times t_{k, \text{proc}} + P_{k, \text{tran}} \times t_{k, \text{tran}}\}. \quad (3)$$

2.2.3 丢包率 无线传感器网络的丢包率计算公式如公式 (4) 所示, 其目的是统计  $P(V_s, V_d)$  路径下的丢包率, 首先分析经过  $P(V_s, V_d)$  路径总的包数量, 然后对丢失的包数量进行统计, 最后得到  $P(V_s, V_d)$  路径上数据丢失总量  $\text{LOSS}(e)$ <sup>[8]</sup>。

$$\text{LOSS}[P(V_s, V_d)] = \frac{\text{LOSS}(e)}{\text{PACKET}[P(V_s, V_d)]}. \quad (4)$$

## 2.3 延时率、丢包率及能量消耗综合评价指标

延时率、丢包率及能量消耗综合评价指标如公式 (5) 所示, 其中,  $\text{Delay}_{\max}$  为网络最大延时,  $\text{LOSS}_{\max}$  为网络的最大丢包数量,  $(P_{\text{all}})_{\max}$  为无线传感器网络最大能量消耗值。  $QoS_{\text{DPE}}[P(V_s, V_d)]$  为综合服务质量  $QoS$ ,  $QoS_{\text{DPE}}[P(V_s, V_d)]$  值越小, 网络的服务能力越好, 如果  $QoS_{\text{DPE}}[P(V_s, V_d)] > 1$ ,

则网络无法正常工作。针对渭南市智慧农业无线传感器网络的实际情况,对多个地区的  $QoS_{DPE}[P(V_s, V_d)]$  值进行综合测试,结果如图 8 所示,由图 8 可以看出,渭南市智慧农业无线传感器网络基本能够满足农业传感及农情控制的基本需求,个别地区的网络(第 8、第 16、第 23 批次地区的网络)有待进一步优化。

$$QoS_{DPE}[P(V_s, V_d)] = \frac{\sum_{i=1}^k Delay[P(V_s, V_d)]}{k \times Delay_{max}} \times \frac{\sum_{i=1}^k LOSS[P(V_s, V_d)]}{k \times LOSS_{max}} \times \frac{\sum_{i=1}^k P(V_s, V_d)}{k \times (P_{all})_{max}} \quad (5)$$

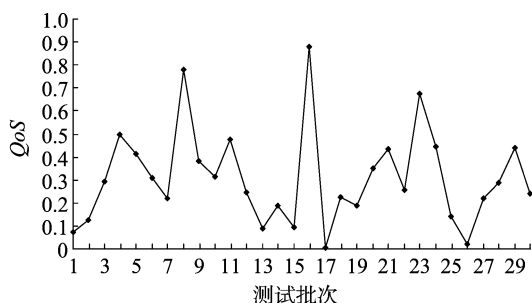


图8 渭南市各地区无线传感器网络 Qos 比较

### 3 当前的应用情况及应用展望

渭南市智慧农业经过几年的建设已形成一定的规模,但通过一段时间的应用后发现以下几个方面的问题:网络对于数据较为密集的地区丢包率高;对于分布于较为偏远地区的网络在传输过程中带宽成本相对较高;由于建设过程中缺乏统一标准,不同地区多种网络数据格式不统一,给个别地区接入大网造成一定困难。针对以上几方面的问题,以良好的环境适应性、较低的成本、降低网络节点功率消耗、标准化设施

(上接第 410 页)

### 4 结论

智能温室种植已经成为我国农业科学种植中所用到的重要方法之一。本系统设计的基于 WSN 与 TinyOS 技术的智能温室监控系统,采用 WSN 技术通过无线感知的形式对数据进行采集,同时系统通过智能分析服务器对前端采集的数据进行分析,并可联动温室环境控制系统。系统的故障检测能对损坏的节点进行迅速查找,减轻维护人员的维护难度。本系统在硬件设计上采用低功耗设计,在软件上利用 TinyOS 系统进行软件开发,保证了传感器节点的相应速度与高稳定性。经实际测试,本系统运行稳定,对 WSN 技术实际应用于今后智能温室监控系统中具有指导作用<sup>[9]</sup>。

#### 参考文献:

[1] 李晓维,任丰原. 无线传感器网络技术[M]. 北京:北京理工大

建设为设计目标,对渭南市农业物联网信息平台进行了优化,采用光载无线交换技术、无线传感器网络压缩传感技术对现有的智慧农业工程平台进行进一步的优化设计,并且制定无线传感器网络 QoS 综合服务质量评价指标体系。

虽然通过以上优化设计解决该地区智慧农业信息平台中的一些问题,但随着我国智慧农业的不断发展以及农业物联网工程方面的研究不断深入,无线传感器网络技术也在不断发展,本研究拟在后续进行以下方面的研究与改进,以满足区域智慧农业工程的发展:改进无线传感器网络中的压缩传感算法,使节点能量消耗更低;进行智能服务平台的开发,以适应智慧农业对农情管理的需求;建立云平台智慧农业专家库信息系统为地区农业生产提供更多的技术服务。

#### 参考文献:

- [1] 邢伟伟,白瑞林. IEEE 1588 时间同步在 ZigBee 低功耗中的应用[J]. 自动化仪表,2012,33(11):27-30.
- [2] 韦佳,何磊,顾晓峰,等. ZigBee 无线多区域监测系统[J]. 自动化仪表,2012,33(11):39-41.
- [3] 周益明. 基于无线传感器网络的温室群监测与控制系统的键技术研究[ D ]. 杭州:浙江大学,2009:56-78.
- [4] 杜治高,王玉斌,冒亚明,等. 基于物联网的油库安全管理信息系统研究[J]. 微型机与应用,2012,31(22):7-9.
- [5] 王伟. 无线传感器网络若干关键技术研究[ D ]. 武汉:华中科技大学,2011:87-99.
- [6] 李玉凯. 无线传感器网络高效可靠数据传输理论及应用研究[ D ]. 北京:华北电力大学,2011:12-26.
- [7] 陶为戈,朱映华,钱志文,等. 基于 ZigBee 有源电子标签和 Internet 的区域定位系统[J]. 制造业自动化,2012,34(23):61-63.
- [8] 朱创录. SNMP 管理模型下的网络流量监视与控制[J]. 计算机技术与发展,2013,4(8):223-226.
- [9] 学出版社,2007:11-21.
- [2] 江朝晖,焦俊,潘炜,等. 基于 ZigBee 的农业通用无线监测系统[J]. 安徽农业科学,2010,38(6):3149-3151.
- [3] 孙超,张世庆,张西良,等. 无线传感器网络在温室环境监测中的应用[J]. 农机化研究,2006(9):194-195.
- [4] 刘强,崔莉,陈海明. 物联网关键技术与应用[J]. 计算机科学,2010,37(6):1-4,10.
- [5] 刘洋,杨维. 基于物联网的农田环境监测无线传感器网络的管理[J]. 中国农学通报,2011,27(30):297-302.
- [6] 张长利,沈维政. 物联网在农业中的应用[J]. 东北农业大学学报,2011,42(5):1-5.
- [7] 瞿雷. 一种新的无线网络通信技术 Zigbee[J]. 单片机与嵌入式系统应用,2006(1):12-14.
- [8] 石为人,张杰,唐云建,等. 无线传感器网络嵌入式网关的设计与实现[J]. 计算机应用,2006,26(11):2525-2527,2535.
- [9] 陈珊. 嵌入式 WEB 服务器网关系统的研究与实现[ D ]. 大连:大连理工大学,2006.