

现代通信技术在设施农业中的应用综述

高 峰^{1,2}, 俞 立¹, 张文安¹, 卢尚琼³, 徐青香²

(1. 浙江工业大学 信息工程学院, 浙江 杭州 310032; 2. 浙江林学院 现代教育技术中心, 浙江 临安 311300;
3. 浙江林学院 图书馆, 浙江 临安 311300)

摘要: 设施农业的发展离不开现代通信技术的支持。现代通信技术正日益成为决定设施农业效益的关键。按照传输媒质分类, 现代通信技术可以分为有线通信技术和无线通信技术。对目前设施农业领域常用的现代通信技术进行了评述, 并对各种通信技术在设施农业中的应用优势、局限性和适用范围进行了分析比较。在此基础上, 提出了几种适用于设施农业的现代通信系统解决方案, 旨在为设计设施农业环境智能测控系统提供参考。图 3 参 46

关键词: 设施农业; 温室; 有线通信; 无线通信; 无线传感器网络; 综述

中图分类号: S625.5; TN914 文献标志码: A 文章编号: 1000-5692(2009)05-0742-08

Review on modern communication technology and its application to facility agriculture

GAO Feng^{1,2}, YU Li¹, ZHANG Wen-an¹, LU Shang-qiong³, XU Qing-xiang²

(1. Information Engineering College, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310032, Zhejiang, China; 2. Modern Educational Technology Center, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 3. Library, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

Abstract: The modern communication technologies play an important role in the development of facility agriculture, and have gradually become the key factor of determining the benefits of the facility agriculture. Based on the classification of transmission medium, the modern communication technologies can be divided into line communications and wireless communications. Certain modern communication technologies for sustainable facility agriculture were reviewed, and the merits and drawbacks of these schemes were analyzed and compared. Then, some optimized combination schemes of communication systems were proposed for the field of facility agriculture to provide reference for the development of the intelligent control system for facility agriculture. [Ch, 3 fig. 46 ref.]

Key words: facility agriculture; greenhouse; line communications; wireless communication; wireless sensor networks; review

设施农业是采用一定的设施、工程技术和管理技术, 在局部范围内改善或创造环境、气象因素, 为动物、植物、微生物生长发育及产品的储藏保鲜提供相对可控制的最适宜的温度、湿度、光照、水、肥、空气等环境条件, 以充分利用土壤、气候和生物潜能, 从而在一定程度上摆脱对自然环境的依赖而进行的有效生产的农业^[1]。设施农业是现代农业发展的象征, 是当今世界最具活力的产业之一, 也是世界各国用以提供新鲜农产品的主要技术措施^[2]。目前, 世界设施农业已经发展到较高水

收稿日期: 2008-11-10; 修回日期: 2009-03-03

基金项目: 浙江省科技支撑和引导计划面上项目(2008C22G2100030)

作者简介: 高峰, 副教授, 博士研究生, 从事无线传感器网络、网络控制系统分析与设计、智能控制等研究。E-mail: gaofteng@zjfc.edu.cn。通信作者: 俞立, 教授, 博士, 博士生导师, 从事网络环境下的控制系统分析与设计、无线网络的调度与优化控制、鲁棒控制等研究。E-mail: lyu@zjut.edu.cn

平,形成了成套的技术、完整的设施设备和生产规范,并在向自动化、智能化和网络化方向发展^[3]。设施农业的发展离不开现代通信技术的支持,例如:要远程、实时获取温室环境信息和温室内作物生长状况,或者要对温室进行实时状态监测和远程控制,必须依赖某些适宜的现代通信手段。现代通信技术正日益成为决定设施农业效益的关键^[4]。因此,开展现代通信技术在设施农业中的应用研究,具有非常重要的意义。论文按照传输媒质分类,对常用的各种现代通信技术的特点及其在设施农业中的应用优势、局限性和适用范围进行了分析比较,在此基础上,提出了几种适用于设施农业的现代通信系统解决方案。

1 有线通信技术及其在设施农业中的应用

农业生物与环境信息的采集和农业设施的智能化、自动化,是设施农业有别于传统农业的核心技术之一^[5]。通信网络是设施农业数据采集与监控系统的神经中枢,它将分散的具有独立功能的设备或子系统相互连接起来,并按照规定的网络协议进行数据通信,实现分布式系统硬件和软件资源的共享及系统的综合管理与控制。根据需要,通信网络采用不同的通信技术。按照传输媒质分类,通信技术可以分为有线通信技术和无线通信技术。

1.1 有线通信技术

在设施农业应用中,常用的有线通信包括:RS-232/422/485,Field-bus和Ethernet。

RS-232 是个人计算机机与通信工业中应用较为广泛的一种串行接口。在设施农业领域的早期应用中,采用 RS-232, RS-422 和 RS-485 连接任务计算机和变量系统是一种简单易行的解决方案。采用这些技术构成的网络通信距离短,实时性较差,吞吐量低,信息集成能力不强,安装及维护成本高,可靠性、开放性差,且缺乏互操作性和互换性^[6-9]。对于实时性要求强,数据吞吐量大,多主机通信或控制系统复杂程度较高的系统,RS-232/422/485 技术不再适用,需要采用其他通信技术。

Field-bus 是安装在生产过程区域的现场设备/仪表与控制室内的自动控制装置/系统之间的一种串行、数字式、多点通信的数据总线。Field-bus 技术代表了几十年来控制网络发展的最新成果,现在世界上有 40 多种 Field-bus 技术,其中最具影响力的是 CAN, LonWorks, PROFIBUS, HART, FF 等^[10-11]。与传统的分布式控制系统 (distribute control system, DCS) 相比,现场总线控制系统 (field-bus control system, FCS) 具有如下特点^[12-14]:①全数字化通信网络。Field-bus 把通信线路一直延伸到生产现场中的生产设备,构成了用于过程自动化和制造自动化的现场设备或现场仪表互连的现场通信网络。它实现了全数字化传输,极大地提高了信号转换的精度和可靠性。②一对 N 结构。FCS 采用一对传输线,N 台仪表,双向传输多个信号。这种一对 N 结构使得接线简单、工程周期短、安装费用低、维护容易。③实现现场设备互连。现场设备是指传感器、变送器和执行器等设备,所有现场设备可以通过一对传输线互连,传输线可以是双绞线、同轴电缆、光纤或电源线等,具有较强的抗干扰能力,用户可根据需要选择不同类型的传输介质。④良好的互操作性。由于各生产厂家遵守同一的通信协议及行业规范,用户可以将不同厂家生产的性能价格比最优的现场设备集成在一起,实现“即插即用”。⑤统一组态。FCS 废弃了 DCS 的控制站和输入输出单元,把功能块分散到多台现场仪表中并进行统一组态,有助于用户根据需要灵活地选用各功能块,构成所需的控制回路,实现彻底的分散控制。⑥良好的开放性。FCS 具有开放式互联网络,可与不同类型的网络互联。可见,Field-bus 构成的控制系统具有以下显著优点:节省硬件数量与投资,节省安装费用,节省维护开销,用户具有高度民主的系统集成主动权,控制系统的准确性和可靠性高等。Field-bus 技术也存在不足,集中表现在:Field-bus 的传输距离有限,要想实现企业的全球化生产,把生产数据直接传送到工厂,实现远程监控,必须借助 Ethernet 和信息网的骨干 Internet,这是一种非常经济和有效的方法^[15-17]。

Ethernet 是当今使用最为广泛的 LAN(local area network, 局域网) 技术,其协议是由一组 IEEE 802.3 标准定义的局域网协议集。把 Field-bus 通过 Ethernet 接入 Internet,可以在世界上任何地方监视并控制这些生产现场以及现场设备的运行状况,从而节省大量的费用。而且设备供应商也可以通过网络对自己的设备进行维护,对产品性能及时跟踪调查以进一步改进设计。因此,设施农业环境智能测控系

统与 Internet 相连接，实现控制网络和数据网络的无缝结合，是现代化温室集群发展的要求，也是集约化可控设施农业发展的方向。

1.2 有线通信技术在设施农业中的应用

早期的设施农业环境自动监控系统均采用有线方式进行通信。Field-bus 和 Ethernet 是主流的有线通信技术。基于 Field-bus 的设施农业环境自动监控系统实际上就是以 Field-bus 技术为核心，以基于 Field-bus 的智能 I/O 或智能传感器、智能仪表为控制主体、以计算机为监控指挥中心的系统编程、组态、维护、监控等功能为一体的工作平台，其基本构成如图 1 所示。针对特定设施农业应用，为了满足生产现场环境自动监控的具体需求，以及所采用的 Field-bus 技术的不同，FCS 的拓扑结构会有所变化。

Field-bus 在农业领域的应用研究始于 20 世纪 80 年代。首先，为了实现农业机械控制器之间的信息共享，国外出现了多种基于 CAN 协议的通信标准，典型代表包括德国的 DIN 9684，美国的 SAE J 1939 和 ISO 11783 等^[18]，这些标准的制定对农业机械系统的发展产生了深远的影响。1997 年，Hofstee 等^[19]基于 DIN 9684 开发了 Field-bus 的仿真程序，该仿真程序为开发实用的农用 FCS 奠定了实验基础。之后，Field-bus 技术迅速在美国、德国等国家的农业领域

获得应用^[20]。在吸收国外成功经验的基础上，国内越来越多的研究人员开始关注相关领域的研究，并取得众多成果，典型代表包括：马玉泉等^[21]设计的基于双 CAN 总线的农用环境参数测控仪，何世均等^[22]设计的基于 CAN 总线的设施农业嵌入式测控系统，汪玉凤等^[10]设计的基于 LonWorks 现场总线的分布式测温系统，陈庆文等^[23]设计的基于 PROFIBUS 的温室控制信息管理系统等。尽管这些温室测控系统在特定的时期曾经发挥了积极的作用，但是由于 Field-bus 传输距离受限的缺陷，这些温室监控系统均存在先天性不足，即它们孤立于 Internet 之外，无法实现整个企业的信息化集成。

Ethernet 技术能够迅速进入设施农业环境控制自动化领域的主要原因是：①成本低。大多数计算机都有网卡，工业级的网卡也只有几百元人民币；而且人们对 Ethernet 都比较熟悉，可以显著地降低系统的开发、培训和维护费用。②速度快。Ethernet 从最初的 10 Mbps 发展到 1 000 Mbps，现在已经有 1 Gbps 的产品。比 Field-bus 的速度快得多，每路 Ethernet 可以支持多通道的现场总线进行通信。③开放性。基于 TCP/IP 的以太网是一种标准的开放式网络，不同厂商的设备很容易互联。这种特性



图 1 现场总线控制系统结构

Figure 1 Structure of control system based on Field-bus

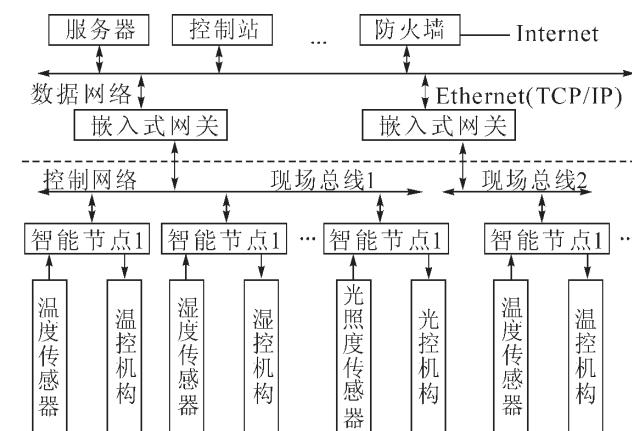


图 2 以太网/现场总线控制系统体系结构

Figure 2 Structure of control system based on Ethernet/Field-bus

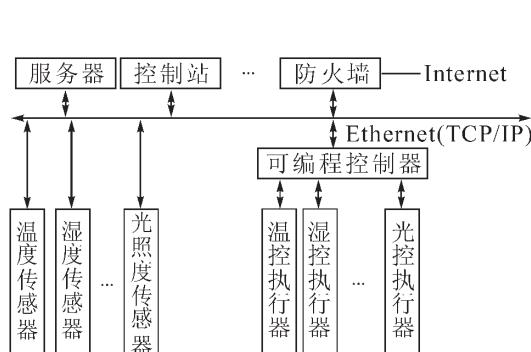


图 3 基于以太网的控制系统体系结构

Figure 3 Structure of control system based on Ethernet

非常适合于解决控制系统中不同厂商设备的兼容和互操作的问题。④互联性。易于与 Internet 连接, 用户能够随时随地通过 Internet 对设施农业环境进行监控。因此, 在设计设施农业环境自动控制系统时, 将 Ethernet 和 Field-bus 等 2 种技术有机地集成, 实现控制网络和数据网络的融合, 可以克服 Field-bus 传输距离受限的缺点。该方案不仅可以为农业管理和农业生产带来很多方便, 提高农业生产效率, 而且为控制网络走向全开放性、全分布式的网络结构奠定了坚实的基础。在实际应用案例中, 数据网络和控制网络融合主要是把 Ethernet 和在控制网络中占主导地位的 Field-bus 实现互联, 典型的网络结构如图 2 所示^[24-26]。

Ethernet/Field-bus 的混合控制网络通过嵌入式网关能够实现 TCP/IP 协议到各种现场总线协议的转换, 进而达到高速以太网和相对低速现场设备之间互连的目的。但是嵌入式网关的具体实现方法是非常复杂和困难的, 而且协议的转换和信息的收发途径决定了其相对低下的通信效率。

嵌入式技术可以有效解决上述问题, 基本思想是: 将 TCP/IP 作为一种嵌入式应用(即将 TCP/IP 协议嵌入到单片机系统的 ROM 中), 研发基于 TCP/IP 的网络化传感器/执行器, 实现仪器仪表的智能化、网络化^[27]。这样, 在设施农业环境自动监控系统中, 就可以抛开传统的 Field-bus, 实现 Ethernet 直接与传感器和执行器互联, 典型的网络结构如图 3 所示^[24-27]。

在图 3 中, 各种传感器/执行器都是网络化传感器/执行器, 因此, 基于 Ethernet 的设施农业环境智能测控系统实现了智能仪器、仪表和执行器间在同一层控制网络的横向通信, 同时又满足与 Internet 纵向通信的要求, 在温室控制系统对实时性要求不高的情况下, 将是最为理想的控制网络。

2 无线通信技术及其在设施农业中的应用

总体上看, 设施农业环境智能测控系统采用有线通信技术, 具有如下不足: ①通信技术主要采用串行总线技术和现场总线技术等有线通信技术。虽然具有设备互操作性好、抗干扰能力强等优点, 但是实际的应用环境具有长期高温、潮湿、土壤及空气具有较高的酸碱性等特点, 极容易导致通信电缆的老化, 从而降低系统的可靠性。②传感器工作在有线方式。在实际的农业生产应用时, 需要密布传感器节点, 才能实现对监测区域的有效覆盖, 这将导致农业设施内部线缆纵横交错, 系统安装及维护成本急剧增加^[28-29]。这些因素, 极大地限制了已有研究成果在生产实际中的推广应用。为了克服这些缺点, 国内外众多研究人员开始把兴趣逐渐转向无线通信技术。

2.1 无线通信技术

根据通信距离, 无线通信技术可以分为短距离无线通信技术和长距离无线通信技术, 无线广域网、无线城域网属于长距离通信, 无线局域网、无线个域网属于无线短距离通信。

无线广域网主要采用 GSM(global system for mobile communications, 全球移动通信系统), GPRS(general packet radio system, 通用分组无线业务), CDMA (code division multiple access, 码分多址), GPS (global positioning system, 全球定位系统)和 3G(third generation, 第三代移动通讯)等通信技术。

无线城域网通信技术主要采用 WiMAX (worldwide interoperability for microwave access, 全球微波接入互操作性), 它的物理层和媒质访问控制层 (MAC) 技术基于 IEEE 802.6 标准, 可以在 5.8 GHz, 3.5 GHz 和 2.5 GHz 等 3 个频段上运行。WiMAX 利用天线, 能够向地面提供面向互联网的高速连接。

在无线局域网通信技术中, Wi-Fi(wireless fidelity, 基于 IEEE 802.11b 标准的无线局域网)是目前最普及、应用最广泛的无线标准。Wi-Fi 技术的成熟, 使得基于该标准网络产品的成本得到很大的降低, 用户无须太多的资金投入即可组建一套完整的 WLAN。当然, Wi-Fi 也有其不足之处, 表现在: ①传输速率会因环境干扰或传输距离而变化; ②最高 11 Mbps 的传输速率并不能很好地满足用户高数据传输的需要; ③设备功耗高。

无线个域网通信技术主要包括: Bluetooth(蓝牙), IrDA(infrared data association, 红外数据标准协会)技术, RFID (radio frequency identification, 射频识别), IEEE 802.15.4/ ZigBee 等。此外, 近年来由 HomePlug 联盟 (home plug power line alliance)推出的 HomePlug 技术, 实现了利用普通电力线传输互联网资料的目标。目前, HomePlug 联盟推出了 HomePlug 1.0 标准, 它支持达到 10 BaseT 的文件传

输速率，理论上的最大传输速率为13Mbps。可想而知，将来会有许多厂商会生产支持HomePlug标准的产品，用户可以用同一条电线既联网又供电，这是一个可行而且经济的方案^[30]。该方案应用于农村设施农业环境远程智能控制系统，具有巨大的发展潜力。

2.2 无线通信技术在设施农业中的应用

设施农业环境智能测控系统采用无线通信技术，具有建设与维护成本更加低廉、组网更加便捷、扩展更加灵活等优点，因而近年来备受国内外相关研究人员的青睐，各国政府和越来越多的高等院校、研究机构纷纷加入该研究行列，理论成果和应用成果均日益丰富。设施农业环境智能测控系统正朝着网络化、智能化、自动化和无线化方向发展。

在这个发展过程中，GSM，GPRS，GPS等无线广域网通信技术首先在设施农业领域获得成功应用，代表性成果包括：Morgan等^[31]设计的基于GPS的土壤信息实时测定系统，Tseng等^[32]设计的基于GSM-SMS技术的现场数据采集系统，周国祥等^[33]设计的基于GSM的数字农业远程监控系统，侯海霞^[34]提出的基于GSM网络的温室大棚控制系统，杨化峰等^[35]设计的基于GPRS的农田数据采集系统，孙忠富等^[36]设计的基于GPRS和WEB的温室环境信息采集系统，孔德峰等^[37]设计的基于GPS/GIS的大型农用拖拉机自动导航系统，陈胜利等^[38]基于GIS和GPS研究了烟田养分管理技术等。尽管CDMA和3G目前在设施农业领域中还几乎没有取得应用成果，但CDMA在图像传输以及实时性方面远高于GSM和GPRS，随着3G技术的普及推广，CDMA逐渐显示出巨大的发展潜力。

将WiMAX技术应用于固定、简单移动、便携式、游牧和自由移动这五类应用场景，具有良好的应用前景。Wi-Fi技术自身固有的缺点，限制了它在设施农业领域的推广应用，但是可以作为有线网络的一种很好的补充。

近年来，各种无线个域网通信技术，特别是Bluetooth，IrDA，RFID和IEEE 802.15.4/ZigBee等，因为具有卓越的性价比，已经引起世界各国政府和农业科技工作者的普遍关注，并已经取得丰富的理论及应用成果。在国外，代表性成果包括：Maleki等^[39]设计的基于近红外土壤传感器的车载变量磷肥施肥系统，英特尔公司^[40]设计的应用在美国俄勒冈州一个葡萄园中的葡萄园环境监测系统，Crossbow公司^[41]设计的无线环境监测系统，美国加州大学伯克利分校的研究人员^[42]设计的大鸭岛生物环境监测系统等。国内也有众多研究人员开展相关理论及应用研究，并取得了可喜的进展，例如：李莉等^[43]设计了基于蓝牙技术的温室环境监测系统，杜松怀等^[44]设计了基于红外通信的动物身份智能识别装置，高峰等^[28-29]研究并设计了基于无线传感器网络的温室环境自动监控系统等。RFID技术则被广泛应用于畜牧管理与动物识别、食品安全追溯、生产线自动化、物流和供应链管理等领域^[45]。“十一五”期间，国家863计划拨专款1.28亿元支持RFID项目，将食品溯源系统一直延续到作物生长过程。

3 结束语

各种通信技术都有自身的特点及适用范围。在设计设施农业环境智能测控系统时，应该根据生产现场的实际情况，灵活采用各种通信技术，发挥各自优势，设计出具有高性价比的智能测控系统。但是，作为一般原则，在设计设施农业环境智能测控系统时，下列经验及建议值得重视：①如果仅仅实现设施内各种气候环境因子(如温度、湿度和照度等)的自动控制，有线通信方式是一种不错的选择，因为有线通信方式具有设备互操作性强、系统可靠性高和平抗干扰能力强等优点。在这种情形，如果测控系统要求具有高实时性和良好的时间确定性，则采用各种Field-bus技术比较合适；与工业控制相比，对于设施农业领域的大多数应用，测控系统的实时性要求较低，此时基于Ethernet的设施农业环境智能测控系统方案成为首选。无论如何，Field-bus，Ethernet，Internet和各种嵌入式设备的有机结合，代表了设施农业环境智能测控系统发展的方向，Internet技术的迅猛发展给智能控制领域带来了前所未有的发展机遇，基于Ethernet，Internet的FCS在设施农业领域将有巨大的应用前景。②如果需要更高的控制精度，则需要实现设施内各种气候环境因子(如温度、湿度和照度等)、各种土壤环境因子(如土壤水势及氮、磷和钾的数量等)以及作物自身的各种生理指标(如水分胁迫声发射信号、茎直径变差等)的自动监测与诊断。在这种情形，有线通信技术难以满足实际的需求。此时，无线通

信息技术由于应用的方便性、组网和维护的便利性、良好的可拓展性以及成本低廉等优点，成为最佳选择。在这个方案中，设施农业生产现场监控子系统或者采用无线通信方式实现，或者采用无线通信技术与有线通信技术的某种优化组合方案实现；远程监控子系统则通过 Internet 实现。③对于运动的对象、环境恶劣的区域或无人区域，如果要实现自动监测与精确控制，无线网络将起着不可替代的作用。特别地，无线传感器网络 (wireless sensor networks, WSN) 技术与 Internet 技术的有机结合，可以使人们随时随地精确获取所监测区域的信息，实现远程、实时感知所监测区域物理世界的变化，从而极大地扩展网络的功能和人类认识世界的能力。这 2 种技术的有机结合、发展和应用将会给人类的生活和生产等各个领域带来深远影响。

参考文献:

- [1] 朱德文, 陈永生, 陈三六. 我国设施农业发展存在的问题与对策研究 [J]. 农业装备技术, 2007, 33 (1): 5 – 7.
ZHU Dewen, CHEN Yongsheng, CHEN Sanliu. The problems existing in the process of implementing agricultural development in our country and the technology needed for the research [J]. Agric Equip & Technol, 2007, 33 (1): 5 – 7.
- [2] 何芬, 马承伟. 中国设施农业发展现状与对策分析 [J]. 中国农学通报, 2007, 23 (3): 462 – 265.
HE Fen, MA Chengwei. Development and strategy of facility agriculture in China [J]. Chin Agric Sci Bull, 2007, 23 (3): 462 – 265.
- [3] 高翔, 齐新丹, 李骅. 我国设施农业的现状与发展对策分析 [J]. 安徽农业科学, 2007, 35 (11): 3453 – 3454.
GAO Xiang, QI Xindan, LI Hua. Current situation and countermeasures of facility agriculture in China [J]. J Anhui Agric Sci, 2007, 35 (11): 3453 – 3454.
- [4] 刘渝琴, 吴琳, 雷昊. 信息技术在设施农业上的应用 [J]. 种子, 2006, 25 (6): 97 – 98.
LIU Yuqin, WU Lin, LEI Hao. The application of information technology in facility agriculture [J]. Seed, 2006, 25 (6): 97 – 98.
- [5] 白泽生, 薛占海. 传感器在设施农业中的应用及其环境测控系统方案的设计 [J]. 延安大学学报: 自然科学版, 2007, 26 (1): 25 – 28.
BAI Zesheng, XUE Zhanhai. The application of sensor in facility agriculture and the design of condition test-control system scheme [J]. J Yan'an Univ Nat Sci Ed, 2007, 26 (1): 25 – 28.
- [6] 谭平, 刘建新, 梁丽, 等. 基于 RS-232 的 CAN 网络可视化监控系统设计 [J]. 计算机工程与设计, 2007, 28 (14): 3495 – 3497.
TAN Ping, LIU Jianxin, LIANG Li, et al. Visual monitoring system design for CAN network communication status based on RS-232 [J]. Comput Eng Des, 2007, 28 (14): 3495 – 3497.
- [7] 刘承, 刘向东, 李黎. RS-422 串口通信在 DSP 中的设计与应用 [J]. 工业控制计算机, 2006, 19 (3): 33 – 34, 55.
LIU Cheng, LIU Xiangdong, LI Li. Design and application of serial communication about RS-422 for DSP [J]. Ind Control Comput, 2006, 19 (3): 33 – 34, 55.
- [8] 毛德平, 凌有铸. 一种基于 RS 485 总线的温度、湿度测控系统 [J]. 现代电子技术, 2007 (2): 168 – 170.
MAO Deping, LING Youzhu. Temperature and humidity control system based on RS 485 [J]. Modern Electron Tech, 2007 (2): 168 – 170.
- [9] 李莉, 张彦娥, 汪懋华, 等. 现代通信技术在温室中的应用 [J]. 农业机械学报, 2007, 38 (2): 195 – 200.
LI Li ZHANG Yane, WANG Maohua, et al. Communication technology for sustainable greenhouse production [J]. Trans Chin Soc Agric Mach, 2007, 38 (2): 195 – 200.
- [10] 汪玉凤, 姜艳华, 吕东升. 基于 LonWorks 现场总线的分布式测温系统 [J]. 辽宁工程技术大学学报, 2006, 25 (1): 84 – 87.
WANG Yufeng, JIANG Yanhua, LU Dongsheng. Temperature measurement distributed system based on LonWorks fieldbus [J]. J Liaoning Tech Univ, 2006, 25 (1): 84 – 87.
- [11] 李楠, 周洁敏, 黄宁. CAN 总线与以太网连接方法研究 [J]. 工业控制计算机, 2007, 20 (1): 19 – 20, 34.
LI Nan, ZHOU Jiemin, HUANG Ning. Research on approach of connectivity between CAN and Ethernet [J]. Ind Control Comput, 2007, 20 (1): 19 – 20, 34.
- [12] 韩星海. 基于现场总线技术的先进控制系统 [J]. 潍坊学院学报, 2007, 7 (2): 40 – 42.
HAN Xinghai. Advanced control system based on the field-bus [J]. J Weifang Univ, 2007, 7 (2): 40 – 42.

- [13] 白云飞, 曲尔光. 现场总线的技术特点和发展趋势[J]. 机械管理开发, 2007 (1): 81–82.
BAI Yunfeng QU Erguang. Technical features and developing tendency of field-bus [J]. *Mech Manage Dev*, 2007, (1): 81–82.
- [14] 马从国, 赵德安, 秦云, 等. 基于现场总线技术的水产养殖过程智能监控系统[J]. 农业机械学报, 2007, **38** (8): 113–115, 119.
MA Congguo, ZHAO Dean, QIN Yun, et al. Intelligent monitoring and control for aquiculture process based on fieldbus [J]. *Trans Chin Soc Agric Mach*, 2007, **38** (8): 113–115, 119.
- [15] 左志宇, 毛罕平, 李俊. 基于 Internet 温室环境控制系统研究设计[J]. 农机化研究, 2003 (4): 104–107.
ZUO Zhiyu, MAO Hanping, LI Jun. Research on design of greenhouse environment control system based on Internet [J]. *J Agric Mech Res*, 2003 (4): 104–107.
- [16] 王书志, 冯全. 温室 Ethernet 智能控制器的设计[J]. 工业仪表与自动化装置, 2006 (3): 43–45, 36.
WANG Shuzhi, FENG Quan. The design of an Ethernet-based intelligent greenhouse controller [J]. *Ind Instrum & Autom*, 2006 (3): 43–45, 36.
- [17] 宋庆国, 魏振钢, 张琳. 基于以太网的分布式温湿度智能监控系统[J]. 微计算机信息, 2007 (22): 17–19.
SONG Qingguo, WEI Zhengang, ZHANG Lin. Distributed and intelligent temperature and humidity monitor system based on Ethernet [J]. *Microcomput Inf*, 2007 (22): 17–19.
- [18] SPECKMANN H, JAHNS G. Development and application of an agricultural BUS for data transfer [J]. *Comput Electron Agric*, 1999, **23** (3): 219–237.
- [19] HOFSTEE J W, GOENSE D. Simulation of a CAN-based tractor-implement Fieldbus according to DIN 9684 [J]. *J Agric Eng Res*, 1997, **68** (2): 89–100.
- [20] 高峰, 俞立, 卢尚琼, 等. 国外设施农业的现状及发展趋势[J]. 浙江林学院学报, 2009, **26** (2): 279–285.
GAO Feng, YU Li, LU Shangqiong, et al. Status quo and development trend of facility agriculture in foreign countries [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2009, **26** (2): 279–285.
- [21] 马玉泉, 王庆祝, 张丽红. 基于双 CAN 总线的农用环境参数测控仪的设计[J]. 农机化研究, 2007 (3): 81–83.
MA Yuquan, WANG Qingzhu, ZHANG Lihong, et al. Design of the agricultural environment parameters measure and control instrument based on double CAN bus [J]. *J Agric Mech Res*, 2007 (3): 81–83.
- [22] 何世均, 韩宇辉, 张弛, 等. 基于 CAN 总线的设施农业嵌入式测控系统[J]. 农业机械学报, 2004, **35** (4): 106–109.
HE Shijun, HAN Yuhui, ZHANG Chi, et al. Embedded measurement and control system of greenhouse based on CAN bus [J]. *Trans Chin Soc Agric Mach*, 2004, **35** (4): 106–109.
- [23] 陈庆文, 田作华, 刘山. 基于 Profibus 的温室控制信息管理系统[J]. 微计算机信息, 2005, **21** (11): 109–110, 143.
CHEN Qingwen, TIAN Zuohua, LIU Shan. Profibus-based greenhouse control information management system [J]. *Microcomput Inf*, 2005, **21** (11): 109–110, 143.
- [24] LIAN F L, MOYNE J R, TILBURY D M. Performance evaluation of control networks: Ethernet, ControlNet, and DeviceNet [J]. *IEEE Control Sys Mag*, 2001, **21** (1): 66–83.
- [25] 胡涛. 基于以太网的温室测控系统架构[J]. 安徽农业科学, 2005, **33** (5): 870–871.
HU Tao. Ethernet-based greenhouse monitoring system architecture [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2005, **3** (5): 870–871.
- [26] 孙涛, 刘成安, 王银玲. 基于以太网的温室控制系统设计[J]. 农机化研究, 2008 (7): 107–110.
SUN Tao, LIU Chengan, WANG Yinlin. Design of greenhouse control system based on Ethernet [J]. *J Agric Mech Res*, 2008(7): 107–110.
- [27] 张生军, 冉蜀阳, 郑建, 等. 基于 1451 协议的传统与智能传感器的即插即用 [J]. 传感技术学报, 2007, **20** (2): 354–357.
ZHANG Shengjun, RAN Shuyang, ZHENG Jian, et al. Traditional and smart transducer's plug-and-play based on the IEEE 1451 standards [J]. *Chin J Sens Actuat*, 2007, **20** (2): 354–357.
- [28] 高峰, 俞立, 张文安, 等. 基于作物水分胁迫声发射技术的无线传感器网络精量灌溉系统的初步研究[J]. 农业工程学报, 2008, **24** (1): 60–63.
GAO Feng, YU Li, ZHANG Wenan, et al. Preliminary study on precision irrigation system based on wireless sensor networks of acoustic emission technique for crop water stress [J]. *Trans CSAE*, 2008, **24** (1): 60–63.
- [29] 高峰, 俞立, 张文安, 等. 基于茎直径变化的无线传感器网络作物精量灌溉系统[J]. 农业工程学报, 2008, **24** (11): 7–12.

- GAO Feng, YU Li, ZHANG Wenan, et al. Preliminary study on crop precision irrigation system based on wireless sensor networks for stem diameter microvariation [J]. *Trans CSAE*, 2008, **24** (11): 7–12.
- [30] 赵丙镇, 宋健. HomePlug 第一届电力线通信技术会议综述[J]. 电力系统通信, 2006, **27** (4): 7–11, 27.
- ZHAO Bingzhen, SONG Jian. Summarization of the first HomePlug power line technology conference [J]. *Telecommunr Electr Power Sys*, 2006, **27** (4): 7–11, 27.
- [31] ADAMCHUK V I, HUMMEL J W, MORGAN M T, et al. On-the-go soil sensors for precision agriculture [J]. *Comput Electron Agric*, 2004, **44** (1): 71–91.
- [32] TSENG C L, JIANG J A, LEE R G, et al. Feasibility study on application of GSM – SMS technology to field data acquisition [J]. *Comput Electron Agric*, 2006, **53** (1): 45–59.
- [33] 周国祥, 周俊, 苗玉彬, 等. 基于 GSM 的数字农业远程监控系统研究与应用[J]. 农业工程学报, 2005, **21** (6): 87–91.
- ZHOU Guoxiang, ZHOU Jun, MIAO Yubin, et al. Development and application on GSM-based monitoring system for digital agriculture [J]. *Trans CSAE*, 2005, **21** (6): 87–91.
- [34] 侯海霞. 基于 GSM 网络的温室大棚控制系统设计[J]. 农业网络信息, 2007(8): 22, 29.
- HOU Haixia. Design of greenhouse control system based on GSM system [J]. *Agric Network Inf*, 2007 (8): 22, 29.
- [35] 杨化峰, 宋良图. 基于 GPRS 农田数据采集系统设计与实现[J]. 农业网络信息, 2005 (5): 10–12.
- YANG Huafeng, SONG Liangtu. Design and implementation of cropland data collecting system based on GPRS [J]. *Agric Network Inf*, 2005 (5): 10–12.
- [36] 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 Hongta, LI HongliangL, et al. A GPRS and web based data acquisition system for greenhouse environment [J]. *Trans CSAE*, 2006, **22** (6): 131–134.
- [37] 孔德峰, 汪春, 王熙, 等. 基于 GPS/GIS 的大型农用拖拉机自动导航系统[J]. 农机化研究, 2007 (3): 54–55.
- KONG Defeng, WANG Chun, WANG Xi, et al. Design of large tractor automatic guidance system base on GPS/GIS [J]. *Agric Mech Res*, 2007 (3): 54–55.
- [38] 陈胜利, 乔红波, 王红旗, 等. 基于 GIS 和 GPS 的烟田养分管理[J]. 烟草科技, 2007 (2): 58–62.
- CHEN Shengli, QIAO Hongbo, WANG Hongqi, et al. Soil nutrient management of tobacco field based on GIS and GPS [J]. *Tobacco Sci & Technol*, 2007 (2): 58–62.
- [39] MALEKI M R, MOUAZEN A M, DE KETELAERE B, et al. On-the-go variable-rate phosphorus fertilisation based on a visible and near-infrared soil sensor [J]. *Biosys Eng*, 2008, **99** (1): 35–46.
- [40] 宋文, 王兵, 周应宾, 等. 无线传感器网络技术与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2007: 230–232.
- [41] CROSSBOW. Wireless Systems for Environmental Monitoring [EB/OL]. 2009-02-18[2009-02-25] http://www.xbow.com/Industry_solutions/EnvironmentalMonitoring.aspx.
- [42] 丁飞, 张西良, 胡永光, 等. 无线传感器网络在环境监测系统中的应用[EB/OL]. 2009-02-18[2009-02-25] http://www.chuandong.com/publish/tech/application/2009/2/tech_3_16_12823.html.
- [43] 李莉, 刘刚. 基于蓝牙技术的温室环境监测系统设计[J]. 农业机械学报, 2006, **37** (10): 97–100.
- LI Li, LIU Gang. Design of greenhouse environment monitoring and controlling system based on bluetooth technology [J]. *Trans Chin Socr Agric Mach*, 2006, **37** (10): 97–100.
- [44] 杜松怀, 刘志存, 王忠义, 等. 基于红外通信的动物身份智能识别装置[J]. 中国农业大学学报, 2006, **11** (1): 80–83.
- DU Songhua, LIU Zhichun, WANG Zhongyi, et al. An animal information identification device based on infrared communication [J]. *J China Agric Univ*, 2006, **11** (1): 80–83.
- [45] 陈晓宁, 刘建国, 司福祺, 等. 基于 PWM 的红外探测器温控系统研究[J]. 激光与红外, 2007, **37** (7): 641–643.
- CHEN Xiaoning, LIU Jianguo, SI Fuqi, et al. Study of closed loop temperature control system based on pulse-width modulation [J]. *Laser & Infrared*, 2007, **37** (7): 641–643.
- [46] 李广明, 黄立平, 詹锦川, 等. RFID 在食品安全追溯中的应用[J]. 科技与管理, 2007 (1): 57–59.
- LI Guangming, HUANG Liping, ZHAN Jinchuan, et al. The application of RFID in food safety retroactivity [J]. *Technol Manage*, 2007 (1): 57–59.