

# 基于物联网与云计算服务的农业温室 智能化平台研究与应用<sup>\*</sup>

刘洋<sup>1</sup>, 张钢<sup>2</sup>, 韩璐<sup>3</sup>

(1. 天津师范大学 计算机与信息工程学院, 天津 300387; 2. 天津大学 计算机科学与技术学院, 天津 300072; 3. 北京 昆仑海岸传感技术有限公司, 北京 100086)

**摘要:** 在深入研究相关技术的基础上, 独立自主地开发具有自主知识产权的基于物联网与云计算技术的农业创新网络平台, 建成集数据采集、数字传输、数据分析处理、数控农业机械为一体的新型农业生产管理体系; 弥补国内农业物联网核心技术发展相对滞后, 农业信息化相关技术的集成化程度比较低, 相应软件设计不够成熟以及农业信息缺乏标准化等缺点, 使农业生产管理朝着低成本、可靠性、节能型、智能化和环境友好型五大方向发展, 提高我国农业生产力与农产品的质量, 增强国际竞争力。

**关键词:** 网关矩阵排布技术; 农业物联网软件设计模型; 云计算服务; 智能农业温室

**中图分类号:** TP393; S24

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1001-3695(2013)11-3331-05

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2013.11.032

## Research and application of platform for intelligent agricultural greenhouse based on IoT and cloudy service

LIU Yang<sup>1</sup>, ZHANG Gang<sup>2</sup>, HAN Lu<sup>3</sup>

(1. College of Computer & Information Engineering, Tianjin Normal University, Tianjin 300387, China; 2. School of Computer Science & Technology, Tianjin University, Tianjin 300072, China; 3. Beijing ColliHigh Sensing Technology Co., LTD, Beijing 100086, China)

**Abstract:** On the basis of the in-depth and related technologies, this paper independently developed an self-contained agriculture innovation network platform, which was built on the Internet of things and cloud computing technologies, and established a late-model agricultural production management system, which was a system integration of data acquisition, digital transmission, data analysis and processing, agricultural machinery in CNC system. This platform made up for the deficiencies such as the relatively backward on core technology of IoT, the low-level integration of agricultural information technology, the immature corresponding software design, lack of standardization interiorly. It also urged agricultural production to become more low-cost, reliable, energy-efficient, intelligent and environment-friendly. Armed with that, it can improve our agricultural productivity and the quality of agricultural products, enhance international competitiveness as well.

**Key words:** IoT gateway and its matrix technology; software design model for IoT in agriculture; cloudy service; intelligent agricultural greenhouse

## 0 引言

随着 21 世纪全球信息技术革命的深入和 3G 网络的建设, 物联网已经成为了新兴高新产业中最为热门的技术之一, 被业界人士广泛关注。物联网这个概念最早是在 1999 年由麻省理工学院 Auto-ID 中心的 Ashton 教授在研究 RFID 时提出来的, 经过多年的研究, 它有许多种不同形式的定义, 在文献[1]中, 物联网的定义是通过射频识别(radio frequency identification, RFID)装置、红外感应器、全球定位系统、激光扫描器等信息传感设备, 按约定的协议, 把任何物品与互联网相连接, 进行信息交换和通信, 先进的云计算技术和超级计算机则可以对海量数据进行整理分析, 帮助人们作出正确的行动决策, 以实现智能化识别、定位、跟踪、监控和管理的一种网络。我国是世界上最大的发展中国家, 也是一个传统的农业大国, 目前我国农业建设正面临着一个从传统农业向现代农业的

转型时期, 为全面实践这一新技术体系的转变, 物联网及云计算技术应用将会发挥关键的作用, 它将为我国农业的发展提供一个全新的平台, 改变传统农业的发展模式。农业是一个国家的基础, 其信息现代化程度直接影响了该国家与社会的信息化进程, 因此, 对于农业信息化, 包括智能农业、精准农业、农业物联网等理论与技术实践研究已经得到了国内外政府领导与科技研究人员的高度重视。在农业信息化发展模式的理论研究上, 国内外学者作了大量的研究<sup>[2-7]</sup>。在农业信息化的实践应用上, 近十年来, 欧美一些发达国家相继开展了农业领域的物联网应用示范研究, 实现了物联网在农业生产、资源利用、农产品流通领域, 物—人—物之间的信息交互与精细农业的实践与推广, 形成了一批良好的产业化应用模式, 推动了相关新兴产业的发展<sup>[8-11]</sup>。

我国物联网技术的研究几乎是与国外发达国家同步进行的, 中国科学院早在 1999 年就启动了传感网的研究。物联网在农业

收稿日期: 2013-03-11; 修回日期: 2013-05-06 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60903193)

作者简介: 刘洋(1977-), 男, 天津人, 博士, 主要研究方向为农业物联网技术(snake8\_young@aliyun.com); 张钢(1960-), 男, 教授, 博士, 主要研究方向为计算机网络、企业信息化、图像处理与计算机视觉等; 韩璐(1970-), 女, 工程师, 硕士, 主要研究方向为传感器、物联网网关研究。

的应用上,最早是中国农业科学院环发所研发的基于 GPRS 和 Web 技术的远程数据采集和信息发布系统方案。它首先通过 RS-485 总线与数字传感器连接,并与 PC 监控计算机构成温室现场监控系统;其次,通过 GPRS 无线通信技术建立的现场监控系统与互联网连接,并将实时采集信息发送到 Web 数据服务器。系统软件采用 ASP.NET 开发,构建了基于 B/S 的瘦客户模式,通过浏览器访问不仅可实时浏览监测数据,而且能进行历史数据的查询<sup>[12]</sup>。尽管我国物联网在农业温室方面的应用有所突破<sup>[13-17]</sup>,但与国外很多发达国家的农业信息化相比较,整体发展水平还比较落后,许多问题亟待解决。

首先,农业物联网温室集成方案有待提高。目前,设施农业、智能农业等集成化技术应用还处于实验阶段,一般只能监测一个或者有限的几个温室的环境参数,缺乏远程稳定地控制以及监测数据与控制设备的关联能力,因此若要使农业物联网温室得到普及,必须设计出可以大规模使用的具有群测群控能力的技术方案。其次,国内农业物联网软件服务差强人意,根本达不到其预期效果,从国外进口软件系统价格昂贵,往往是买得起硬件,却买不起软件,因此对于农业物联网上层软件的设计与实现就尤为重要。再次,农业物联网获得的数据是一个大数据,对于它的处理必须使用目前方兴未艾的云计算技术,如何使农业物联网与云计算服务联系起来,也是当前势在必行的工作。最后,缺乏统一的农业信息标准。以农业数据库构建为例,各地开发的数据库都是以自身信息为标准,导致数据库之间的兼容性不强,从而加大了数据共享的难度,不可避免数据库重复建设与资源浪费。

## 1 农业物联网体系结构研究

本文的主要研究内容是在物联网与云计算技术的基础上,设计并实现一套符合我国农业生产特色的农业温室信息智能化生产系统。目前,物联网技术与应用还尚未建立起一个标准的、开放的、可扩展的物联网体系架构。早在欧洲智能系统集成技术平台 2009 年提交的物联网研究发展报告中<sup>[18]</sup>,将物联网的种类划分为 18 大类。其中,农业和养殖业物联网是最重要的发展方向之一。报告中指出,农业物联网分为三个层次,即信息感知层、信息传输层和信息应用层。但这种分层模型过于粗糙笼统,不利于指导物联网的实际具体建设。因此本文在物联网理论研究与实践应用的基础上,对物联网的体系结构进行了必要的补充,并对每一层的功能进行了细化,整个系统的体系结构如图 1 所示。

1) 信息感知层 该层处于整个物联网体系中的最底层,功能较为单一,由各种传感器节点组成,通过先进传感器技术,向物联网传送多种支持过程中精细化管理的参数,如土壤肥力、作物苗情长势、动物个体产能、健康、行为等信息。

2) 信息传输层 根据本层所完成的功能,将该层划分为网间融入子层与网络子层。其中网间融入子层主要负责感知层与传输层两者的连接,该子层也是物联网研究的重要对象,目前其实现方式主要有基于串转网网关结构和基于无线网关结构两种。网络子层的功能就是完成传统网络中的数据传输任务,这层技术目前较为成熟,此外无线网络技术极有可能是未来农业物联网发展的方向。

3) 信息应用层 本层所包含的功能繁多。实践表明,建设物联网时如果功能划分不清往往会导致系统灵活性差、可持久性短以及难以扩展等系列问题。经考察和大量尝试,将本层分为应用

服务子层、业务逻辑子层以及用户界面子层。应用服务子层可能是将来系统开发中的共享部分,其可包含网络通信模块与信息存储模块等。业务逻辑子层是整个应用开发的核心部分,由于农业物联网需求复杂,建议该层分模块设计,以提高模块的可重用性和使用灵活性。用户界面子层处于整个系统的最上层,是人机交互、对外的接口。

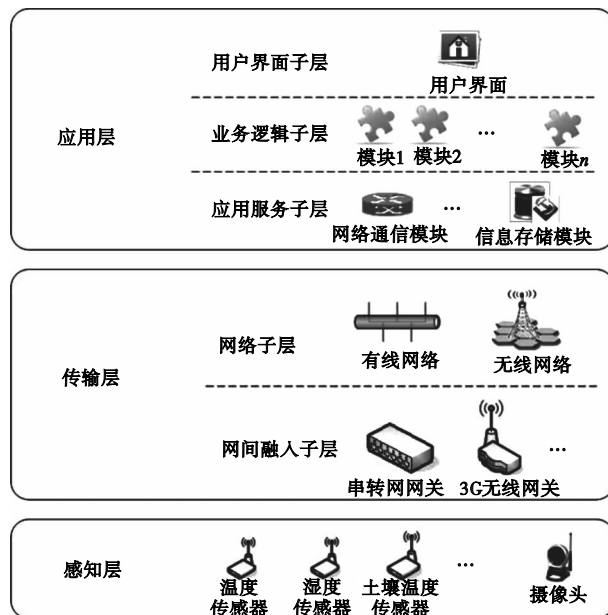


图1 农业物联网体系结构

## 2 系统设计及技术特色

### 2.1 无线物联网网关及其矩阵排布技术

众所周知,处于底层的感知层与传输层是系统的根基,是整个物联网正常运转的保障。本文根据无线传感器网络<sup>[19]</sup>的原理以及农业温室的特点,提出了无线物联网网关及其矩阵排布技术。该技术方案如图 2 所示,该系统由物联网网关、无线智能传感器、无线控制模块以及空心路由设备组成。图中的网关作为系统的核心,它对下接收感知网络上传的采集信息以及根据指令控制温室各种设备,对上通过 MODBUS 协议与传统网络通信,起到承上启下的纽带作用;而每一个传感器一方面负责采集相应的环境信息,另一方面也具有路由功能,当某一传感器与网关通信出现问题时,其可以借助周围的传感器将数据间接传输给系统网关,这样无形中增加了整个系统通信的可靠性;控制模块可以按照网关的指令控制相应设备的开启与关闭,空心路由可以在网关与传感器或控制模块无法直接通信时,起到桥梁作用,保证了整个系统通信没有盲点。此外,使用该技术还有以下优点:

a) 传感器理论上可以传输 32 个通道,以前一个温室就需要若干个传感器采集设备,现在由于一个传感器可以传输多路采集数据,大大减少了项目中传感器的使用个数,降低成本。

b) 无线控制模块的利用。目前比较成熟的是使用串口有线的控制模块,有线的通信相对比较可靠,但有线会增加布线负担,并且农田中地理环境复杂,使得成本进一步增加,无线的使用没有布线费用,大大降低了成本。

c) 64 路无线物联网网关及其矩阵排布技术。一方面由于所采用的网关可以接入 64 路采集与控制设备,使得一个网关就可以直接监控几十个大棚,减少了系统中网关的个数,降低成本;另一

方面,网关矩阵技术的使用使得无线通信更加可靠,这点对于无线控制模块的使用尤为重要。

d)所设计的物联网网关既具有被动请求的服务器模式,又具有推送数据的客户端模式。而后一种模式也为物联网与云计算服务的连接奠定了基础。

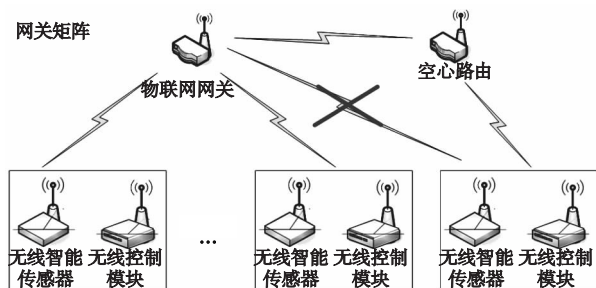


图2 物联网网关及其矩阵排布技术

目前已在多个农业基地中实现了该方案,得到了较好的效果,基本上实现了较大规模的群测群控功能,并且达到建设成本以及用户使用体验的实用性与可行性。

## 2.2 基于松耦合分层技术的农业物联网应用层设计模型

根据农业生产需求以及现代软件设计思想,将本系统中的应用层设计划分为应用服务子层、业务逻辑子层以及用户界面子层。每一层都抽象地定义各自的功能以及对外接口。这样每层都可以使用任何语言独立地开发,层与层之间通过统一的接口进行通信。目前层与层通信采用了共享数据库数据以及调用操作系统功能等进程间通信技术,在业务逻辑层也按不同的模块以插件的形式进行开发,像积木一样添加到系统中。该设计思想可解决以下问题:

a)物联网技术不断发展,特别是感知层与传输层的融入技术,不能因为该部分的变化而影响全局,重写整个系统,这样做代价太大,因此将网络通信模块写成一个接口,抽象定义它的逻辑功能与对外接口。尽管新的融入技术的具体通信方法不同,但只要符合标准对外接口,就不用修改其他部分的程序,使业务逻辑实现与网络融入技术的无关性。

b)由于农业物联网应用广泛,不同地区的需求或者同一地区不同时期的需求变化很大,从系统的性能与开发成本上考虑,系统应具有良好的弹性,做成这种插件式的业务逻辑模块形式,将来可根据需求、成本、性能等因素自由裁剪,增减功能,使得系统有了很大的灵活性和可扩展性。

c)采用进程间通信技术,每层都可以使用不同的语言开发,增加了系统的兼容性,也提高了开发的效率。

在实践工作中,采用该设计思想,得到整体软件设计架构如图3所示。

## 2.3 使用虚拟化技术和云平台建立农业温室智能化应用平台

由于从农业物联网平台中获得的数据量巨大,大约一个具有千亩大棚的基地一天就要连续产生大约 100 GB 的数据,并且系统产生的信息复杂度相当高,仅凭农户的技术水平是难以直接利用这些原始数据进行决策的,农业专家也只有在定量分析的基础上才能作出准确的判断和决策,即单纯的数据采集和控制设备的工作意义有限,更重要的是如何处理和整合从传感器上获得的海量信息。一方面,为每一个农业基地都建立一个计算中心的可行性非常低;另一方面,如果将数据存入到云,也为将来植物生长环境及生长过程的监测、食品安全追溯等行为提供了凭证和依据。综

上所述,选择具有集中式并具有高性能计算特性的云计算模式便成为了必然。总之有了“云”的强大计算能力,才使系统真正具有“智能”,使系统的实用性得到了最大的提升,也明显缩减了生产成本,从而更好地服务于农业生产,这也是接入“云”的重要意义,也是本文的最主要特色之一。

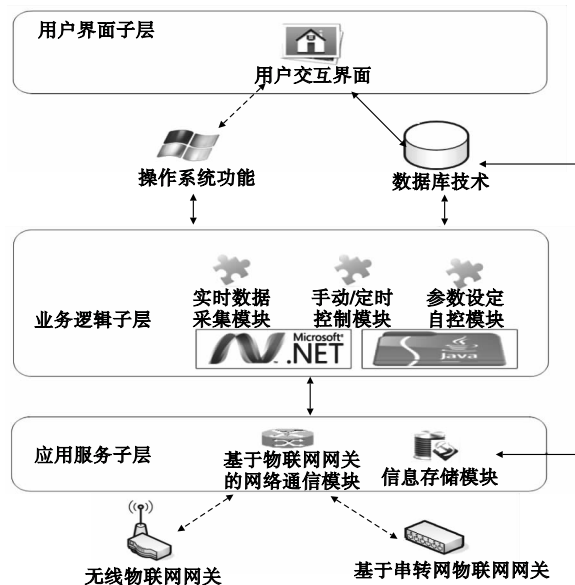


图3 应用层软件设计模型

解决接入云服务的第一个主要问题在于物联网的网关如何与云服务器通信。一般情况下,云服务器都有一个真实的 IP 地址,如果网关上也有一个相应的公网实际 IP 地址,通信问题就简单了,但为每一个网关都分配一个公网的实际 IP 地址是不太现实的,因此网关上的 IP 地址大多都是虚拟的,即局域网内部地址,这样云端就无法主动向网关提出数据请求,并获得数据。在上文中已提到为本系统所设计的物联网网关具有主动“推”数据的客户端模式,因此它可以通过各种互联网接入方式(如光纤入网或 3G 无线上网方式等)主动与云端服务系统进行通信,或上传数据,或等待云端下达的控制设备的指令。另一方面,借助目前三大移动运营商建立的专用云平台,租用其云端若干台虚拟机,其中部分用做系统高级应用、数据库服务、系统维护以及 Web 发布使用,其他虚拟机上编写程序,以获得各自物联网网关“推”来的数据并存储在云端,控制时,还要向网关下达相应的指令。目前在云服务端上已完成数据采集、统计以及对于温室设备的远程控制服务等,并为将来的发展预留了适宜的接口,方便今后在这些服务的基础上进一步衍生出更多的农业生产服务,如植物生长过程分析、农业专家系统以及农业数据挖掘服务等。整个基于虚拟机的农业温室云服务平台架构如图4所示。

## 3 系统的实现

目前已经实现的功能:

a)数据采集功能。采集到温室大棚的各种影响因素如温湿度、光照、风向风速、CO<sub>2</sub> 浓度、土壤水分和温度等土壤信息的数据。实现效果如图5所示(该数据是在天津市农科院某日光温室内进行全天候监测得到,每一温室约每 1~2 min 采集一次各种环境参数并存入数据库中)。根据不同的需求产生不同的数据视图,既可以是在线实时显示,也可以脱机通过自动生成的相关 Excel 文件显示,还可以进行数据的统计分析,预测各种参数的发展趋势



势,供农业管理人员决策参考使用。

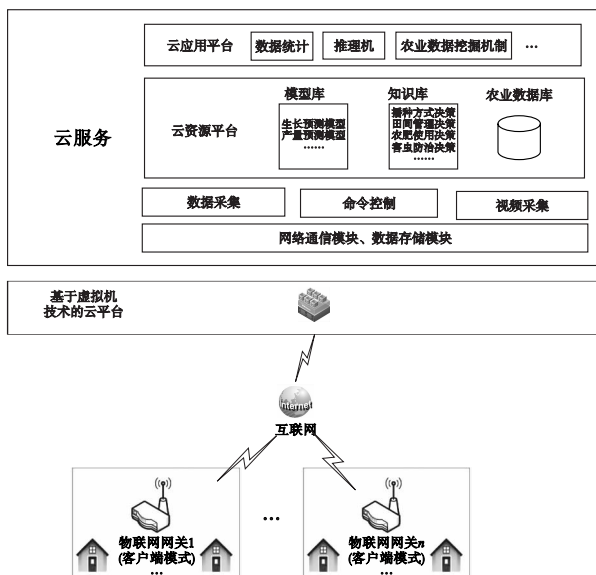
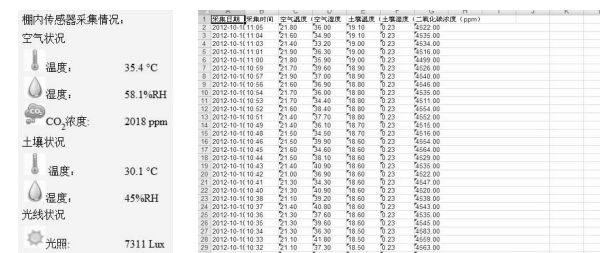
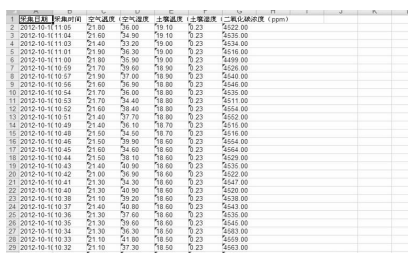


图4 基于虚拟机技术的云服务平台



(a) 在线数据实时采集



(b) 脱机历史数据查询



(c) 数据统计分析

图5 数据采集功能的各种显示形式

b) 远程自动控制功能。文献[20]提出,智能农业应该是以农业大系统智能控制为核心的闭环系统。鉴于此,本系统除了对风机、外遮阳卷帘、内遮阳卷帘、补光灯、水帘、天窗等设备可以进行手动开关、定时开关外,还专门设计与实现了基于循环命令列表技术的严格植物环境闭环控制系统,可以将工作人员设定的参数命令存入命令列表,然后循环执行,当环境条件满足时,则激活设定的动作,完成对环境的无人自控。其工作流程如图6所示。

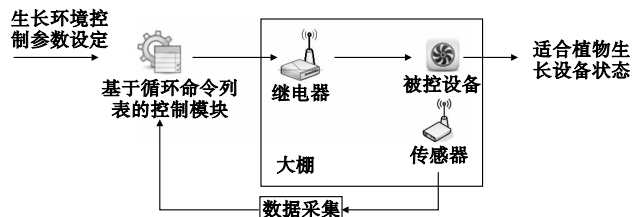


图6 基于循环命令列表技术的严格植物环境闭环控制系统

c) 实时高清视频监控以及图像捕捉。系统可实时视频监控并定期保存大棚内高清图像信息,从而使农业专家很方便地进行远程植物病虫害诊断。

## 4 经济效益

在传统农业中,人们监测农作物生长状况和获取农田信息的方式都很有限,主要是依靠体感和经验,缺乏数字依据。因而当农作物出现问题时难以及时监测到并给出相应解决方案,特别是外界气象条件和内部环境发生突变时,更加难以及时得到提醒和应对,因而造成重大经济损失。如果将物联网技术应用进来,农民仅需按开关,作选择,或是完全听指令,就能科学合理种植农作物。农业物联网的作用就是采用大量的传感器节点构成监控网络,通过各种传感器采集信息,以帮助农民及时发现问题,并且准确地确定发生问题的位置。这样农业将逐渐地从以人力为中心、依赖于孤立机械的生产模式转向以信息和软件为中心的生产模式,从而实现对农业用药、用水、用肥,以及畜禽和水产养殖的精准控制,减少浪费,降低污染,加强疾病防疫与疫情防控,促进农业增产、提高效益,实现农业高效、可持续发展,给农民带来实惠。将物联网应用到农业领域,还可将农民就地转换为现代农业工人,增加农民收入,不仅有效降低了农民的劳动强度,而且其收入也会有较大提高。

以物联网精细农业智能温室为例,它装有许多传感节点,能感知温度、湿度、光照度、土壤温湿度、CO<sub>2</sub>浓度、叶面湿度、露点温度、土壤成分、降水量、气压,还有风力和土壤的pH值等物理量参数。同时将生物信息获取方法应用于无线传感器节点,通过各种仪器、仪表实时显示或作为自动控制的参变量参与到自动控制中,为农作物大田生产和温室精准调控提供科学依据,如根据棚内的温度自动调整光照卷帘,能够根据棚内的湿度进行自动滴灌等,大幅度降低人工巡查的工作量,并对不安全状况提前进行预警,通过后台计算机轻松实现无人值守和远程监测。优化农作物生长环境,不仅可获得农作物生长的最佳条件,提高产量和品质,还可以提高水资源、化肥等农业投入品的利用率和产出率,从而实现生产资料生产的智能化、科学化及集约化。智能大棚实现了清洁绿色的同时,提高了植物产量和质量,使弱质农业向高效优质农业转型。

对于一般用户来说,普通日光温室(面积约600 m<sup>2</sup>)年平均生产鲜菜5 000 kg,年平均产值净利润10 000元左右。使用智能日光温室一方面可精确调控空气温湿度、二氧化碳、肥、水等农业生长重要因素,最大限度地避免减产因素的产生,缩短植物生长周期,最大化地保证利润;另一方面由于精确使用肥、水等资源,可达到节省资源的目标,主人在任意地方(只要能接入互联网)即可完成灌溉,并且大棚灌溉水管依据土壤墒情和作物用水施行精准灌溉,水怎么浇、浇多少全由自动化系统控制,不浪费一滴水,不但能有效提高农业灌溉用水使用率,缓解水资源供应日趋紧张的矛盾,而且为作物提供了更好的生长环境,充分发挥现有节水设施的作用,优化调度,提高效益,使灌溉更加简约有效。

对于农业科研来说,针对名贵品种,经济价值极高并且对于生长有着极其严格要求的农作物或者农科院的实验栽培新品种,在物联网采集数据的基础上,根据农业专家给定的各项控制数据,遥控植物的生长环境,减少温室中人为流动次数,使温室内环境更适合于农产品生长,不滋生有害细菌,这样可以对棚内作物不实施农药,达到绿色食品的严格标准,使农作物生长精确化、数字化、智能化及网络化。

总之,随着今后农业物联网技术的不断成熟和普及,预计物联网技术对农业增加值的贡献率将从 2010 年的 17% 增长到 2015 年的 28% 左右<sup>[21]</sup>。物联网技术源源不断产生的技术成果,为农业的全产业链升级提供了必要的技术手段,将不断提升我国农业的竞争力。

## 5 结束语

本文针对目前国内农业物联网存在的问题与不足,在深入实践的基础上,对于农业物联网的理论进行了补充与完善,并提出了一种切实可行的基于物联网与云服务技术的农业温室智能化系统设计方案。目前该方案已基本成功实施,并顺利地通过了 2012 年天津市科委组织的专家鉴定,鉴定结果为国际先进水平。下一步将进一步利用专家系统技术以及数据挖掘技术对农业植物生长过程模型进行研究,真正做到农作物的智能生产管理。

### 参考文献:

- [1] 王晓静,张晋. 物联网研究综述[J]. 辽宁大学学报:自然科学版,2010,37(1):37-39.
- [2] 高娃. 基于物联网的农业信息化发展模式研究[D]. 南京:南京邮电大学,2012.
- [3] FARE R. U. S. productivity in agriculture and R&D[J]. *Journal of Productivity Analysis*,2008,30(1):7-12.
- [4] BAIN C. The politics of food supply:P U. S. agricultural policy in the world economy[J]. *Contemporary Sociology*, 2010,39(2): 212-213.
- [5] BOTOLF P. The German information and communication technology (ICT) industry: spatial growth and innovation patterns [J]. *Regional Studies*,2009,43(4):605-624.
- [6] SERODIO C,CUNHA J B,MORAIS R. A networked platform for agricultural management systems[J]. *Computers Electron Agric*,2001,31(1):75-90.
- [7] MIZUNUMA M, KATOH T, HATA S. Applying IT to farm fields;a wireless LAN[J]. *NTT Technical Review*,2003,1(2):56-60.
- [8] 罗俊俊. 美国农业信息化及对我国的启示[J]. 阜阳师范学院学报,2009(1):153-157.
- [9] 范凤翠. 国外主要国家农业信息化发展现状及特点的比较研究[J]. 农业图书情报学刊,2006,18(6):175-177.
- [10] 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.
- [11] 张氏,陈鹏. 中国农业物联网:现状、挑战及思考[J]. 中国科技投资,2012(9):38-41.
- [12] 孙忠富,曹洪太,李洪亮. 基于 GPRS 和 Web 的温室环境信息采集系统的实现[J]. 农业工程学报,2006,22(6):20.
- [13] 朱江. 中国科学院、农业部、沈阳军区领导考察院军合作东北现代农业示范基地[EB/OL]. (2011-08-14). [http://www.ioz.ac.cn/xwzx/zhxw/201108/t20110814\\_3321984.html](http://www.ioz.ac.cn/xwzx/zhxw/201108/t20110814_3321984.html).
- [14] 农业部市场与经济信息司. 国内外农业物联网发展现状[EB/OL]. (2011-10-13). [http://www.moa.gov.cn/scs/gzjb/201110/t20111013\\_2356045.htm](http://www.moa.gov.cn/scs/gzjb/201110/t20111013_2356045.htm).
- [15] 阎晓军,王维瑞,梁建平. 北京市设施农业物联网应用模式构建[J]. 农业工程学报,2012,28(4):150-153.
- [16] 孙忠富,杜克明,尹首一. 物联网发展趋势与农业应用展望[J]. 农业网络信息,2010(5):5-8.
- [17] 朱伟兴,戴陈云,黄鹏. 基于物联网的保育猪舍环境监控系统[J]. 农业工程学报,2012,28(11):177-182.
- [18] 耿军涛,周小佳,张冰洁. 基于无线传感器网络的大气环境监测系统设计[J]. 西华大学学报:自然科学版,2007,26(4):44-46.
- [19] 陈正宇,杨庚,陈蕾,等. 无线传感器网络数据融合研究综述[J]. 计算机应用研究,2011,28(5):1601-1604.
- [20] 陈一飞. 农业复杂大系统的智能控制与农业物联网关系探讨[J]. 农业网络信息,2012(2):8-12.
- [21] 季震东. 物联网时代探寻农业产业链的蓝海[J]. 中国科技财富,2011(11):66-69.

(上接第 3330 页)重因子选取不同时,系统运行结果不同。在不同情境下决策者可按照各目标的重要程度进行调整,使得到的优化结果最大限度地符合当前状况。

表 5 应急响应资源计划

物资类别	物资编号	计划订单量	总订单量
A	A <sub>2</sub>	13 000	18 000
	A <sub>3</sub>	5 000	
B	B <sub>3</sub>	6 000	90 000
	B <sub>4</sub>	84 000	

## 5 结束语

本文借鉴 MRP-II 管理方法进行应急响应资源计划的设计,且在时间和经济指标约束下对其进行了优化,扩展了广受欢迎的 Sahana Eden 应急管理平台的功能,在构建快速应急响应信息系统方面作了有益的尝试。后续工作将针对应急需求预测进行深入研究,重点探索更优的乘子 $\theta$ 计算方法以及尝试其他优化方法。

### 参考文献:

- [1] CAREEM M, De SILVA C, De SILVA R, et al. Sahana:overview of a disaster management system[C]//Proc of International Conference on Information and Automation Information and Automation.2006.
- [2] FRASSL M, LICHTENSTERN M, KHIDER M. et al. Developing a system for information management in disaster relief-methodology and requirements[C]//Proc of the 7th International ISCRAM Conference.2010.
- [3] HAN L, POTTE S, BECKETT G, et al. FireGrid:an e-infrastructure for next-generation emergency response support[J]. *Journal of Parallel and Distributed Computing*,2010,70(11):1128-1141.
- [4] SHEU J B. Dynamic relief-demand management for emergency logistics operations under large-scale disasters [J]. *Transportation Research Part E:Logistics and Transportation Review*,2010,46(1):1-17.
- [5] ÖZDAMAR L, YI Wei. A dynamic logistics coordination model for evacuation and support in disaster response activities [J]. *European Journal of Operational Research*,2007,179(3):1177-1193.
- [6] 程控,革扬. MRPII/ERP 原理与应用[M]. 北京:清华大学出版社,2002.
- [7] COELLO C A C, LAMONT G B, Van VELDHIJZEN D. A evolutionary algorithms for solving multi-objective problems [M]. [S. l.]: Springer, 2007.
- [8] 陈坚,晏启鹏,霍娅敏,等. 基于可靠性分析的区域灾害应急物流网络设计[J]. 西南交通大学学报,2011,46(6):1025-1031.
- [9] LIN Y H, BATT A R, ROGERSON P A, et al. Alogistics model for emergency supply of critical items in the aftermath of a disaster[J]. *Socio-Economic Planning Sciences*,2011,45(4):132-145.
- [10] LIU Wen-mao, HU Guang-yu, LI Jian-feng. Emergency resources demand prediction using case-based reasoning[J]. *Safety Science*,2012,50(3):530-534.