

农业物联网研究与应用现状及发展对策研究^{*}

葛文杰¹ 赵春江^{2,3}

(1. 黑龙江八一农垦大学工程学院, 大庆 163319; 2. 北京农业信息技术研究中心, 北京 100097;
3. 农业部农业信息技术重点实验室, 北京 100097)

摘要: 农业物联网是新一代信息技术在农业领域的高度集成和综合运用, 对我国农业信息化发展具有重要引领作用, 改变了传统农业生产方式, 促进了农业向智能化、精细化方向的转变。本文对农业物联网概念和技术体系构成进行了分析, 总结了国内外农业物联网感知技术、通讯传输技术和应用关键技术的研究进展, 分析了我国农业物联网发展的主要问题, 从研究重点、发展布局、推进路径、应用模式和可持续发展机制等方面, 提出了我国农业物联网应用发展的对策。

关键词: 农业物联网 传感器 发展现状 发展对策

中图分类号: S126 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)07-0222-09

引言

物联网概念于 1999 年由美国麻省理工学院提出^[1]。2008 年底, IBM 向美国政府提出“智慧地球”战略后, 物联网迅速得到很多国家的高度关注^[2]。2009 年, 欧盟提出“物联网行动计划”, 日本政府启动“i-Japan 战略 2015”, 韩国颁布《物联网基础设施构建基本规划》^[3]。我国高度重视物联网技术发展, 将物联网作为国家战略性新兴产业的一项重要组成内容, 采取了多项政策性措施全面推动其在各行业应用发展^[4-5]。2013 年, 国务院发布《关于推进物联网有序健康发展的指导意见》, 并启动实施包括顶层设计、标准制定、技术研发、应用推广、产业支撑、商业模式、安全保障、政策法规和人才培养等方面的 10 个物联网发展专项行动计划。农业是物联网重要的应用领域, 物联网技术与农业生产、经营、管理、服务全产业链的深度融合, 对改造传统农业、提升农业现代化水平具有重要意义^[3-7]。

农业物联网是指通过农业信息感知设备, 按照约定协议, 把农业系统中动植物生命体、环境要素、生产工具等物理部件和各种虚拟“物件”与互联网连接起来, 进行信息交换和通讯, 以实现对农业对象和过程智能化识别、定位、跟踪、监控和管理的一种网络。农业物联网“人-机-物”一体化互联, 可帮助人类以更加精细和动态的方式认知、管理和控制农

业中各要素、各过程和各系统, 极大提升人类对农业动植物生命本质的认知能力、农业复杂系统的调控能力和农业突发事件的处理能力。目前, 世界范围内农业物联网技术研究广泛深入, 但应用上总体处于试验示范阶段, 本文对农业物联网研究与应用现状、问题和发展对策进行探讨^[3, 5]。

1 农业物联网技术研究进展

1.1 农业物联网技术组成

农业物联网由感知层、传输层和应用层构成(如图 1)^[6]。其中感知层由各种感知器和传感器节点组成, 实现对土壤水分、苗情长势等农业对象或动植物行为等过程的信息获取; 传输层主要是将感知层获取的各类数据信息, 通过有线或无线方式传输到应用层; 应用层主要进行信息处理、建模和决策, 实现对农业生产过程的管理控制^[6]。

1.2 农业物联网感知技术

感知技术是农业物联网的关键, 传感器是感知技术的核心^[6]。近年来, 农业传感器技术发展很快(表 1), 概括起来主要包括农业环境传感器^[8-32]和农业动植物本体(生命)信息传感器^[8, 33-53]。目前, 光温水气热等常规环境传感器已比较成熟, 土壤传感器是研究的重点^[7]。从原理方法上, 电子和电磁学方法用于测量土壤电阻、电导率、电容等参数, 但受土壤组成影响较大^[9, 13, 19]; 通过电磁波测量土壤

收稿日期: 2014-05-07 修回日期: 2014-06-01
^{*} 国家自然科学基金资助项目(61134011)和北京农科院创新能力建设资助项目(KJCX20140203)
作者简介: 葛文杰, 博士生, 主要从事农业物联网集成技术应用研究, E-mail: gewenjie0621@163.com
通讯作者: 赵春江, 研究员, 博士生导师, 主要从事农业信息化工程技术研究, E-mail: zhaojcj@nrcita.org.cn

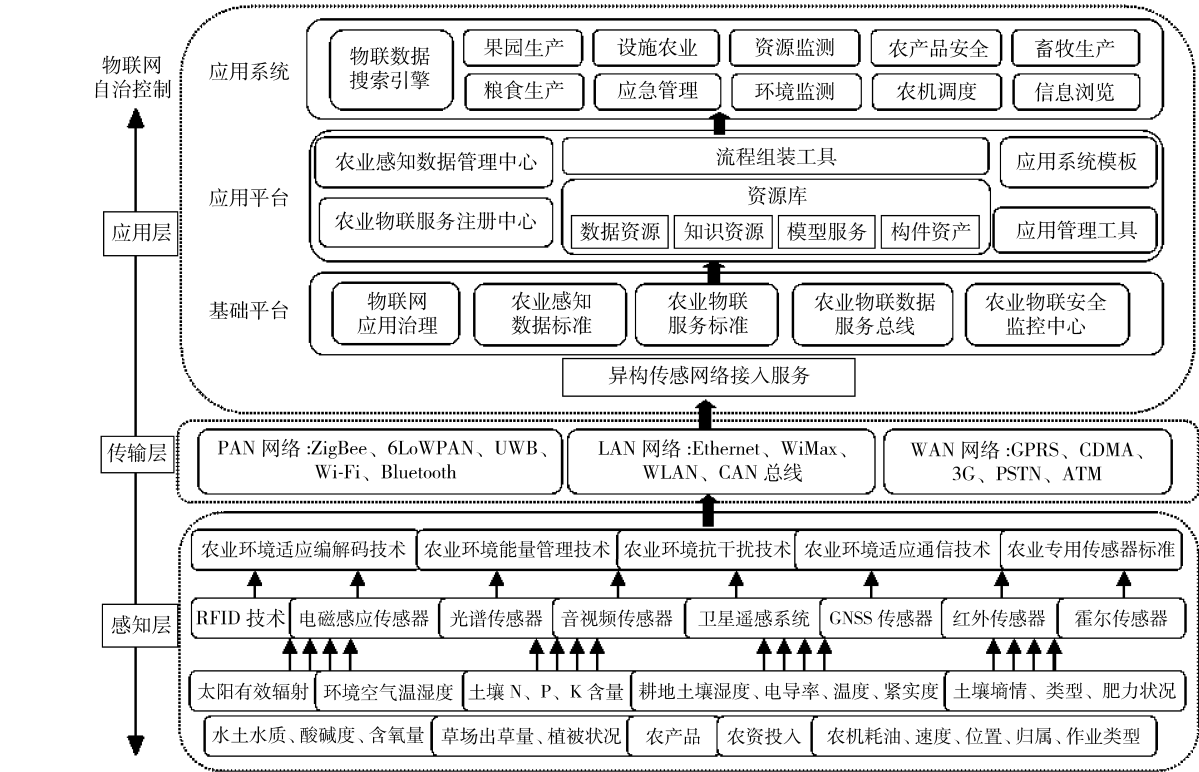


图 1 农业物联网技术组成

Fig. 1 Architecture of agricultural internet of things

表 1 国内外代表性农业传感器研究现状

Tab.1 State-of-the-art of the typical agricultural sensors in the world

分类	测量信息	采用测量原理方法	成熟度	代表性产品
农业环境 信息传感 器 ^[9-11, 13-14, 16-17, 22, 25-29]	光照强度	光学(辐照度原理)	有产品	Decagon, 40003
	空气/土壤温度	热电学	有产品	Decagon, 40023/15TM
	空气/土壤湿度	电子与电磁学/光学(中子散射)	有产品	Decagon, 40023/10HS
	雨量	电子与电磁学	有产品	Decagon, 40799
	CO ₂	电化学, 光学(非色散红外)	有产品	E + E Elektronik, EE80
	畜禽舍有害气体	电化学, 光学(非色散红外)	有产品	Membrapor AG, C-100
	畜禽舍粉尘	光学(激光后向散射)	无专用产品	SHARP,
	土壤结构(含砂量)	电子与电磁学, 声学与气动力学	无专用产品	GP2Y101AU0F
	土壤压实或容重	机械学, 声学与气动力学	有产品	Decagon, 6TU
	土壤深度(表层与硬土层)	电子与电磁学, 机械学	无专用产品	
	土壤硝酸盐或总氮	电磁学, 光学与辐射学, 电化学	实验室研究	
	土壤钾等其他营养含量	电化学, 光学(近红外/中红外)	实验室研究	
	土壤阳离子交换量	电子与电磁学, 电化学	无专用产品	
	土壤有机质	电磁学, 光学(近红外/中红外)	实验室研究	
	土壤盐分	电子与电磁学, 电化学	有产品(适于浸提液)	Stevens, 93640Hydra
	土壤 pH 值	电化学	有产品(适于浸提液)	Global Water, WQ201
	土壤电导率	电化学	有产品	Decagon, GS3
	土壤重金属	光学(X射线荧光), 电化学	有产品	HORIBA, XGT
	水体溶解氧	电化学, 光学(荧光淬灭)	有产品	HACH, LOD
	水体叶绿素	光学	有产品	YSI, YSI6025
	水中微量元素	生物与光学相结合	实验室研究	

续表 1

分类	测量信息	采用测量原理方法	成熟度	代表性产品
农作物生命 信息传感 器 ^[33, 36, 40 – 43, 48 – 50]	叶片温度	热电学	有产品	SIT, PTM – 48
	冠层温度	热电学, 光学(热红外)	有产品	SIT, PTM – 48
	叶片湿度	电磁学	有产品	SIT, PTM – 48
	作物氮素	光学(荧光)	有产品	LI – COR, LAI – 2200
	离子浓度	电化学	实验室研究	
	有机活性分子	电化学(生物传感)	实验室研究	
	病害信息	光学(遥感尺度)	遥感尺度	
	虫害信息	光学(光子计数), 光学遥感	有产品	TPCB – IV – A
	茎秆强度	电子与电磁学	有产品	HK – ZYMJ – C
	种子活力	电子与电磁学(介电频谱)	实验室研究	
	果实膨大	机械学(位移传感)	有产品	PHYTALK
	茎秆微变化	机械学(位移传感)	有产品	PM – 11z
	根系生长	射线成像	有产品	ROOTVIZ
	光合/呼吸/蒸腾速率	电子学, 机械学, 光学	有产品	LI – 6400
	叶面积指数	光学	有产品	LAI – 2000
	归一化植被指数	光学	有产品	GreenSeeker
	剑叶夹角	光学(机器视觉)	实验室研究	
	亩穗数/穗粒数/小穗数	光学(机器视觉)	实验室研究	
	稻瘟病孢子	光学(机器视觉), 机电学	实验室研究	
	生物量	光学, 力学	实验室研究	
	植株含水量	核磁共振学	实验室研究	
	茎秆直径	机械学	有产品	DR/DD
	气孔导度	电子学, 机械学, 光学	有产品	SC – 1
	作物叶绿素	光学(透射、反射)	有产品	SPAD – 502
农业动物生命 信息传感 器 ^[18, 35, 38, 52 – 53]	体温/耳温	光学(热红外)/热电学	无专用产品	
	运动量	电磁学(加速度传感器)	实验室研究	
	取食量	电磁学(加速度传感器)	实验室研究	
	疾病信息	介电频谱或荧光传感	实验室研究	
	体重	电子与电磁学	有产品	OMEGA, TQ101
农产品 信息传感 器 ^[8, 34, 37, 39, 44 – 45, 51]	颜色/大小/形状在线检测	光学(机器视觉)	有产品	InVision 5000
	色度计	光学	有产品	MINOLTA CL – 200A
	组分含量(糖度/酸度/硬度/内部缺陷等)在线检测	光学(近红外光谱)	有产品	TasteTech T1
	糖度计	光学	有产品	Nireco Imes 950
	酸度计	电化学	有产品	Arias 500
	硬度计	机械学	有产品	METTLER TOLEDO FE20
	缺陷/损伤/病害在线检测	光学(机器视觉/光谱成像)	有产品	TA. XT plus
	新鲜度/成熟度	电化学(气味传感)	实验室研究	InVision 7000 & 9000
	农药/重金属残留	光学(拉曼光谱)	实验室研究	Airsense PEN3
涉农其他 传感 器 ^[12, 15, 30]				LabRAM
				RamTracer
	位置识别	电子与电磁学	有产品	美国天宝, JunoSC
	物体识别	电子与电磁学	有产品	DEMATIC
	压力信息	电子与电磁学	有产品	MettlerToledo, SBC

电磁反射或吸收能量水平的方法可对土壤结构和物理化学性质进行测量^[10, 13, 29]; 电化学方法(通过离子选择性膜电极与被测离子溶液间的电位输出)可测量土壤中的某些离子, 但需依赖一定的制样过程^[13]。由于土壤的组成复杂、物理化学性质各异, 土壤氮素的快速和原位测量传感器是国际上的难

点^[13]。动植物生命体信息传感器也是传感器研究的难点, 目前主要采用光学和电磁学等物理学原理, 根据被测对象性质和特点不同, 选择从 X 射线到超声波不同敏感波段进行检测, 由检测到的物理参量通过模型间接计算出反映动植物生命特征的生理(形态)生化参量, 但由于动植物生命过程非常复

杂,要实现动植物生命信息准确探测感知,必须在生命过程的物理表征机理和计量模型上实现突破^[33, 36, 40]。

1.3 农业物联网通讯技术

由于农业环境的复杂性,农业物联网中的信息传输不是简单的将现有的通讯技术搬来使用,要根据不同情况选择不同的通讯方式(表 2)^[4, 54-55]。设施农业中要考虑墙体厚度及材质对传感器节点之

间信息通讯的影响^[56-58];大田作物要考虑作物高度、地形地貌、田间遮挡物对通讯的影响,节点布设与节能机制研究成为重点^[59-62]。果园中树冠形状及与天线的相对高度对信息传输有明显的影响,2.4 GHz 无线信号在不同相对高度的条件下传播特性不同,有特定的信号衰减规律^[63],郭秀明等研究建立了一个以天线高度、果树生育期、传播距离为参数的信号传输模型^[64]。

表 2 农业物联网几种典型的通信技术参数对比
Tab.2 Comparison between several communication techniques used in Ag-IOT

类型	GPRS/3G	WIMAX (802.16)	Wi-Fi (802.11)	Bluetooth (802.15.1)	ZigBee (802.15.4)
应用重点	语音、数据	无线城域网 广域网	WEB 应用 媒体应用	电缆替代品	监控、传感器 数据采集
资源占用	16MB +		1MB +	250KB +	4 ~ 32KB
终端功耗	较高	高	较高	较高	低
网络规模	无限制	大	较小	点对点	65 000
带宽	14.4 K ~ 5 M	可达 1 M	11 M +	720 K	250 K
传输距离	基站覆盖后, 范围无限制	几十公里	几百米到几公里	小于 10 m	端到端通信 70 m 到 1.2 km
优势	覆盖范围大 服务质量好	覆盖范围大 投资成本低	灵活性高 支持桥接	价格低 配置简单	低功耗 网络拓扑灵活

1.4 农业物联网应用

农业物联网应用层是指将感知输出的各种数据信息,通过数据挖掘和知识发展,建立基于业务逻辑的管理控制策略和模型,通过终端设备提供有效信息服务和对农业生产实施具体的管理控制措施,从这个意义上讲,农业物联网应用是一个闭环控制过程^[5, 65-66]。农业物联网应用层的关键技术包括海量数据信息管理与挖掘技术(云计算),数据资源虚拟化与智能信息推送技术(云服务),农业物联网信息融合与优化处理技术(模型决策),农业物联网数据、服务、系统技术标准规范^[4-5]。由于农业具有生命特性和生态区域性特点,农业物联网应用很难用一种技术或模式解决问题,在实践上一般是面向特定应用领域(大田、设施、果园、畜禽等)的随需而变的物联网应用^[4]。从应用模式上可以是基于网络的 WEB 服务应用,也可可是以嵌入系统为核心的智能仪器仪表单体应用^[5]。

近些年来,美国和欧洲的一些发达国家相继开展了农业物联网应用示范研究,实现了物联网技术在农业生产、经营、管理、服务等阶段“人-机-物”信息交互与精准农业的实践与推广,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^[2]。在我国,农业物联网的应用仍处于试验示范阶段,中国农业大学、国家农业信息化工程技术研究中心、中国农科院信息所、浙江大学等科研机构近些年开展了较多的应用研究,形成了一些典型的应用

示范案例,实现了农业资源^[67-68]、环境^[64]、生产过程^[69-74]、流通过程^[72, 75-79]等环节信息的实时获取和数据共享,起到了一定的引领带动作用。

当前我国农业物联网发展已初步形成以农业传感器、网络互连和智能信息处理等农业物联网共性关键技术研究为重点,以探测农业生态资源环境、感知大田、设施、果园动植物生命信息,农业机械装备作业调度和远程监控、农产品与食品安全可追溯、服务平台集成、标准体系制定等方面为重要应用发展领域,以农业传感器和移动信息装备制造产业、农业信息网络服务产业、农业自动识别技术与设备产业、农业精细作业机具产业、农产品物流产业等为重点战略新兴产业的格局,逐步形成了从关键技术研究、标准制定、产品研发、平台构建、应用示范为一体的发展技术路线^[5, 67]。

1.5 农业物联网标准规范

标准是实现物联网技术应用的关键^[7]。国际上 RFID 标准已经比较成熟的有 ISO/IEC、EPCglobal 标准,在感知设备接口方面有 IEEE1451 标准,在传输网络方面 ZigBee、Bluetooth、Wi-Fi 和 IEEE802 通信网络标准应用广泛。除信息领域的相关技术标准外,专门面向农业应用的物联网技术标准还很少,为推进物联网农业应用,国内成立了农业物联网行业应用标准工作组和国家传感器网络标准农业应用研究项目组(WGSN-HPG3),2013 年国家批准立项了 14 项农业物联网国家标准项目(表 3)。

表 3 国家立项的农业物联网技术标准(2013)
Tab.3 National standard of Ag-IOT in China (2013)

标准计划编号	项目名称	标准性质	实施
20130058-T-469	大田种植物联网数据传输标准	推荐	制定
20130059-T-469	大田种植物联网数据交换标准	推荐	制定
20130060-T-469	大田种植物联网终端设备技术标准	推荐	制定
20130061-T-469	农机物联网数据传输与交换标准	推荐	制定
20130062-T-469	农业物联网应用服务标准	推荐	制定
20130063-T-469	设施农业物联网传感设备基础规范	推荐	制定
20130064-T-469	设施农业物联网调节、控制设备规范	推荐	制定
20130065-T-469	设施农业物联网感知数据传输技术标准	推荐	制定
20130066-T-469	设施农业物联网感知数据描述标准	推荐	制定
20130067-T-469	畜禽、水产养殖传感设备技术基础规范	推荐	制定
20130068-T-469	畜禽、水产养殖感知数据分析标准	推荐	制定
20130069-T-469	畜禽、水产养殖感知信息传输网络建设规范	推荐	制定
20130070-T-469	畜禽、水产养殖环境无线控制装备与技术标准	推荐	制定
20132346-T-469	信息技术 农业传感器网络系统 第1部分:设施农业技术要求	推荐	制定

2 我国农业物联网应用发展存在问题

(1) 农业物联网技术应用的局限性^[4]

我国目前农业物联网技术应用更多体现在环境信息感知、数据传输和监测环节,终端的智能控制应用环节较少,有感知无决策、有决策无控制的单环节应用比较普遍,尚未形成“感知-决策-控制”的应用“闭环”,从而大大降低了农业物联网对改造传统农业的作用。

(2) 农业物联网实用技术产品缺乏^[5]

农业相对于其他领域,由于农业动植物的生命特征、农业系统环境的开放性和复杂性,加之应用对象经济条件的限制,对农业物联网技术产品提出了更高的要求。根据对我国不同的农业物联网技术用户群分析,目前急需研制动植物生命信息感知技术产品,适合农村不同地理环境的高通量、低资费的信息通讯技术,支持闭环控制应用的终端技术,提高农业物联网技术产品的经济性、稳定性、适用性、准确性、可靠性。

(3) 农业知识模型和应用控制阈值模型急需加强^[5]

农业物联网技术应用目标是实现农业生产的按需控制和智慧化的精细管理,必须要有农业知识模型和阈值模型支撑。虽然农业物联网应用汇集了大量农业数据,但这些实时感知数据没有得到充分挖掘利用,缺乏农业智能决策模型和应用控制阈值模型,导致目前主要还是时序控制、单一指标控制,难于实现按需控制和多指标控制,应用系统的智能化程度需要提高。

(4) 农业物联网产业发展滞后^[6]

目前我国农业物联网技术应用总体处于试验示范阶段,规模小而分散,农业传感、控制设备等物联网关键技术产品难于实现批量生产,导致产品价格高,用户难于接受。农业物联网技术产品投放市场前缺乏严格质量检测,当设备暴露在恶劣自然环境下,导致设备稳定性差,故障率高,维护成本高,后续技术服务落后,农业物联网应用系统不能持续正常运行,影响了用户的使用积极性,导致农业物联网产业发展缓慢。

(5) 标准研究落后^[7]

目前国内还没建立完整的农业物联网技术标准体系。由于农业物联网应用标准规范缺失,使得物联网技术在农业领域规范化应用发展受到制约,农业传感器标准化程度不够,可靠性难以保证,难于实现广泛的集成应用;传感网建设缺乏统一的指导规范,多采用自定义传输协议,随意性较大;感知数据的融合应用和上层应用系统的开发也没有标准可循,无法互联共享,不利于产业化技术发展。

3 我国农业物联网发展对策

我国正处于工业化、信息化、城镇化、农业现代化“四化”同步发展的关键时期。农业物联网对改造我国传统农业、发展现代农业具有重要作用^[6]。今后我国农业物联网应用发展思路(表4),需要紧密围绕发展现代农业的重大需求,按照“两头(感知和应用)突破、中间(通讯传输)跨越”的发展思路,重点突破农业专用传感器瓶颈性科学技术难题,加强农业传感器(网络)新材料、新原理、新方法和新

表 4 近期我国农业物联网应用发展重点与对策

Tab.4 Current emphases and strategies of Ag-IOT in China

任务	研究工作重点
感知层	新型传感器敏感材料、机理、工艺、方法技术(光学传感、微纳传感与生物传感技术)
	低成本、低功耗高频 RFID 生物识别传感器与设备
	土壤氮素等营养元素、盐分、重金属传感器与设备
	反映动植物生长发育、营养组分、病变、病毒等状态的形态与生理生化信息传感器与设备
	农产品组分、超高压灭菌、农药残留、特征标识等传感器与快速检测设备
传输层	农机作业 GNSS 定位、地速、耗油、驾驶员生理状态等传感器与农机控制终端
	面向复杂农业应用环境的大容量数据实时宽频通信标准及技术
	高可靠性、自适应的网络部署和管理(传感器的自组网、多模式、定向传播等)
应用层	节能策略和实时能量获取技术
	农业智能决策模型,云计算、云服务技术
	面向农业不同领域的大型开源数据库和信号处理算法库
	基于多源数据的信息融合、知识发现、数据挖掘技术及分布式智能处理系统
	智能化农业技术措施实施技术装备(智能控制器、肥水一体化、精准作业、精准饲养等装备)
推进对策	技术标准制定,重点是农业传感器及标识设备接口标准,数据传输通讯协议标准,农业多源数据融合分析处理标准、应用服务标准,农业物联网工程实施规范等
	优先领域:经济价值高的规模化畜禽、水产、设施农业、果园、种业等产业,进行生产、加工、包装、物流、销售全程产业链应用
	重点区域:重点在优势农产品、特色农产品区域和大中城市郊区实施
	应用主体:龙头企业、农民专业合作社、种养大户和家庭农场等新型农业经营主体
	技术模式:终端应用模式与云服务技术模式相结合
	发展机制:创新产学研结合,政府引导与市场拉动相结合的可持续发展
	技术检测:建立农业物联网技术产品检测技术平台,提高产品质量和性能稳定性

产品研究,加强物联网技术在农业资源和生态环境
监测、精细农牧业生产管理、农产品与食品安全管理
和溯源等领域应用,重点突破农业大数据智能化信息
处理挖掘技术、云计算和云服务技术,面向不同应

用对象,构建农业知识决策模型和阈值控制模型,开
发智能化和低成本的终端应用技术装备,在重点区
域和典型产业进行应用示范,促进农业物联网技术
产业健康有序发展^[5, 80-83]。

参 考 文 献

1 Biggs P, Srivastava L. ITU Internet reports 2005; the internet of things[M]. Geverna: International Telecommunication Union, 2005.

2 Commission of the European Communities. Internet of things—an action plan for Europe[S]. Brussels: Commission of the European Communities,2009.

3 Commission I D E. Internet of things. strategic research roadmap[C]. Commission I D E, 2009.

4 汪懋华. 物联网农业领域应用发展对现代科学仪器的需求[J]. 现代科学仪器,2010 (3): 5-6.

5 赵春江. 物联网技术在农业领域的应用[Z]. <http://www.wliot.com/Article/zcddetail5407.htm>. 2012.

6 李道亮. 农业物联网导论[M]. 北京:科学出版社,2012.

7 赵春江. 我国应加快制定农业物联网标准[Z]. <http://www.dlnet.com/iot/application/209270.html>. 2012.

8 应火冬. 谷物介电性质及其在含水量测量中的应用[J]. 农业工程学报,1992,8(3):113-119.

Ying Huodong. Dielectric properties of cereal grains and their application in moisture measurement[J]. Transactions of the CSAE, 1992,8(3):113-119. (in Chinese)

9 Weiler K W, Steenhuis T S, Boll J, et al. Comparison of ground penetrating radar and time-domain reflectometry as soil water sensors[J]. Soil Science Society of America Journal, 1998, 62(5): 1237-1239.

10 Du Y, Ulaby F T, Dobson M C. Sensitivity to soil moisture by active and passive microwave sensors[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2000, 38(1): 105-114.

11 Sohn K, Kim K, Song J. Optical fiber sensor for water detection using a side-polished fiber coupler with a planar glass-overlay-waveguide[J]. Sensors and Actuators A: Physical, 2002, 101(1): 137-142.

12 杨青,张征,庞树杰,等. 一种基于 GPS 和 GIS 农业装备田间位置的监控系统[J]. 农业工程学报, 2004, 20(4): 84-87.

Yang Qing, Zhang Zheng, Pang Shujie, et al. Field vehicle position monitoring system based on GPS and GIS[J]. Transactions of the CSAE, 2004, 20(4): 84-87. (in Chinese)

13 Adamchuk V I, Hummel J W, Morgan M T, et al. On-the-go soil sensors for precision agriculture[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2004, 44(1): 71-91.

14 Niu C, Qin P,Zeng G, et al. Fluorescence sensor for water in organic solvents prepared from covalent immobilization of

- 4-morpholinyl-1, 8-naphthalimide[J]. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2007, 387(3): 1067 – 1074.
- 15 李洪,姚光强,陈立平. 基于 GPS, GPRS 和 GIS 的农机监控调度系统[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(增刊2): 119 – 122.
Li Hong, Yao Guangqiang, Chen Liping. Farm machinery monitoring and scheduling system based on GPS, GPRS and GIS[J]. *Transactions of the CSAE*, 2008, 24(Supp.2): 119 – 122. (in Chinese)
- 16 Christy C D. Real-time measurement of soil attributes using on-the-go near infrared reflectance spectroscopy[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2008, 61(1): 10 – 19.
- 17 Maleki M R, Mouazen A M, De Ketelaere B, et al. On-the-go variable-rate phosphorus fertilization based on a visible and near-infrared soil sensor[J]. *Biosystems Engineering*, 2008, 99(1): 35 – 46.
- 18 Abbasi A Z, Islam N, Shaikh Z A, et al. A review of wireless sensors and networks' applications in agriculture[J]. *Computer Standards & Interfaces*, 2011, 36(2): 263 – 270.
- 19 王新忠,刘飞,韩旭. 土壤理化特性对土壤剖面水分传感器性能的影响[J]. *农业机械学报*, 2012, 43(11): 97 – 101
Wang Xinzhong, Liu Fei, Han Xu. Influence of soil physical and chemical properties on performance of soil profile moisture sensor[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2012, 43(11): 97 – 101. (in Chinese)
- 20 Lan Bin. The establishment of agriculture information system based on GIS and GPS[J]. *ICSREI*, 2013(2): 506 – 511.
- 21 Kroulik M, Kviz Z, Masek J, et al. Benefits of GPS agricultural guidance for sustainable agriculture[J]. *Agrociencia*, 2012, 16(3): 107 – 116.
- 22 Zhao X, Zheng W, Dong D, et al. Temperature effect on fluorescence of PtOEP embedded in sol-gel membrane used in oxygen sensor[J]. *Optik-International Journal for Light and Electron Optics*, 2013, 124(24): 6799 – 6802.
- 23 Dong D M, Zhao C J, Zheng W G, et al. Spectral characterization of nitrogen in farmland soil by laser-induced breakdown spectroscopy[J]. *Spectroscopy Letters*, 2013, 46(6): 421 – 426.
- 24 董大明,郑文刚,赵春江,等. 农田土壤中钾元素含量的激光诱导击穿光谱测量方法[J]. *光谱学与光谱分析*, 2013, 33(3): 785 – 789.
Dong Daming, Zheng Wengang, Zhao Chunjiang, et al. Determination of potassium in farmland soil using laser-induced breakdown spectroscopy[J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2013, 33(3): 785 – 789. (in Chinese)
- 25 Jiao L Z, Dong D M, Zheng W G, et al. Research on fiber-optic etching method for evanescent wave sensors[J]. *Optik-International Journal for Light and Electron Optics*, 2013, 124(8): 740 – 743.
- 26 Zhang S, Wang J, Dong D, et al. Mapping of methane spatial distribution around biogas plant with an open-path tunable diode absorption spectroscopy scanning system[J]. *Optical Engineering*, 2013, 52(2): 26203.
- 27 Zhang Z J, Zhao C J, Dong D M, et al. Measurement of chlorophyll in water based on laser-induced fluorescence spectroscopy: using spiral-wound unclad optical fiber system and partial least squares regression[J]. *Optik-International Journal for Light and Electron Optics*, 2013, 124(18): 3375 – 3378.
- 28 Zhang S, Wang J, Dong D, et al. An olfaction monitoring system for malodorous gases[J]. *Applied Engineering in Agriculture*, 2013, 29(5): 739 – 749.
- 29 殷哲,雷廷武,董月群. 近红外土壤含水率传感器设计与试验[J]. *农业机械学报*, 2013, 44(7): 73 – 77.
Yin Zhe, Lei Tingwu, Dong Yuequn. Design and experiment of near infrared sensor for soil moisture measurement[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2013, 44(7): 73 – 77. (in Chinese)
- 30 Chitnis G, Maleki T, Samuels B, et al. A minimally invasive implantable wireless pressure sensor for continuous IOP monitoring[J]. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 2013, 60(1): 250 – 256.
- 31 Jiao L, Dong D, Zheng W, et al. Determination of thiophanate-methyl using UV absorption spectra based on multiple linear regression[J]. *Optik-International Journal for Light and Electron Optics*, 2014, 125(1): 183 – 185.
- 32 殷哲,雷廷武,陈展鹏,等. 近红外传感器测量不同种类土壤含水率的适应性研究[J]. *农业机械学报*, 2014, 45(3): 148 – 151.
Yin Zhe, Lei Tingwu, Chen Zhanpeng, et al. Adaptability of the near-infrared sensor for moisture measurement of different soils[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2014, 45(3): 148 – 151. (in Chinese)
- 33 Ben-Ner Z Ton Y. Remote phytomonitoring; EP,1370126A2[P]. 2003 – 12 – 17.
- 34 Lestander T O R A, Leardi R, Geladi P. Selection of near infrared wavelengths using genetic algorithms for the determination of seed moisture content[J]. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 2004, 11(6): 433 – 446.
- 35 Yang L, Li Y, Erf G F. Inter-digitated array microelectrode-based electrochemical impedance immunosensor for detection of escherichia coli O157: H7[J]. *Analytical Chemistry*, 2004, 76(4): 1107 – 1113.
- 36 Raun W R, Solie J B, Stone M L, et al. Optical sensor-based algorithm for crop nitrogen fertilization[J]. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2005, 36(19 – 20): 2759 – 2781.
- 37 Baye T M, Pearson T C, Settles A M. Development of a calibration to predict maize seed composition using single kernel near infrared spectroscopy[J]. *Journal of Cereal Science*, 2006, 43(2): 236 – 243.
- 38 Mao X, Yang L, Su X, et al. A nanoparticle amplification based quartz crystal microbalance DNA sensor for detection of *Escherichia coli* O157: H7[J]. *Biosensors and Bioelectronics*, 2006, 21(7): 1178 – 1185.
- 39 Sacilik K, Tarimci C, Colak A. Moisture content and bulk density dependence of dielectric properties of safflower seed in the radio frequency range[J]. *Journal of Food Engineering*, 2007, 78(4): 1111 – 1116.
- 40 Brown M E, de Beurs K M. Evaluation of multi-sensor semi-arid crop season parameters based on NDVI and rainfall[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2008, 112(5): 2261 – 2271.

- 41 Guo J, Wang X, Meng Z, et al. Study on diagnosing nitrogen nutrition status of corn using Greenseeker and SPAD meter[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2008, 14(1): 43–47.
- 42 Balaur N S, Vorontsov V A, Kleiman E I, et al. Novel technique for component monitoring of CO₂ exchange in plants[J]. *Russian Journal of Plant Physiology*, 2009, 56(3): 423–427.
- 43 Thoele H, Ehlert D. Biomass related nitrogen fertilization with a crop sensor[J]. *Applied Engineering in Agriculture*, 2010, 26(5): 769–775.
- 44 Liu F, He Y, Wang L, et al. Detection of organic acids and pH of fruit vinegars using near-infrared spectroscopy and multivariate calibration[J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2011, 4(8): 1331–1340.
- 45 Xie L, Ye X, Liu D, et al. Prediction of titratable acidity, malic acid, and citric acid in bayberry fruit by near-infrared spectroscopy[J]. *Food Research International*, 2011, 44(7): 2198–2204.
- 46 Bureau S, Scibisz I, Le Bourvellec C, et al. Effect of sample preparation on the measurement of sugars, organic acids, and polyphenols in apple fruit by mid-infrared spectroscopy[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2012, 60(14): 3551–3563.
- 47 Dong D, Zhao C, Zheng W, et al. Analyzing strawberry spoilage via its volatile compounds using longpath Fourier transform infrared spectroscopy[J]. *Scientific Reports*, 2013, 3(2585): 1–7.
- 48 Wang M, Dong D, Zheng W, et al. Using infrared sensor for large area canopy total temperature measurements of rice plants[J]. *Applied Engineering in Agriculture*, 2013, 29(1): 115–122.
- 49 刘升, 郜洪文. 基于生物传感器的在线生化需氧量测量仪研究[J]. *农业机械学报*, 2013, 44(增刊 2): 231–235.
Liu Sheng, Gao Hongwen. On-line biochemical oxygen demand measuring instrument based on biosensor[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2013, 44(Supp. 2): 231–235. (in Chinese)
- 50 倪军, 王婷婷, 姚霞, 等. 作物生长信息获取多光谱传感器设计与试验[J]. *农业机械学报*, 2013, 44(5): 207–212.
Ni Jun, Wang Tingting, Yao Xia, et al. Design and experiments of multi-spectral sensor for rice and wheat growth information [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2013, 44(5): 207–212. (in Chinese)
- 51 Lafontain M, Freund M, Vieth K, et al. Automatic fruit sorting by non-destructive determination of quality parameters using visible/near infrared to improve wine quality: I. Red wine production[J]. *NIR News*, 2013, 24(8): 6–8.
- 52 Church J S, Hegadoren P R, Paetkau M J, et al. Influence of environmental factors on infrared eye temperature measurements in cattle[J]. *Research in Veterinary Science*, 2014, 96(1): 220–226.
- 53 Siewert C, Da Nicke S, Kersten S, et al. Difference method for analyzing infrared images in pigs with elevated body temperatures [J]. *Zeitschrift für Medizinische Physik*, 2014, 24(1): 6–15.
- 54 Wang N, Zhang N, Wang M. Wireless sensors in agriculture and food industry—recent development and future perspective[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2006, 50(1): 1–14.
- 55 Handcock R N, Swain D L, Bishop-Hurley G J, et al. Monitoring animal behaviour and environmental interactions using wireless sensor networks, GPS collars and satellite remote sensing[J]. *Sensors*, 2009, 9(5): 3586–3603.
- 56 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*, 2008(增刊 2): 232–234.
Qiao Xiaojun, Zhang Xin, Wang Cheng, et al. Application of the wireless sensor networks in agriculture[J]. *Transactions of the CSAE*, 2008(Supp. 2): 232–234. (in Chinese)
- 57 Kumar S, Iyengar S S, Lochan R, et al. Application of sensor networks for monitoring of rice plants: a case study[C]. *The 4th International Symposium on IRADSN*, 2009.
- 58 盛平, 郭洋洋, 李萍萍. 基于 ZigBee 和 3G 技术的设施农业智能测控系统[J]. *农业机械学报*, 2012, 43(12): 229–233.
Shen Ping, Guo Yangyang, Li Pingping. Intelligent measurement and control system of facility agriculture based on ZigBee and 3G [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2012, 43(12): 229–233. (in Chinese)
- 59 黄伟, 宋良图, 武民民, 等. 面向农业的无线传感器网络应用及相关问题[J]. *自动化与仪器仪表*, 2008(6): 52–54, 82.
Huang Wei, Su Liangtu, Wu Minmin, et al. Application of wireless sensor networks for agricultural and related issues [J]. *Automation & Instrumentation*, 2008(6): 52–54, 84.
- 60 张瑞瑞, 陈立平, 郭建华, 等. 农田土壤监测无线传感器网络通信平台[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(增刊 2): 81–84.
Zhang Rui Rui, Chen Liping, Guo Jianhua, et al. Communication platform of wireless sensor network for farmland soil monitoring [J]. *Transactions of the CSAE*, 2008, 24(Supp. 2): 81–84. (in Chinese)
- 61 Ayday C, Safak S. Application of wireless sensor networks with GIS on the soil moisture distribution mapping[C] // *Proceedings of GIS Ostrava 2009*, 2009.
- 62 杨信廷, 吴滔, 孙传恒, 等. 基于 WMSN 的作物环境与长势远程监测系统[J]. *农业机械学报*, 2013, 44(1): 167–173.
Yang Xinting, Wu Tao, Sun Chuanheng, et al. Remote monitoring system of crop environment and growing based on WMSN [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2013, 44(1): 167–173. (in Chinese)
- 63 岳学军, 王叶夫, 洪添胜, 等. 基于信道测试的橘园 WSN 网络部署试验[J]. *农业机械学报*, 2013, 44(5): 213–218.
Yue Xunjun, Wang Yefu, Hong Tiansheng, et al. WSN layout experiment based on radio frequency propagation tests in citrus orchard [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2013, 44(5): 213–218. (in Chinese)
- 64 郭秀明, 赵春江, 杨信廷, 等. 苹果园中 2.4 GHz 无线信道在不同高度的传播特性[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(12): 195–200.
Guo Xiuming, Zhao Chunjiang, Yang Xinting, et al. Propagation characteristics of 2.4 GHz wireless channel at different heights in apple orchard [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012, 28(12): 195–200. (in Chinese)

- 65 徐焕良,王兆敏,任守纲,等. 设施环境中 WSN 执行器节点协作算法研究[J]. 农业机械学报,2013,44(12):262-268.
Xu Huanliang, Wang Zhaomin, Ren Shougang, et al. Actors cooperation algorithms in WSN for greenhouse facilities [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013,44(12):262-268. (in Chinese)
- 66 张荣标,褚夫环,黄贤林,等. WSN 节点温室环境试验系统的预测解耦控制[J]. 农业机械学报,2012,43(1):192-196.
Zhao Rongbiao, Chu Fuhuan, Huang Xianlin, et al. Predictive decoupled control of WSN nodes greenhouse environment simulation experimental system [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012,43(1):192-196. (in Chinese)
- 67 焕生,炳辉. RFID 重大工程与国家物联网[M]. 北京:机械工业出版社,2009.
- 68 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):149-154.
Yan Xiaojun, Wang Weirui, Liang Jianping. Application mode construction of internet of things (IOT) for facility agriculture in Beijing[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(4): 149-154. (in Chinese)
- 69 孙忠富,曹洪太,李洪亮,等. 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):131-134.
Sun Zhongfu, Cao Hongtai, Li Hongliang, et al. GPRS and WEB based data acquisition system for greenhouse environment[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(6): 131-134. (in Chinese)
- 70 白红武,滕光辉,马亮,等. 蛋鸡健康养殖网络化管理信息系统[J]. 农业工程学报,2007,22(10):171-173.
Bai Hongwu, Teng Guanghui, Ma Liang, et al. Layer healthy breeding management information system based on Internet [J]. Transactions of the CSAE, 2007, 22(10): 171-173. (in Chinese)
- 71 吴金洪,丁飞,邓志辉. 基于 CC2420 的温室无线数据采集系统的设计与实现[J]. 仪表技术与传感器,2007(12):42-43.
Wu Jinhong, Ding Fei, Deng Zhihui. Design and implementation of greenhouse wireless data acquisition system based on CC2420 [J]. Instrument Technique and Sensor, 2007(12): 42-43. (in Chinese)
- 72 熊本海,傅润亭,林兆辉,等. 生猪及其产品从农场到餐桌质量溯源解决方案——以天津市为例[J]. 中国农业科学,2009,42(1):230-237.
Xiong Benhai, Fu Runtong, Li Zhaohui, et al. A solution on pork quality safety production traceability from farm to dining table——taking Tianjin city as an example [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2009, 42(1): 230-237. (in Chinese)
- 73 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.
Zhu Weixing, Dai Chenyun, Huang Peng. Environmental control system based on IOT for nursery pig house [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(11): 177-182. (in Chinese)
- 74 颜波,石平. 基于物联网的水产养殖智能化监控系统[J]. 农业机械学报,2014,45(1):259-265.
Yan Bo, Shi Ping. Intelligent monitoring system for aquiculture based on internet of things[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(1):259-265. (in Chinese)
- 75 杨信廷,孙传恒,钱建平,等. 基于流程编码的水产养殖产品质量追溯系统的构建与实现[J]. 农业工程学报,2008,24(2):159-164.
Yang Xinting, Sun Chuanheng, Qiang Jianping, et al. Construction and implementation of fishery product quality traceability system based on the flow code of aquaculture [J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(2): 159-164. (in Chinese)
- 76 杨信廷,钱建平,孙传恒,等. 蔬菜安全生产管理及质量追溯系统设计与实现[J]. 农业工程学报,2008,24(3):162-166.
Yang Xinting, Qiang Jianping, Sun Chuanheng, et al. Design and application of safe production and quality traceability system for vegetable [J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(3): 162-166. (in Chinese)
- 77 柳平增,王秀娟,马鸿渐,等. 生姜产业链物联网信息感知系统研究[J]. 农业机械学报,2013,44(12):204-208.
Liu Pingzeng, Wang Xiujuan, Ma Hongjian, et al. Development of perceptual system for ginger industry chain based on internet of things[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2013,44(12):204-208,197. (in Chinese)
- 78 杨胜平,谢晶,高志立,等. 冷链物流过程中温度和时间对冰鲜带鱼品质的影响[J]. 农业工程学报,2013,29(24):302-310.
Yang Shengping, Xie Jing, Gao Zhili, et al. Effect of temperature and time fluctuations on quality changes of iced trichiurus haumela in cold chain logistics process [J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(24): 302-310. (in Chinese)
- 79 刘寿春,赵春江,杨信廷,等. 冷链物流过程猪肉微生物污染与控制图设计[J]. 农业工程学报,2013,29(7):254-260.
Liu Shouchun, Zhao Chunjiang, Yang Xinting, et al. Microbial contamination of chilled pork in cold chain logistics and its control chart design [J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(7): 254-260. (in Chinese)
- 80 朱近康. 无线互联与移动互联的相关技术及未来展望[J]. 通信世界,2002(8):38-39.
- 81 杨艺. 浅谈日本农业信息化的发展及启示[J]. 农业经济导刊,2006(3):147-149.
- 82 曲成义. 物联网的发展态势和前景[J]. 信息化建设,2009(11):16-18.
- 83 何勇,聂鹏程,刘飞. 农业物联网与传感仪器研究进展[J]. 农业机械学报,2013,44(10):216-226.
He Yong, Ni Pengcheng, Liu Fei. Advancement and trend of internet of things in agriculture and sensing instrument [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(10): 216-226. (in Chinese)

Discrimination of Lettuce Leaves' Nitrogen Status Based on Hyperspectral Imaging Technology and ELM

Sun Jun¹ Wei Aiguo¹ Mao Hanping² Wu Xiaohong¹ Zhang Xiaodong² Gao Hongyan²

(1. School of Electrical and Information Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China

2. Jiangsu Provincial Key Laboratory of Modern Agricultural Equipment and Technology, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract: Discrimination of crop's nitrogen level can contribute to reasonable and effective fertilization. Lettuces of various nitrogen levels were planted in three soilless nutrient solutions of different nitrogen concentrations. In the rosette stage, 84 lettuce leaves of each nitrogen level were collected and scanned by the hyperspectral imaging acquisition system. In every hyperspectral image of lettuce leaf, four different positions of 60 × 60 pixel were selected as regions of interest (ROI). The average spectral data of the ROI were used as the original spectra of the leaf samples. The original spectra were preprocessed by the standard normal variate correction (SNV), and their dimensionalities were reduced through principal component analysis (PCA). ELM algorithm was used to establish model for the training samples, and then was compared with BP algorithm model and SVM algorithm model. The results show that the running time of ELM model is 0.623 04 s and its classification accuracy rate is 100%. During the same running time, the classification accuracy rate of ELM model is higher than that of SVM model. At the same classification accuracy rate, the running time of ELM model is shorter than that of BP model.

Key words: Lettuce leaf Hyperspectral imaging technology Extreme learning machine Nitrogen status

(上接第 230 页)

State-of-the-art and Developing Strategies of Agricultural Internet of Things

Ge Wenjie¹ Zhao Chunjiang²

(1. College of Engineering, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China

2. Beijing Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100097, China

3. Key Laboratory of Information Technology in Agriculture, Ministry of Agriculture, Beijing 100097, China)

Abstract: Agricultural internet of things (Ag-IoT) is the highly integrated and comprehensive application of the new generation of information technology in agricultural field. Ag-IoT is playing an important leading role in the agricultural informationization of China. It has changed the traditional agricultural production mode, and it is also promoting the transformation from the traditional agriculture to intelligent and precision agriculture. The concept of Ag-IoT and its technical system framework were firstly introduced. Then the research status and advances of sensing technologies, communicating technologies and key application technologies used in Ag-IoT were reviewed in detail. The challenges and problems existing in the development of Ag-IoT in China were further analyzed. Based on the analysis, countermeasures for the applications and development of Ag-IoT of China in many aspects were proposed, such as research priorities, development layout, advancing directions, application models and mechanisms for sustainable development.

Key words: Ag-IoT Sensor State-of-the-art Strategy