

物联网与智慧农业

李道亮

(中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083)

摘要: 该文从物联网及智慧农业的内涵出发, 提出了农业物联网的体系架构和关键技术, 在科学分析农业物联网技术应用现状的基础上, 提出了促进我国农业物联网发展的对策与建议。

关键词: 物联网; 智慧农业; 云计算; 专家系统

中图分类号: S126 **文献标识码:** A **文章编号:** 2095-1795(2012)01-0001-07

Internet of Things and Wisdom Agriculture

Li Daoliang

(College of Information and Electrical Engineering, China Agriculture University, Beijing 100083, China)

Abstract: System framework and key technologies of agricultural internet of things were proposed from connotation of internet of things and wisdom agriculture. Policies and countermeasures to promote the development of agricultural internet of things in China were suggested, which based on the science analysis of current application of agricultural internet of things.

Key words: Internet of things, Wisdom agriculture, Cloud computing, Expert system

0 引言

从传统农业到现代农业转变的过程中, 农业信息化的发展大致经历了电脑农业、数字农业、精准农业和智慧农业4个过程。智慧农业把农业看成一个有机联系的整体系统, 在生产中全面综合地应用信息技术。透彻的感知技术、广泛的互联互通技术和深入的智能化技术使农业系统的运转更加有效、更加智慧和更加聪明, 从而达到农产品竞争力强、农业可持续发展、有效利用农村能源和环境保护的目标。笔者认为物联网是智慧农业的主要技术支撑, 农业物联网传感设备正朝着低成本、自适应、高可靠和低功耗的方向发展, 未来传感网也将逐渐具备分布式、多协议兼容、自组织和高通量等功能特征, 实现信息处理实时、准确和高效。

1 物联网与智慧农业的内涵

1.1 农业物联网

目前公认的物联网定义是通过智能传感器、射频识别(RFID)、激光扫描仪、全球定位系统(GPS)、遥感等信息传感设备及系统和其他基于物-物通信模式(M2M)的短距无线自组织网络, 按照约定的协议, 把任何物品与互联网连接起来, 进行信息交换和通信, 以实现智能化识别、定位、跟踪、监控和管理

的一种巨大智能网络^[1]。

经过十几年的发展, 物联网技术与农业领域应用逐渐紧密结合, 形成了农业物联网。笔者认为, 农业物联网就是物联网技术在农业生产、经营、管理和服务中的具体应用, 具体讲就是运用各类传感器, 广泛地采集大田种植、设施园艺、畜禽水产养殖和农产品物流等农业相关信息; 通过建立数据传输和格式转换方法, 集成无线传感器网络、电信网和互联网, 实现农业信息的多尺度(个域、视域、区域、地域)传输; 最后将获取的海量农业信息进行融合、处理, 并通过智能化操作终端实现农业产前、产中、产后的过程监控、科学管理和即时服务, 进而实现农业生产集约、高产、优质、高效、生态和安全的目标。

1.2 智慧农业

智慧农业是以物联网技术为支撑和手段的一种现代农业形态, 它和电脑农业、精准农业和数字农业一样属于农业信息化的范畴, 是现代信息技术发展到一定阶段的产物。

电脑农业是1990年科技部组织实施的“农业智能化信息技术应用工程”的简称, 属国家“863”计划项目。“电脑农业”的实质是农业专家系统的应用, 即把众多农业技术专家掌握的知识输入电脑, 建立一套科学的程序, 用电脑模仿人脑进行推理决策, 对各种单项的农业先进技术成果进行综合组装配套,

收稿日期: 2012-01-03 修回日期: 2012-01-13

作者简介: 李道亮, 教授, 博士生导师, 主要从事农业先进传感与智能信息处理的研究。E-mail: dliangl@cau.edu.cn

给出一个易于操作的、科学明了的答案，用以指导农业生产^[2]。

精准农业也称精细农业或精确农业，是现有农业生产措施与现代信息技术的有机结合，其核心技术是“3S”技术。“3S”技术是遥感（Remote Sensing, RS）、地理信息系统（Geographical Information System, GIS）和全球定位系统（Global Position System, GPS）的统称。其中，GPS具有全球性、全天候和连续定时定位的优势，可以对采集的农田信息进行空间定位；RS在数据获取方面具有范围广、多时相和多波谱的特点，可以获取农田作物的生长环境、生长状况和空间变异的大量时空变化信息；GIS具有强大的空间与属性信息一体化处理能力，可以建立农田土地管理、自然条件、作物产量的空间分布等空间数据库。

数字农业是以农业生产数字化为特色的农业，是数字驱动的数字农业。其主要目标是建成融数据采集、数字传输网络、数据分析处理和数控农业机械为一体的数字驱动的数字农业生产管理体系，实现农业生产的数字化、网络化和自动化^[3]。

物联网、云计算等高新技术的兴起，正在引领我国农业迈入智慧农业的发展阶段。由于“智慧农业”这一概念出现的时间很短，目前尚没有一个公认的定义，笔者认为智慧农业是以最高效率地利用各种农业资源，最大限度地减少农业能耗和成本，最大限度地减少农业生态环境破坏以及实现农业系统的整体最优为目标，以农业全链条、全产业、全过程智能化的泛在化为特征，以全面感知、可靠传输和智能处理等物联网技术为支撑和手段，以自动化生产、最优化控制、智能化管理、系统化物流和电子化交易为主要生产方式的高产、高效、低耗、优质、生态和安全的一种现代农业发展模式与形态。

智慧农业包括智慧生产、智慧流通、智慧销售、智慧社区、智慧组织以及智慧管理等环节，如图1所示。

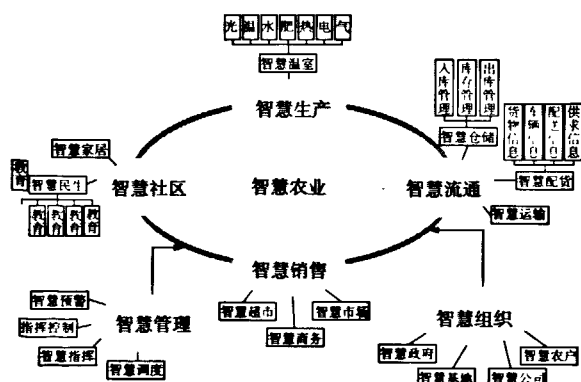


图1 智慧农业框架结构

Fig.1 Diagram of wisdom agriculture structure

2 农业物联网体系架构

虽然物联网的定义不统一，但物联网的技术体系、结构基本已得到统一认识。根据物联网的技术体系架构，可将农业物联网分为3个层次：信息感知层、信息传输层和信息应用层。

信息感知层由各种传感器节点组成，通过先进传感器技术，多种支持过程精细化管理的参数可通过物联网获取，如土壤肥力、作物苗情长势以及动物个体产能、健康和行为等信息。

信息传输层中，传感器通过有线或无线方式获取各类数据，并以多种通信协议，向局域网、广域网发布。

信息应用层对数据进行融合，处理后制定科学的管理决策，对农业生产过程进行控制。

3 农业物联网关键技术

3.1 信息感知技术

农业信息感知技术是智慧农业的基础，作为智慧农业的神经末梢，是整个智慧农业链条上需求总量最大和最基础的环节。主要涉及农业传感器技术、RFID技术、GPS技术以及RS技术等。

农业传感器技术是农业物联网的核心，也是智慧农业的核心，农业传感器主要用于采集各个农业要素信息，包括种植业中的光、温、水、肥、气等参数；畜禽养殖业中的二氧化碳、氨气和二氧化硫等有害气体含量，空气中尘埃、飞沫及气溶胶浓度，温、湿度等环境指标等参数；水产养殖业中的溶解氧、酸碱度、氨氮、电导率和浊度等参数。

RFID技术即Radio Frequency Identification（射频识别），俗称电子标签。这是一种非接触式的自动识别技术，它通过射频信号自动识别目标对象并获取相关数据。该技术在农产品质量追溯中有着广泛的应用。

GPS是美国20世纪70年代开始研制，于1994年全面建成，具有在海、陆、空进行全方位实时三维导航与定位能力的新一代卫星导航与定位系统，具有全天候、高精度、自动化和高效益等显著特点。在智慧农业中，GPS技术的实时3维定位和精确定时功能，可以实时地对农田水分、肥力、杂草和病虫害、作物苗情及产量等进行描述和跟踪，农业机械可以将作物需要的肥料送到准确的位置，而且可以将农药喷洒到准确位置^[4-5]。

RS技术在智慧农业中利用高分辨率传感器，采集地面空间分布的地物光谱反射或辐射信息，在不同的作物生长期，实施全面监测，根据光谱信息，进行

空间定性、定位分析,为定位处方农作提供大量的田间时空变化信息。

3.2 信息传输技术

农业信息感知技术是智慧农业传输信息的必然路径,在智慧农业中运用最广泛的是无线传感网络。无线传感网络(WSN)是以无线通信方式形成的一个自组织多跳的网络系统,由部署在监测区域内大量的传感器节点组成,负责感知、采集和处理网络覆盖区域中被感知对象的信息,并发送给观察者。在智慧农业中,ZigBee技术是基于IEEE802.15.4标准的关于无线组网、安全和应用等方面的技术标准,被广泛应用在无线传感网络的组建中,如大田灌溉、农业资源监测、水产养殖和农产品质量追溯等。

3.3 信息处理技术

信息处理技术是实现智慧农业的必要手段,也是智慧农业自动控制的基础,主要涉及云计算、GIS、专家系统和决策支持系统等信息技术。

云计算(Cloud Computing)指将计算任务分布在大量计算机构成的资源池上,使各种应用系统能够根据需要获取计算力、存储空间和各种软件服务。智慧农业中的海量感知信息需要高效的信息处理技术对其进行处理。云计算能够帮助智慧农业实现信息存储资源和计算能力的分布式共享,智能化信息处理能力为海量信息提供支撑。

GIS主要用于建立土地及水资源管理、土壤数据、自然条件、生产条件、作物苗情、病虫害发生发展趋势、作物产量等的空间信息数据库和进行空间信息的地理统计处理、图形转换与表达等,为分析差异性和实施调控提供处方决策方案。

专家系统(Expert System,简称ES),指运用特定领域的专门知识,通过推理来模拟通常由人类专家才能解决的各种复杂的、具体的问题,达到与专家具有同等解决问题能力的计算机智能程序系统。研制农业专家系统的目的是为了依靠农业专家多年积累的知识和经验,运用计算机技术,克服时空限制,对需要解决的农业问题进行解答、解释或判断,提出决策建议,使计算机在农业活动中起到类似人类农业专家的作用^[6]。

决策支持系统(Decision Support System,简称DSS),是辅助决策者通过数据、模型和知识,以人机交互方式进行半结构化或非结构化决策的计算机应用系统。农业决策支持系统在小麦栽培、饲料配方优化设计、大型养鸡厂的管理、农业节水灌溉优化、土壤信息系统管理以及农机化信息管理上进行了广泛应用研究。

智能控制技术(Intelligent Control Technology,简

称ICT),是控制理论发展的新阶段,主要用来解决那些用传统方法难以解决的复杂系统的控制问题。目前智能控制技术的研究热点有模糊控制、神经网络控制以及综合智能控制技术,这些控制技术在大田种植、设施园艺、畜禽养殖以及水产养殖中取得了初步应用。

4 农业物联网技术应用现状

4.1 农业智能传感器应用

传感器是把被测量的信息转换为另一种易于检测和处理的量(通常是电学量)的独立器件或设备,传感器的核心部分是具有信息形式转换功能的敏感元件。在物联网中传感器的作用尤为突出,是物联网中获得信息的主要设备。物联网依靠于传感器感知到每个物体的状态、行为等数据^[7]。

在大田种植方面,传感器可以对目标监测区内的空气温湿度、土壤温湿度、CO₂浓度、土壤pH值和光照强度等农业环境信息进行实时采集^[8-10],为精准农业环境监测提供了有效的解决方案,有助于农业部门制定出更加有效的提高农作物产量的方法。在作物的生长过程中还可以利用包括光谱、多光谱图像、冠层温度、冠层光照及环境温湿度等多传感信息探测器对作物生长信息进行监测^[11]。Hamrita T K等^[12]开发出土壤性质监测系统,运用了RFID技术,实现了对土壤温度、湿度等的实时监测,对后续植物的生长状况提供研究的依据。Bowman K D, Ampatzidis Y G等^[13-14]将RFID技术应用于检测果树的信息,从而分析出果实的生长状况。中国农业大学2009年在新疆建立的滴灌控制系统可以自动监测农作物生长的土壤墒情信息,实现按照土壤墒情进行自动滴灌,从而达到节约农业用水的目的。

在设施园艺方面,可采用不同的传感器采集土壤温度、湿度、pH值、降水量、空气湿度和气压、光照强度、CO₂浓度等作物生长参数,为温室精准调控提供科学依据。中国农业大学、中国农科院、国家农业信息技术研究中心、浙江大学、华南农业大学和江苏大学等针对我国不同的温室种类研制了适用于我国温室环境的数据采集、无线通信技术解决方案,可以实现温室环境的状态监测和控制。

在畜禽养殖方面,运用各种传感器可以采集畜禽养殖环境以及动物的行为特征和健康状况等信息。荷兰的Velos智能化母猪管理系统在欧美国家得到了广泛应用,通过对传感器采集到的信息进行分析和处理,系统能够实现母猪养殖过程自动供料、自动管理、自动数据传输和自动报警。谢琪、耿丽微等^[15-16]分别设计并实现了基于RFID的养猪管理与监

控系统和奶牛身份识别系统。Parsons J 等^[17]对 Colorado 的羊安装电子标签,运用物联网技术提高了羊群管理效率。

在水产养殖方面,传感器可以用于水体温度、pH 值、溶解氧、盐度、浊度、氨氮、COD 和 BOD 等对水产品生长环境有重大影响的水质及环境参数的实时采集,进而为水质控制提供科学依据。中国农业大学李道亮团队开发的集约化水产养殖智能管理系统可以实现溶解氧、pH 值、氨氮等水产养殖水质参数的监测和智能调控,并在全国十几个省市开展了应用示范。

在果蔬和粮食储藏方面,温度传感器发挥着巨大的作用,制冷机根据冷库内温度传感器的实时参数值实施自动控制并且保持该温度的相对稳定。贮藏库内降低温度,保持湿度,通过气体调节,使相对湿度(RH)、O₂ 浓度、CO₂ 浓度等保持合理比例,控制系统采集贮藏库内的温度传感器、湿度传感器、O₂ 浓度传感器、CO₂ 浓度传感器等物理量参数,通过各种仪器仪表适时显示或作为自动控制的参变量参与到自动控制中,保证有一个适宜的贮藏保鲜环境,达到最佳的保鲜效果^[18]。

在农产品安全溯源方面,能够利用 RFID 技术快速反应、追本溯源,确定农产品质量问题所在。由于“多宝鱼”、“瘦肉精猪肉”等农产品质量安全事故频发,在北京、上海、南京等地已开始采用条码、IC 卡和 RFID 等技术建立农产品质量安全追溯系统。一些单位开始研究适合中国国情的基于物联网的可追溯技术和架构方法并部分实现了集成应用^[19]。杨信廷将 RFID 技术与传感器技术有效结合,对水产品供应链中的物流环节进行全程监控与追踪。谢菊芳等^[20-22]运用二维条码技术、RFID 技术和组件技术,分别构建了猪肉和柑橘的追溯系统。SpiesslMayr E 等^[23]运用 RFID 技术改进和优化了猪肉的可追溯系统。

总之,我国农业专用传感器技术的研究相对还比较滞后,特别是在农业用智能传感器、RFID 等感知设备的研发和制造方面,许多应用项目还主要依赖进口感知设备。目前中国农业大学、国家农业信息化工程中心和中国农科院等单位已开始进行农用感知设备的研制工作,但大部分产品还停留在实验室阶段,产品在稳定性、可靠性及低功耗等性能参数方面还和国外产品存在不少差距,离产业化推广还有一定的距离。

4.2 农业无线传感器网络应用

无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)是由多个节点组成的面向任务的无线网络,

是一种无基础设施的网络。它综合了传感器技术、嵌入式计算技术、现代网络及无线通信技术和分布式信息处理技术等多种领域技术,能协作地进行实时监测、感知和采集节点部署区域的各种环境或监测对象的信息,并对这些数据进行处理,获得详尽而准确的信息,通过无线网络最终发送给观察者。

在大田种植方面,闻珍霞等^[24-25]为了实现设施农业中植物-土壤-环境的动态实时监控,以杭州美人紫葡萄栽培基地首批信息化试验区为例,开发和应用无线传感网络系统和智能化管理及控制系统,实现了对土壤水分、养分、温度、湿度和光照等信息的实时动态测试与显示,并能根据葡萄优质高产生长的需要进行自动控制灌溉,取得了较好的效果。高军等^[26]采用基于 ZigBee 技术的无线传感网络与 GPRS 网络相结合的节水灌溉控制系统,能根据土壤墒情和作物用水规律实施精准灌溉,有效地解决了农业灌溉用水利用率低的问题。杨婷等^[27-28]设计了基于 CC2430 的无线传感器网络自动控制滴灌系统,该系统能够监测植物土壤湿度、环境温度和光照的变化,通过无线网络将传感器信号反馈,结合传感器融合技术对滴灌动作做出精确判断。Damas M 等^[29]在西班牙开发和示范应用了一个分布式的远程自动灌溉系统,它可以控制 1 500 hm² 灌溉面积,测试表明可以节约 30%~60% 的用水。

在设施园艺方面,2002 年,英特尔公司率先在俄勒冈州建立了第 1 个无线葡萄园,传感器节点被分布在葡萄园的每个角落,每隔 1 min 检测一次土壤温度、湿度或该区域有害物的数量,以确保葡萄健康生长,进而获得大丰收。石军锋等^[30]设计了一种基于 MOTE-KIT2400 的温室 Web 监控系统,开发了网关接口程序,给出了数据解析算法,实现了传感数据的获取,同时利用 ASP.NET2.0 技术开发了 Web 应用程序,实现了对温室环境的远程监控。

在畜禽养殖方面,林惠强等^[31]针对目前饲养场对动物的行为特征和健康状况无法实时获取的情况,提出在畜牧业中利用无线传感网络传送动物的信息,解决了饲养动物生理特征信息实时传输的问题;同时,根据饲养场的实际情况,结合无线传感网络的特点,设计了一个切实可行的无线传感器网络动物检测系统,系统解决了网络部署、节点设计、节点定位、路由和可视化平台的设计等问题。王冉等^[32]针对规模化畜牧养殖中畜禽舍环境监测难的问题,设计开发了一套基于无线传感网络的畜禽舍环境监控系统,该系统能对畜禽舍环境参数(如温度、湿度、光照、大气压和氨气浓度等指标)进行实时监测,并能智能化地根据设定的环境指标上下限自动控制畜禽舍相

关设备如风机、风扇、湿帘和电灯等的开启，最终达到将畜禽舍环境参数控制在设定的范围，减少动物热应激，净化畜禽舍环境，促进动物健康成长的目的。Bishop-Hurley G 等^[33]开展了一项耕牛自动放牧测试，成功地实现了第 1 个基于无线传感器网络的虚拟栅栏系统。Nagl L 等^[34]为家养牲畜设计了一个远程健康监控系统，系统中有多种类型的传感器，包括 GPS 传感器、脉码血氧计、温度传感器、电子地带、呼吸传感器和环境温度传感器。Taylor K 等^[35]研究了一种完备的智能动物管理系统，每个动物身上安装一个无线传感器，用于无线检测动物的位置和各种健康信息。

在水产养殖方面，中国农业大学李道亮团队将水质监测无线传感网络运用到了水产养殖中，目前，该系统在江苏省宜兴市河蟹养殖应用推广 667 hm² (10 000 亩)。董方武等^[36]针对淡水养殖特点，采用 ZigBee 无线网络技术及传感器技术，设计了一种基于 ZigBee 技术的淡水养殖溶氧浓度自动监控系统，进行了监控网络结构、节点硬件电路和软件设计，实现了溶氧浓度和温度等参数的实时监控。

此外，无线传感网络还用于农业环境监测等领域。Perkins M 等^[37]介绍了一种由 Motorola 实验室开发的低开销、低能、自组织的传感器网络 neuRFon，该系统可以监测农业、环境和一些过程参数。李正明等^[38]将无线传感器网络应用于水文水利监测系统中，构建了基于 WSN 的无线水文水利监测系统，在硬件设计中分别采用单片机和 ARM 微处理器与 CC2500 配合设计网络节点；在软件设计中，移植 TinyOS 操作系统和 ZigBee 协议栈，搭建软件开发平台。

综上所述，ZigBee 技术是基于 IEEE802.15.4 标准的关于无线组网、安全和应用等方面的技术标准，被广泛应用在无线传感网络的组建中。

4.3 智能信息处理技术应用

智能信息处理技术研究内容主要包括 4 个方面。①人工智能理论研究，即智能信息获取的形式化方法、海量信息处理的理论和方法以及机器学习与模式识别。②先进的人-机交互技术与系统，即声音、视频、图形、图像及文字处理以及虚拟现实技术与流媒体技术。③智能控制技术与系统，即给物体赋予智能，以实现人与物或物与物之间互相沟通和对话，如准确的定位和跟踪目标等。④智能信号处理，即信息特征识别和数据融合技术。

通过研究发现，目前我国已研究的农业决策模型、预测预警模型等信息处理技术，大部分还只是停留在论文和测试阶段，尚未形成真正的产品化应用软件和可共享的软件平台。农业智能决策信息处理智能

化程度低、共享度差，缺乏有效的信息载体和集成应用技术，无法实现农业生产问题的实时诊断和协同决策。

目前，科技部联合工业和信息化部、中共中央组织部启动了国家农村农业信息化示范省建设，山东、湖南、湖北、广东、重庆和安徽等地积极参与，通过建设综合信息服务平台为农户提供民生信息服务和专业信息服务，一些省份的综合信息服务平台设计用到了云服务技术。

5 主要结论

5.1 科学、理性认识物联网应用创新发展理念

物联网概念的提出与我国现代农业发展的迫切内在需求相吻合，既是历史机遇的巧合，也是农业发展的必然。物联网技术在农业领域良好的发展前景，不是概念的炒作，而是农业生产集约化、自动化、智能化和信息化发展的必然趋势。我国目前农业发展正处于由传统农业向现代农业转变的拐点上，生产信息化的核心是高产、高效、低成本和优质，物联网技术是实现上述目标最主要的技术保障。

5.2 需求分析与优先推进领域

物联网农业应用的最大领域在于设施农业和现代物流。农业传感器和无线传感网是需要优先发展的领域。从农业传感器来说，作为农业可控因子的传感器应放在更重要的位置加强研究。农业传感器和无线传感网产品化和产业化应作为国家“十二五”电子信息产业发展的优先领域。

5.3 战略思路、战略目标、技术与产业发展规划思路

物联网农业应用技术与产品需要经过一个培育、发展和成熟的过程，培育期需要 2~3 年，发展期 2~3 年，成熟期需要 5 年，物联网农业应用的成熟期，可能要在“十三五”末期（2020 年）。按照 10 年的规划期，做物联网农业应用规划，分阶段制定技术目标、产业化目标比较符合实际，发展规划要重点突出，分层实施，逐步扩散，全面推进。

5.4 共性关键科学技术问题

物联网农业领域应用发展的共性关键科学技术问题主要有 3 个方面。①先进传感机理与工艺（农业光学传感、微纳传感、生物传感）。②高通量、快处理、大存储的无线传感网技术。③农业云计算与云服务（模型、方法与平台）。

5.5 促进物联网农业领域应用发展的政策措施建议

(1) 农业物联网作为农业高新技术，具有基础薄弱、一次性投入大、受益面广和公益性强的特点，在当前农业产出效益不高、农民收入水平较低、农业信息化市场化运作还不完善的情况下，需要公益性行业

专项支持。

(2)根据我国现代农业发展需求,实施一批有重大影响的农业物联网应用示范工程,建设一批国家级农业物联网示范基地,推动物联网技术在现代农业中的集成应用,发展智慧农业。

(3)对研发农业物联网产品的企业和科研院所以及使用农业物联网产品的用户进行补贴。

参考文献

- [1] ITU 互联网报告 2005: 物联网[Z]. 国际电信联盟 (ITU), 2005.
- [2] 王娟. 发展电脑农业之我见[J]. 莱阳农学院学报: 社会科学版, 2004(2): 14-17.
Wang Juan. The opinion of developing the agriculture of the computer[J]. Journal of Laiyang Agricultural College: Social Science Edition, 2004(2): 14-17.
- [3] 唐世浩, 朱启疆, 闫广建, 等. 关于数字农业的基本构想[J]. 农业现代化研究, 2002, 23(3): 183-187.
Tang Shihao, Zhu Qijiang, Yan Guangjian, et al. About basic conception of digital agriculture[J]. Research of Agricultural Modernization, 2002, 23(3): 183-187.
- [4] 杨敏, 赵春生, 张涛, 等. 3S 技术在精细农业发展中的应用[J]. 河北农业大学学报, 2002, 25(4): 241-243.
Yang Min, Zhao Chunsheng, Zhang Tao, et al. The application of 3S technology to the meticulous agriculture[J]. Journal of Agricultural University of Hebei, 2002, 25(4): 241-243.
- [5] 张前勇. 基于 3S 技术的精准农业[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(16): 4 170-4 171.
Zhang Qianrong. Precision agriculture based on the technology of 3S[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2006, 34(16): 4 170-4 171.
- [6] 黄贵平, 杨林, 任明见, 等. 专家系统及其在农业上的应用[J]. 种子, 2003, 127(1): 54-57.
- [7] 于小玉, 卢祁. 物联网与传感器的关系: 访北京昆仑海岸传感技术中心总经理刘伯林先生[J]. 中国仪器仪表, 2010(12): 29-32.
- [8] 卜天然, 吕立新, 汪伟. 基于 TinyOS 无线传感器网络的农业环境监测系统设计[J]. 农业网络信息, 2009(2): 23-26.
Bu Tianran, Lv Lixin, Wang Wei. Design of agriculture environment monitoring system based on TinyOS wireless sensor network[J]. Agriculture Network Information, 2009(2): 23-26.
- [9] 徐显荣, 高清维, 李中一. 一种用于农业环境监测的无线传感器网络设计[J]. 传感器与微系统, 2009(7): 98-100.
Xu Xianrong, Gao Qingwei, Li Zhongyi. Design of wireless sensor networks applied to survey of agriculture environment communication[J]. Transducer and Microsystem Technologies, 2009(7): 98-100.
- [10] 吕立新, 汪伟, 卜天然. 基于无线传感器网络的精准农业环境监测系统设计[J]. 计算机系统应用, 2009(8): 5-9.
Lv Lixin, Wang Wei, Bu Tianran. Design of precision agriculture environment monitoring system based on wireless sensor network[J]. Computer Systems & Applications, 2009(8): 5-9.
- [11] 张晓东, 毛罕平, 倪军, 等. 作物生长多传感信息检测系统设计与应用[J]. 农业机械学报, 2009, 40(9): 164-170.
Zhang Xiaodong, Mao Hanping, Ni Jun, et al. Intelligent detection system of multi-sensor information for growing crops [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(9): 164-170.
- [12] Hamrita T K, Hoffacker E C. Development of a 'smart' wireless soil monitoring sensor prototype using RFID technology [J]. Applied Engineering in Agriculture, 2005, 21(1): 139-143.
- [13] Bowman K D. Longevity of radio frequency identification device microchips in citrus trees [J]. Hortscienc, 2010, 45(3): 451-452.
- [14] Ampatzidis Y G, Vougioukas S G. Field experiments for evaluating the incorporation of RFID and barcode registration and digital weighing technologies in manual fruit harvesting [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2009, 66(2): 166-172.
- [15] 谢琪, 田绪红, 田金梅. 基于 RFID 的养猪管理与监控系统设计与实现[J]. 广东农业科学, 2009(12): 204-206.
Xie Qi, Tian Xuhong, Tian Jinmei. A porcine breeding management and monitoring system based on RFID [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2009(12): 204-206.
- [16] 耿丽微, 钱东平, 赵春辉. 基于射频技术的奶牛身份识别系统 [J]. 农业工程学报, 2009, 25(5): 137-141.
Geng Liwei, Qian Dongping, Zhao Chunhui. Cow identification technology system based on radio frequency [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009, 25(5): 137-141.
- [17] Parsons J, Kimberling C, Parsons G, et al. Colorado sheep id project: using RFID or tracking sheep [J]. Journal of Animal Science, 2005, 83: 119-120.
- [18] 刘建军, 张继军, 王振涛. 果蔬气调冷库环境参数的智能化控制系统 [J]. 轻工机械, 2005(2): 91-93.
Liu Jianjun, Zhang Jijun, Wang Zhentao. Intelligent control system of controlled atmosphere cold storage of fruit and vegetable [J]. Light Industry Machinery, 2005(2): 91-93.
- [19] 侯春生, 夏宁. RFID 技术在中国农产品质量安全溯源体系中的应用研究 [J]. 中国农学通报, 2010, 26(3): 296-298.
Hou Chunsheng, Xia Ning. Applied research on RFID technology in China's agricultural products quality and safety traceability system [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26(3): 296-298.
- [20] 谢菊芳, 陆昌华, 李保明, 等. 基于 .NET 构架的安全猪肉全程可追溯系统实现 [J]. 农业工程学报, 2006, 22(6): 218-220.
Xie Jufang, Lu Changhua, Li Baoming, et al. Implementation of pork traceability system based on .NET framework [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2006, 22(6): 218-220.
- [21] 史海霞, 杨毅. 肉用猪质量安全追溯系统 [J]. 农机化研究, 2009, 31(12): 61-64.
Shi Haixia, Yang Yi. Quality security of pork traceability system [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2009, 31(12): 61-64.
- [22] 孙旭东, 章海亮, 欧阳爱国, 等. 柑桔质量安全可追溯信息系统实现方法 [J]. 农机化研究, 2009, 31(12): 162-164,

168.
Sun Xudong, Zhang Hailiang, Ouyang Aiguo, et al. Research of method in citrus quality and security traceability system design[J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2009, 31(12): 162-164, 168.
- [23] SpiesslMayr E, Wendl G, Zaehner M, et al. Electronic identification (RFID technology) for improvement of trace ability of pigs and meat[J]. *Precision Livestock Farming*, 2005, 50: 339-345.
- [24] 闻珍霞, 何龙, 杨海清, 等. 发展自动控制精准滴灌技术 加快节约型农业建设[J]. *农业装备技术*, 2010(3): 22-24.
Wen Zhenxia, He Long, Yang Haiqing, et al. Save-energy agriculture based on precision irrigation[J]. *Agricultural Equipment & Technology*, 2010(3): 22-24.
- [25] 何龙, 闻珍霞, 杨海清, 等. 无线传感网络技术在设施农业中的应用[J]. *农机化研究*, 2010(12): 236-239.
He Long, Wen Zhenxia, Yang Haiqing, et al. Application of wireless sensor networks in facility agriculture[J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2010(12): 236-239.
- [26] 高军, 丰光银, 黄彩梅. 基于无线传感器网络的节水灌溉控制系统[J]. *现代电子技术*, 2010(1): 204-206.
Gao Jun, Feng Guangyin, Huang Caimei. Water-saving irrigation control system based on wireless sensor network[J]. *Modern Electronics Technique*, 2010(1): 204-206.
- [27] 杨婷, 汪小岳. 基于 CC2430 的无线传感网络自动滴灌系统设计[J]. *计算机测量与控制*, 2010(6): 1 332-1 334, 1 338.
Yang Ting, Wang Xiaochan. Design on automatic drip irrigation system based on ZigBee wireless sensor network [J]. *Computer Measurement & Control*, 2010(6): 1 332-1 334, 1 338.
- [28] 杨婷, 汪小岳. 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): 10-12, 16.
Yang Ting, Wang Xiaochan. Automatic drip irrigation system design based on ZigBee wireless sensor network[J]. *Water Saving Irrigation*, 2010(2): 10-12, 16.
- [29] Damas M, Prados A M, Olivares G, et al. Hidro Bus[®] system; fieldbus for integrated management of extensive areas of irrigated land[J]. *Microprocessors and Microsystems*, 2001, 25(3): 177 - 184.
- [30] 石军锋, 马永昌, 陈建. 一种基于无线传感网络的温室 Web 监控系统[J]. *农机化研究*, 2009(5): 76-79.
Shi Junfeng, Ma Yongchang, Chen Jian. A web system for greenhouse monitoring based on wireless sensor networks[J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2009(5): 76-79.
- [31] 林惠强, 周佩娇, 刘财兴. 基于 WSN 的动物监测平台的应用研究[J]. *农机化研究*, 2009(1): 193-195, 199.
Lin Huiqiang, Zhou Peijiao, Liu Caixing. Application and research of animal survey system based on wireless sensor networks [J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2009(1): 193-195, 199.
- [32] 王冉, 徐本崇, 魏瑞成, 等. 基于无线传感网络的畜禽舍环境监控系统的设计与实现[J]. *江苏农业学报*, 2010(3): 562-566.
Wang Ran, Xu Benchong, Wei Ruicheng, et al. Design and implementation of an intelligent environmental monitoring system for animal house based on wireless sensor net (WSN) [J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2010(3): 562-566.
- [33] Bishop-Hurley G, Swain D, Anderson D M, et al. Virtual fencing applications: implementing and testing an automated cattle control system[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2007, 56(1): 14-22.
- [34] Nagl L, Schmitz R, Warren S, et al. Wearable sensor system for wireless state-of-health determination in cattle [C]. //Cancun, Mexico: Proceedings of the 25th Annual International Conference of the IEEE, 2003.
- [35] Taylor K, Mayer K. TinyDB by remote[C]. //Sydney, Australia: Presentation in Australian Mote Users, Workshop, On World Inc., 2004.
- [36] 董方武, 詹重咏, 应玉龙, 等. 无线传感器网络在淡水养殖溶解氧浓度自动监控中的应用[J]. *安徽农业科学*, 2008(32): 14 345-14 347.
Dong Fangwu, Zhan Chongyong, Ying Yulong, et al. Application of wireless sensor networks in dissolved oxygen concentration of freshwater aquaculture automatic monitoring system [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2008(32): 14 345-14 347.
- [37] Perkins M, Correal N, O'Dea B. Emergent wireless sensor network limitations: A plea for advancement in core technologies [C]. // Orlando, Florida, USA: Proceedings of the 1st IEEE International Conference on Sensors, 2002.
- [38] 李正明, 侯佳佳, 潘天红, 等. 基于 ZigBee 与 GPRS 的无线水文监测系统的设计[J]. *排灌机械*, 2009(3): 184-189.
Li Zhengming, Hou Jiajia, Pan Tianhong, et al. Design of wireless hydrological monitoring system based on ZigBee [J]. *Drainage and Irrigation Machinery*, 2009(3): 184-189.

物联网与智慧农业

作者: [李道亮, Li Daoliang](#)
作者单位: [中国农业大学信息与电气工程学院, 北京, 100083](#)
刊名: [农业工程](#)
英文刊名: [AGRICULTURAL ENGINEERING](#)
年, 卷(期): 2012, 2(1)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_nygch201201001.aspx