

中国温室环境控制硬件系统研究进展

杜尚丰¹, 李迎霞¹, 马承伟², 陈青云³, 杨卫中^{1,4}

(1. 中国农业大学电子信息学院, 北京 100083; 2. 中国农业大学水利与土木工程学院, 北京 100083;

3. 中国农业大学农学与生物技术学院, 北京 100094; 4. 河北农业大学机电学院, 保定, 071001)

摘 要: 该文综述了国内温室控制系统模式的研究现状, 介绍了几种典型的温室控制系统模式, 指出了制约温室控制系统研究的主要问题: 成本高, 没有达到智能化的要求。该文提出了建立具有分布式结构的基于 CAN 总线的温室控制系统模式, 可以降低成本, 为解决温室控制系统智能化问题提供了有效的途径。提出未来温室控制系统的发展趋势——高层管理与控制网络化; 现场检测与控制单元的现场总线化; 温室调控系统的行业标准化。

关键词: 现场总线; 控制系统; 温室环境; 互联网控制; 标准化

中图分类号: S625.5+1

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2004)01-0007-06

0 引言

温室环境控制是在充分利用自然资源的基础上, 通过改变环境因子如温度、湿度、光照度等来获得作物生长的最佳条件, 从而达到增加作物产量、改善品质、调节生长周期、提高经济效益的目的。近几年来, 我国在温室结构和温室控制两方面开展了不少研究。国家在“九五”攻关项目中启动了有关温室设施及配套装备的研制课题; 2001 年, 国家在“十五”攻关项目中启动了“温室环境智能控制关键技术与开发”课题; 2001 年, 国家“863”计划“可控环境农业生产技术”研究内容包含研制可控环境自动控制系统、信息自动采集系统等; 2003 年国家计委启动了“设施农业技术集成产业化示范”课题; 国家自然科学基金生命科学部对设施园艺也设立了重点项目。这些都说明在设施环境中, 控制技术是相当重要的。温室控制涉及到硬件结构和控制算法等问题, 本文主要论述中国温室目前的控制(硬件)模式, 这一问题科学合理地控制温室环境的关键技术之一。

1 控制系统模式

1.1 单片机控制系统

目前, 温室控制器的结构主要是以单片机(MCU)为主控板的控制系统^[1-10, 38-43], 一般以 MCS-51 系列为基础, 采用 8 位 CPU, 从数据采样到算法控制都是由单片机完成的。其拓扑结构为集中式控制方式(图 1), 如智能温室中营养液混合系统的单片机控制^[1]。在江苏镇江示范区, 采用 MCS-51 单片机的最小系统(单片机 8031、程序存储器 2764、数据存储器 6264、锁存器 74LS373、地址译码器 74LS138 组成), 对混合液 pH 值和盐离子浓度只能进行一定范围的设定(如 pH 设定在 6.2~6.8, 盐离子浓度设定在 1.9~2.3), 如果设定精确值系统就会产生不必要的振荡。所有性能都集中在单片机上, 单片机系统一旦出现故障, 整个系统都会失控,

植物会出现伤害。总的来说该类控制方式的优点是能够全局管理, 操作简单, 价格低廉, 缺点是布线复杂, 可靠性差, 故障率高; 且信号的输入、输出一般为模拟量或开关量, 自动化程度低。由于温室控制环境噪声大, 环境恶劣, 单一的 CPU 控制系统难以达到预期的控制效果。现在已很少采用这种控制方式。

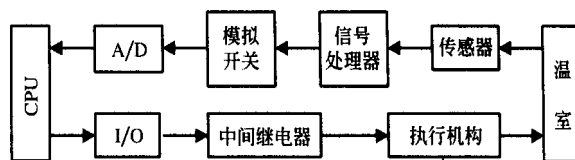


图 1 单片机控制系统结构框图

Fig 1 Flow chart of MCU control system

1.2 基于 IPC 的温室控制系统

基于工业控制机(IPC)^[11-14]的温室控制系统是由工控机、各种传感器及执行机构组成的多输入、多输出的闭环控制系统^[14]。图 2 为工控机组成的温室控制系统框图。如北京望京建立的自动化温室就是以工控机为核心的控制系统。主机选择了研华生产的控制机, 配备了各种接口板, 采集、控制和通信功能都由工控机完成, 能对温室各参数和变量进行有效控制, 采用喷雾系统能使室温下降 7℃。以工控机为核心的系统硬件开发量小, 软件组态方便, 需要的硬件及软件都能从市场买到。IPC 具有标准通信接口, 为温室的群控和网络化的实现提供了方便。其缺点是 IPC 及相应的组态软件都需要购买, 成本较高, 一般配置都需要 15 000 元左右。温室系统中的所有输入、输出功能都由 IPC 集中控制, 造成危险过于集中, 一旦工控机发生故障将会使整个系统瘫痪^[15]。同时, 布线复杂, 维护困难。

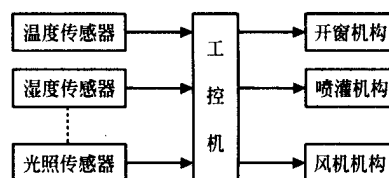


图 2 工控机组成温室控制系统框图

Fig 2 Flow chart of IPC control system

收稿日期: 2003-07-11 修订日期: 2003-10-15

基金项目: “十五”国家科技攻关项目(项目编号 2001BA 503801)

作者简介: 杜尚丰, 博士, 教授, 北京 中国农业大学电子信息学院, 100083

1.3 基于 PLC 的温室控制系统

基于 PLC (可编程逻辑控制器) 的温室控制系统^[16-18]是由上位机、PLC、数据采集单元及执行机构组成。PLC 主要用于动态、实时监测室内外环境因子的变化,根据作物生长的要求对参数进行匹配,同时完成与上位机的通信。PLC 是一种通用的自动控制装置,它将传统的继电器控制技术、计算机技术和通讯技术融为一体,具有控制能力强、操作灵活方便、可靠性高、适宜长期连续工作的特点,非常适合高效温室的控制要求^[16]。其结构如图 3 所示。在河南郑州某地温室采用以计算机和 PLC 为核心的控制系统,它由气候监控系统、灌溉系统、营养液控制系统等几部分组成。通过运行,达到了较好的效果,参数调控范围为:室内空气温度在 10~35,相对湿度为 45%~95%,CO₂ 浓度为 350~2000 $\mu\text{L/L}$,基本上达到了温、光、水、气等环境的综合调控。番茄生产周期由 7 个月延长到 10 个月,产量由 15 万 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 增加到 30 万 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。另外,PLC 不但能完成复杂的逻辑功能,还能完成复杂的运算功能。PLC 有各种组态模块功能,通过先进的现场总线技术,可实现多台 PLC、多个温室的网络化分布式控制^[16]。其上位机的功能有:介入互联网;PLC 采集数据上传的管理;设定点的下载;控制算法的优化与生成等。其缺点是投资大,一般都在 10 000 多元以上,农业用户难以接受。

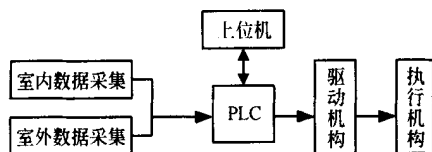


图 3 PLC 构成的温室控制系统框图

Fig 3 Greenhouse control system of PLC structure

1.4 集散型温室控制系统

集散型温室控制系统^[19-21] (Distribution control ling system: DCS), 即分布式控制系统, 它是相对于集中式控制而言的新型计算机控制系统。在系统功能方面, DCS 和集中式控制系统的区别不大, 但在系统功能的实现方法上却完全不同。集中式控制系统只需一台计算机以及有关的 I/O 设备和 CRT、键盘、打印机等外部设备即可完成系统功能, 而 DCS 则一般有四个基本部分组成, 即系统网络、现场控制站、操作员站和工程师站。在 DCS 中, 这四个站由独立的计算机组成, 它们分别完成数据采集、控制、监视、报警、记录、系统管理等功能。这些完成特定功能的计算机被称为“节点”, 这些节点通过网络连接在一起, 组成一个完整的系统, 以此来实现分散控制、集中管理、集中监视的目标。

这种控制模式成本太高, 成套的 DCS 系统需要 10 万元左右, 农业用户难以接受。为此开发部门在原来分布式控制系统的框架下, 用廉价的单片机作为现场控制器, 工程师站和操作员站用一台 PC 机代替, 从而大大降低了成本。其结构如图 4 所示。如江苏理工大学研制的智能温室集散控制系统^[19], 控制系统是由 1 台 BM-

PC586 机为上位机, 3 台 MCS-51 单片机为现场控制器组成 DCS 系统, 只需 1 万元左右。现场控制器完成数据采集、测控等, 同时通过串行通信接口将数据送到 PC 机, PC 机主要完成数据管理、智能决策、数据统计分析等。这样在现场控制器发生故障及现场控制器与 PC 机相连的通信线路发生故障时不会影响其他现场控制器的正常工作, 系统的可靠性高。PC 机的管理功能被多台现场控制站共享, 节省了成本, 提高设备利用率^[19], 有利于温室群控。但该系统没有组态能力, 不满足智能化的要求。

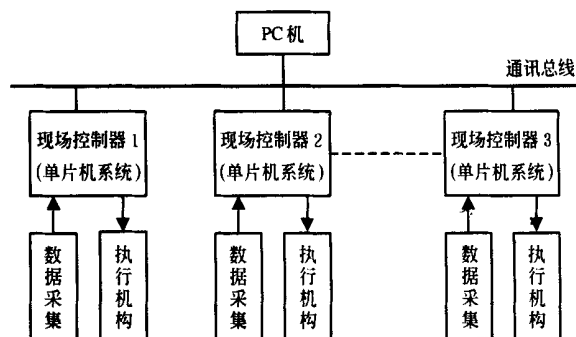


图 4 温室 DCS 系统结构

Fig 4 Model of greenhouse DCS

1.5 嵌入式 Linux 系统

嵌入式 Linux 系统^[22,44]目前在温室控制系统中尚不多见。采用嵌入式 Linux 旨在提高温室系统网络支持、并发处理及功能升级能力,降低系统开发难度,满足温室计算机控制系统日益复杂化的需要,该方法可行的^[22]。温室计算机控制系统需要长时间连续运行,大部分节点分布在不同的地方,要求功耗低、体积小、抗干扰能力高。采用 PC 系列模块能满足上述要求,标准模块体积一般 90 mm × 96 mm, + 5V 供电,最大电流 1A,具有标准接口,易于扩展升级。软件平台采用 Linux 系统,优点在于:多任务系统:在温室系统中,大多数环境因子变化缓慢,如温度、湿度滞后较明显,对实时性要求不高,这样 Linux 系统可以同时处理多个下位节点发送来的较为复杂任务,如预测控制、神经网络控制等,提高系统响应并发处理能力;丰富的网络支持:由于温室节点分散给调试和管理带来不便,Linux 内核支持 TCP/IP、IPX/PX 等多种协议,便于实施高层网络应用;Linux 系统类似于图形化窗口,操作简便;Linux 系统所有源代码对外开放,使整体开发及维护费用降低。随着温室计算机控制系统日益复杂化、网络化,该系统有较好的应用前景。

2 温室智能化控制新模式——现场总线控制系统(FCS)

温室控制系统是一个复杂的系统,它要求对室内外各种参数进行自动监测、信息处理、实时控制、在线优化。传统的集中控制难以完成复杂的运算功能,不能给作物提供最佳的生长环境。

现场总线是在智能化测控设备之间实现双向、数字

式、多节点的串行通信技术,也称为现场底层控制网络。现场总线将传感测量、补偿运算、工程量处理与控制等功能分散到现场设备中完成,仅靠现场设备即可完成自动控制的基本功能,并可随时诊断设备的运行状态;现场总线从根本上改变了DCS集中与分散相结合的集散控制体系,简化了系统结构,真正构成了一种全分散的体系结构。另外,它具有协议简单、容错能力强、实时性高、成本低等特点。目前被广泛应用于温室控制系统中,而选择合适的总线类型是非常重要的。

2 1 基于 RS-485 的温室现场总线控制模式

RS-485 总线^[2, 15, 20, 21, 31-36, 46-54]属于 BITBUS 总线,传输距离约为 1 200 m,传输速度达 76 8 kbps,多达 30 个节点并行连网。如温室环境集散控制系统中现场控制器的设计与开发^[21],采用了 RS-485 总线做现场总线,可通过 RS-485 总线与远端的气象站通讯,来获得室内外温度、湿度及室外光照、雨量、风速、风向等参量,还可与其他控制器及上位机进行通讯,构成更大范围的温室环境自动控制系统。2001 年,国家在“十五”攻关项目中启动了“温室环境智能控制关键技术研究与开发”课题中,在中国农业大学东区与顺义示范区合作采用 RS-485 总线做现场总线的温室控制系统,经两年的运行和测试,达到了预期的效果,现已面向市场推广。RS-485 是主从节点工作方式,各个现场控制器之间的通讯靠单主机完成,难以实现各节点之间的数据交换,而且 RS-485 总线是半双工的,在实时性要求较高的场合和多主机通信时有一定难度。但温室控制系统是一个大滞后系统,采样时间较长,对实时性要求不是非常严格。因此采用 RS-485 组成现场总线控制系统是可行的。而且 RS-485 价格低廉,维护方便,已被普遍采用(原则上它不属于国际公认的现场总线)。

2 2 基于 CAN 总线^[23, 24, 27, 55]的温室现场总线控制模式

目前 CAN 总线在工业控制中已得到广泛应用,如工业自动化、环境控制设备、交通工具、医疗仪器以及建筑等领域。CAN 总线是德国 Bosch 公司从 20 世纪 80 年代初为解决现代汽车中众多的控制与测试仪之间的数据交换而开发的一种串行数据通信协议,它是一种有效支持分布式控制或实时控制的串行通信网络。CAN 的应用范围遍及从高速网络到低成本的多线路网络;在自动化电子领域的汽车发动机控制部件、传感器、抗滑系统等应用中,CAN 的位速率可高达 1 M bps。由于 CAN 总线具有通信速率高、可靠性高、连接方便和性能价格比高等诸多特点,其应用开发迅速,促使使用 CAN 器件开发产品的生产,如华控、三兴达电子公司生产的 CAN 器件技术成熟,达到了 ISO 标准,性价比高。而 CAN 在农业环境中的应用还非常少。温室是一个复杂的控制系统,以前的控制模式是集中方式,要完成复杂的控制算法运算及实时控制,有一定的难度。而 CAN 总线的出现恰好解决了这个问题。CAN 总线是一种有效支持分布式控制和实时控制的串行通信网络的总线,基本的 CAN 现场总线控制系统方案如图 5 所示。其特

点如下:

CAN 为多主方式工作,网络上任一节点均可在任意时刻主动地向网络上其他节点发送信息,而不分主从,通信方式灵活,且无需占地址等节点信息。利用这一特点可方便地构成多机备份系统。

CAN 网络上的节点信息分成不同的优先级,可满足不同的实时要求,高优先级的数据最多可在 134 μ S 内得到传输。

CAN 采用非破坏性基于优先权的总线仲裁技术。

CAN 借助报文滤波即可实现点对点、一点对多点及全局广播等几种方式传送接受数据,无需专门的“调度”。

CAN 的直接通讯距离最远可达 10 km (速率 5 kbps 以下);通信速率最高可达 1 M bps (此时通信距离最长为 40 m)。

CAN 采用短帧结构,传输时间短。受干扰概率低,具有极好的检错效果。

CAN 的每帧信息都有 CRC 校验及其他检错措施,保证数据出错率低。

CAN 的通信介质为双绞线、同轴电缆和光纤,选择灵活。

CAN 节点在错误严重的情况下具有自动退出总线功能。

测控单元之间的高速、可靠的数据通讯是分布式控制系统的关键。基于 RS-485 总线的模式由于通讯波特率低,可靠性较差,已不能满足温室控制的要求。正是由于 CAN 总线有可靠性高、波特率高等特点,给温室智能控制技术带来方便。采用 CAN 总线技术可解决温室多因子的综合调控问题,CAN 网络上的多主节点通信方式,解决了 BITBUS 中一直困扰研究人员的各节点无法相互交换数据的问题。CAN 网络节点的信息帧可分出优先级,这给有实时性要求的用户提供了方便,这也是 BITBUS 无法比拟的;CAN 的物理层及链路层采用独特的设计技术,使其在抗干扰、容错能力等方面有进一步提高。此外,CAN 总线具有组网能力,可以实现群控和远程控制。因此基于 CAN 总线技术的控制系统是使温室向智能化发展的理想系统。

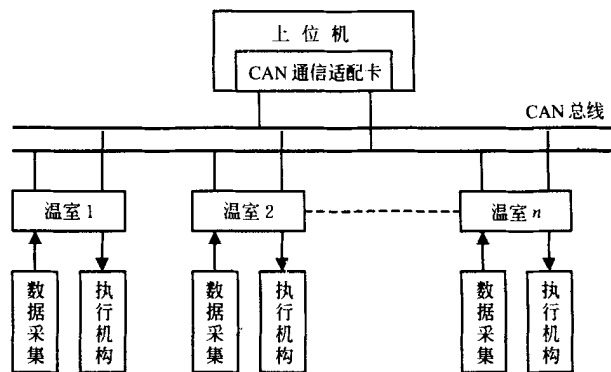


图 5 CAN 总线控制系统框图

Fig 5 CAN bus system structure

2 3 基于 CAN 总线测控系统智能节点的开发

目前在基于 CAN 总线的工业控制系统中,节点与

上位机的通信都采用 CAN 通信适配卡。而 CAN 通信适配卡价格昂贵, 农业用户难以接受。因此在“十五”攻关项目“温室环境智能控制关键技术研究及开发”的课题中, 提出基于 CAN 现场总线温室智能控制系统模式^[25], 采用单片机系统开发了 CAN 智能节点, CAN 智能节点主要由主控制器、CAN 控制器和 CAN 收发器组成(本课题分别选用 89C52、SJA 1000 和 82C250)。智能节点的结构如图 6 所示。此节点除了作为一般的输入输出外, 节点还带有 232 和 485 接口, 可以代替 CAN 通信适配卡与上位机通信, 该节点开发成本低, 抗干扰性强, 有良好的应用前景。另外节点还带有模数转换器 ADC0832, 可以直接输入模拟量。

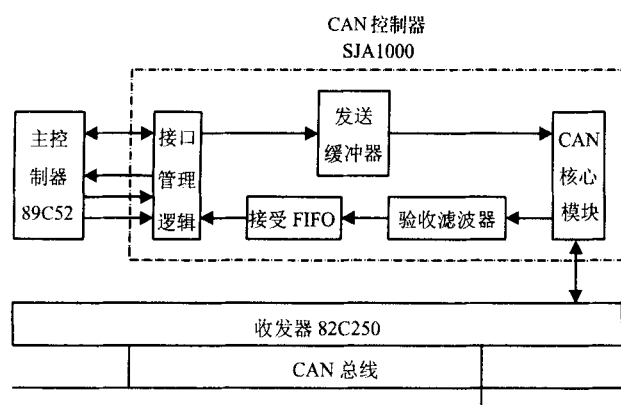


图 6 智能节点框图

Fig 6 Structure of intelligent node

3 未来温室控制硬件系统的发展趋势

3.1 基于互连网(指 Internet)网络的远程控制

随着计算机技术和网络技术的迅速发展, 基于网络的温室控制系统是必然的发展趋势。网络业务不再限于单纯的数据业务, 而包括数据、语音、图像的多媒体业务。可以将计算机和温室控制网组成有线网络和无线网络系统。有线网络系统可以将多台计算机进行集中管理, 通过 Internet 可对温室环境因子进行监测^[28], 使有关人员及时了解温室内环境参数的情况, 及时做出决策, 可以组织国内外专家对小气候环境因子进行远程精确会诊, 提出最适宜温室植物生长的环境。对于温室数量多、地点分散的大农场可以使用专用配线形成设施农业专用的网络系统进行集中管理, 还可以用电话、电脑等设备进行异地管理^[26, 37, 45]。由于有线网络布线复杂, 租用专线成本昂贵, 而无线网络恰好弥补了有线网络的不足, 安装时间短, 增加用户和更改网络结构时灵活, 可以移动办公等特点。这样可以利用笔记本、手机等随时随地对温室的管理系统进行控制。总之, 现代温室正向着自动化、智能化、多媒体化与网络化方向发展。

3.2 基于现场总线技术控制系统

目前我国自行开发的温室硬件系统, 除文献^[25]所叙述的, 其他的所谓基于 RS-485 总线的控制系统不属于国际现场总线规范, 因为到目前为止, 仍然没有摆脱电器柜, 既然存在电器柜, 此系统必属于集中控制范畴。即便在数据获取单元采用了 RS-485 总线, 集中控制的

本性没有改变。

由于信息化的进程加快带动了工业化进程, 工业界已经推出了满足国际现场总线标准的产品。如基于 Lonworks 协议的测控设备, 基于 FF 协议的测控设备。基于现场总线技术的设备研制与开发是目前工业领域的热点, 温室环境控制设备, 作为一种控制设备与工业界也是相通的, 只不过要考虑农业工程行业的特殊性, 选择一种合适的现场总线是必要的^[55], 包括控制器、执行器、传感器等的研制要基于国际现场总线标准。只有这样才能实现温室环境调控的智能化^[56], 网络化。

3.3 温室控制硬件系统标准的制定

从目前的研究情况来看, 我国温室控制系统的研究已有很大的进步。但温室结构千差万别, 控制器、传感器没有相应的配套设备, 执行机构各不相同, 对于控制系统的优劣缺乏横向可比性。未来几年内, 必须使温室系统中各个部件标准化、数字化, 从而达到智能化的要求。对于温室控制系统而言, 需要解决的问题主要有以下几个方面。

1) 控制器的标准化、数字化。控制器是温室控制系统中的核心部件, 完成控制器的标准化、数字化, 才能对信息实时采集、分时存储、准确地对环境因子参数进行调控。

2) 传感器的标准化、数字化。传感器是温室环境因子测控的重要器件, 它获得信息的准确与否直接关系到整个系统的测量精度和控制精度, 由于测控参数多(如温度、湿度、光照度等), 选配传感器的范围广, 没有统一的标准。因此, 必须从精度、可靠性方面综合考虑, 制定统一的标准, 选择合理的数字化的智能传感器。

3) 执行机构的标准化、数字化。执行机构主要是对温室内温度、湿度、光照度及土壤水分等因子进行控制的控制电路和设备。如天窗、风机、遮阳网的开关等。目前所有设备均采用开关量, 很难达到系统的实时性、可靠性。因此, 开发标准化、数字化的执行装置也是提高控制质量的重要因素。

4) 控制装置的网络化。由于温室调控任务多, 中断可能得不到实时响应, 从而造成系统工作的拥塞, 降低系统整体的信息流量, 影响系统的动态品质。为此, 必须对各个控制装置开发标准的网络通信接口及相应的智能节点, 实现各节点相互通讯, 数据共享, 实时任务调度, 解决数据拥塞问题, 实现对智能温室调控设备的远距离遥控。

4 目前我国温室环境控制硬件系统必须解决的问题

- 1) 构建基于互联网控制的整体框架体系;
- 2) 研制基于互联网的控制硬件系统: 各种介入互联网的设备, 如电话、手机、电脑等设备;
- 3) 研制具有网络节点功能的控制器;
- 4) 研制支持温室控制系统的具有现场总线标准的各种执行机构;
- 5) 研制支持温室控制系统的具有现场总线标准的

传感器;

6) 研究生物信息获取方法, 为温室精细调控提供科学依据。如基于视觉技术探测生物信息^[29, 30, 57, 58], 用红外技术探测作物叶面温度满足植物生长的需求 (SPA); 将植物电信号作为生理反馈信息, 建立植物电位与环境因子的定量关系^[59-62]; 利用多光谱反射原理探测植物生长状况, 如植物的水需求状况; 植物的营养需求状况; 植物的病虫害状况; 植物的生长状况等。研制温室专用传感器, 解决温室特殊的环境 (如高温、酸、碱等条件) 下的传感器失真的问题, 如目前正在研制的非接触性红外温度传感器, 等离子场效应管传感器等。

5 结 论

本文回顾了近几年来我国温室控制系统硬件模式, 提出了未来发展趋势。从以上的阐述中及文献^[63, 64], 不难看出温室系统的控制模式对其系统的性能、投入经费及能否给作物提供一个合理的生长环境起着重要作用。作者认为在“温室环境智能控制关键技术研究及开发”中, 选择合适的控制硬件模式是至关重要的, 并为此提出基于现场总线温室智能控制系统模式, 并开发了相应的智能节点。实践证明, 该系统具有开发周期短、维护方便、成本低、可靠性高等优点, 有较好的应用前景; 为未来实现温室调控的智能化、网络化、标准化奠定了基础。

[参 考 文 献]

[1] 许维胜, 岳继光, 徐立鸿 智能温室中营养液混合系统的单片机控制[J]. 自动化与仪表, 2000, 15(1): 45- 46

[2] 张亦斌, 丛福建, 田梦倩, 等 智能温室系统控制器的开发[J]. 南京农专学报, 2001, 17(2): 52- 55

[3] 余泳昌, 胡建东, 毛鹏军 现代化温室环境参数的模糊控制[J]. 农业工程学报, 2002, 18(2): 72- 75

[4] 张瑞华 温室环境自动监控[J]. 计算机与农业, 2002, (2): 8- 10

[5] 陈正勇, 徐 勤, 方卫山 温室环境微机监控管理系统设计[J]. 粮油加工与食品机械, 2000, (4): 11- 14

[6] 汪小岳, 丁为民 温室环境控制技术探讨[J]. 农机化研究, 2000, (4): 41- 45

[7] 刘庆玉, 付立思, 赵 玲, 等 温室环境自动控制系统的研究[J]. 农村能源, 1998, (2): 15- 17

[8] 范飞翔 智能型温室控制器的研究开发[J]. 农业工程学报, 1997, 13(增刊): 258- 261

[9] 纪建伟 微型计算机温室环境监控系统的设计[J]. 沈阳农业大学学报, 2001, 32(2): 54- 56

[10] 任振辉, 张 青, 范永海, 等 便携式温室环境参数测量仪的研制[J]. 河北农业大学学报, 2001, 24(3): 72- 75

[11] 汪小岳, 丁为民 温室环境计算机控制系统设计[J]. 农机化研究, 2001, (4): 49- 51

[12] 李萍萍, 毛罕平, 谢明岗, 等 温室环境控制系统及技术效果分析[J]. 江苏理工大学学报, 1998, 19(4): 19- 22

[13] 马明建, 汪遵元, 郭志东, 等 多媒体温室环境测控系统的设计及应用[J]. 农机化研究, 2000, (4): 79- 82

[14] 金 钰 工业控制计算机在自动化温室控制中的应用

[J]. 工业控制计算机, 2000, 13(1): 16- 18

[15] 谈跃晔, 吴军辉, 徐立鸿 基于 RTOS 的单片机系统在温室环境控制中的应用[J]. 农业工程学报, 2001, 17(5): 99- 101

[16] 何世钧, 张 路, 张 弛, 等 智能温室自动控制系统的的设计与应用[J]. 河南农业大学学报, 2000, 34(4): 399- 401

[17] 张 路, 何世钧, 徐军峰, 等 工控组态软件在智能温室控制系统中的应用[J]. 基础自动化, 2000, 7(2): 55- 59

[18] 何世钧, 徐军峰, 张 路 可编程控制器在智能化温室系统中的应用[J]. 基础自动化, 2000, 7(4): 53- 54

[19] 朱伟兴, 毛罕平, 李萍萍, 等 智能温室群集散控制系统设计研究[J]. 农业工程学报, 1999, 15(4): 163- 166

[20] 龙庆华 智能温室计算机自动监控系统[J]. 华南师范大学学报, 2002, (1): 5- 8

[21] 谈跃晔 温室环境集散控制系统中现场控制器的设计与开发[J]. 自动化与仪表, 2001, 16(5): 45- 46

[22] 张圣荣, 张倪谕 嵌入式 Linux 系统在温室计算机控制中应用[J]. 应用技术, 2002, 2: 22- 24

[23] 周宝龙, 岳继光, 萧蕴诗 基于 CAN 控制器的单片机农业温室控制系统设计[J]. 测控技术, 2000, 19(12): 19- 21

[24] 何世钧, 王化祥, 韩宇辉, 等 基于 CAN 总线的农业专用智能光强度传感器[J]. 红外技术, 2003, 25(1): 82- 87

[25] 董健康 基于 CAN 总线测控系统智能节点的开发[D]. 中国农业大学硕士论文, 2003, 3

[26] 顾寄南, 毛罕平 国内外设施栽培综合环境控制技术及其发展[J]. 农业现代化研究, 1999, 20(3).

[27] 刘 军, 张侃谕 CAN 总线技术在温室计算机控制系统中的应用[J]. 自动化仪表, 2002, 23(11): 53- 56

[28] 尹学举, 李萍萍 基于 CORBA 的远程控制及实现[J]. 计算机工程, 2003, 29(2): 78- 80

[29] 滕光辉, 李长纭 计算机视觉技术在工厂化农业中的应用[J]. 中国农业大学学报, 2002, 7(2): 62- 67

[30] 李长纭, 滕光辉, 赵春江, 等 利用计算机视觉技术实现对温室植物生长的无损监测[J]. 农业工程学报, 2003, 19(3): 140- 143

[31] 包广清, 骆东松, 毛开富 农业种植大棚计算机集散控制系统研究[J]. 工业控制计算机, 2002, 15(2): 31- 33

[32] 李仕华, 王志松 温室环境参量智能测控系统[J]. 机电一体化, 2003, 3: 50- 52

[33] 何 鹏 温室环境控制技术发展与应用[J]. 传感器世界, 2002, 2

[34] 张瑞华 温室环境自动监控[J]. 计算机与农业, 2002, 2: 8- 10

[35] 汪永斌, 吕 昂, 孙荣高, 等 温室群全数字式温度和湿度综合控制系统[J]. 农业机械学报, 2002, 33(5).

[36] 李医民, 胡寿松, 李 莉 温室系统生态位智能控制方法研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(6): 103- 106

[37] 强 子 西班牙可遥控管理温室作物[J]. 农村新技术, 2002, 11: 11

[38] 余泳昌, 胡建东, 毛鹏军 现代化温室环境参数的模糊控制[J]. 农业工程学报, 2002, 18(2): 72- 74

[39] 刘德晶 现代温室自动控制设备选型要点[J]. 温室园艺, 2003, 4: 30

[40] 李志伟, 王双喜, 高昌珍, 等 以温度为主控参数的日光温室综合环境控制系统的研制与应用[J]. 农业工程学报, 2002, 18(3): 68- 71

- [41] 聂毅, 聂晖. 植物温室单片机控制系统[J]. 微型计算机, 2002, 18(8): 36- 38
- [42] 姚斌, 季宏峰, 徐立鸿. 串行通信在温室控制中的应用[J]. 计算机应用, 2003, 2: 52- 55
- [43] 马云峰. 基于单总线技术的农业温室控制系统设计[J]. 微型机与应用, 2002, 3: 13- 15
- [44] 张远, 罗大庸, 揭屿. 基于信息融合技术和DSP实现的温湿度控制系统设计[J]. 湘潭大学自然科学学报, 2002, 24(2): 76- 79
- [45] 柳桂国, 应义斌. 蓝牙技术在温室环境检测与控制系统中的应用[J]. 浙江大学学报, 2003, 29(3): 329- 334
- [46] 渊冤. 农业园艺温室的智能化控制系统[J]. 中国农业信息, 2003, 3: 40
- [47] 杨枢, 葛继忠, 赵世付. 棚室环境智能控制系统的研究[J]. 安徽农业科学, 2002, 30(1): 7- 10
- [48] 裘正军, 宋慧芝, 何勇, 等. 温室环境微机测控系统的研制[J]. 浙江大学学报, 2002, 28(5): 547- 550
- [49] 高建平, 赵龙庆. 温室计算机控制与管理技术的发展概况及在我国的应用前景[J]. 计算机与农业, 2003, 2: 12- 15
- [50] 海业, 马成林, 陈晓光. 发达国家温室设施自动化研究的现状[J]. 农业工程学报, 1997, 13(增): 253- 257
- [51] 何黎明, 饶家明, 田作华. 基于现场总线的温室分布式控制系统[J]. 计算机工程, 2002, 28(4): 222- 223
- [52] 周增产, 胡晓斌, 齐文新, 等. 分布式智能型温室计算机控制系统的一种设计与实现[J]. 计算机与农业, 2002, 8: 5 - 8
- [53] 董乔雪, 王一鸣. 温室计算机分布式自动控制系统的开发[J]. 农业工程学报, 2002, 18(4): 94- 97
- [54] 滕光辉, 李长缨. 分布式网络控制—实现温室环境调控自动化的一种新方案[J]. 农业工程学报, 2002, 18(5): 118 - 122
- [55] 王定成, 方廷健, 马永军. 现场总线与温室智能控制的设计方案[J]. 农业工程学报, 2002, 18(6): 115- 117
- [56] 乔晓军, 沈佐锐, 陈青云, 等. 农业设施环境通用监控系统的设计与实现[J]. 农业工程学报, 2000, 16(3): 77- 80
- [57] 毛罕平, 徐贵力, 李萍萍. 基于计算机视觉的番茄营养元素亏缺的识别[J]. 农业机械学报, 2003, 34(2): 73- 75
- [58] 徐贵力, 毛罕平, 李萍萍. 差分百分率直方图法提取缺素叶片纹理特征[J]. 农业机械学报, 2003, 34(2): 76- 79
- [59] 王忠义, 陈端生, 黄岚. 利用人工神经网络建立植物电信号与环境因子关系[J]. 农业工程学报, 2001, 17(3): 142- 145
- [60] 王忠义, 陈端生, 黄岚. 温室植物生理指标监测及应用研究[J]. 农业工程学报, 2000, 16(2): 101- 104
- [61] 冷强, 黄岚, 花宝光, 等. 环境因素引起植物表面电位的小波分析[J]. 生物物理学报, 1998, 14(1): 140- 144
- [62] 冷强, 黄岚, 花宝光, 等. 植物叶片局部与气孔行为的灰色关联分析[J]. 科学通报, 1998, 43(10): 1083- 1086
- [63] 陈端生. 中国节能日光温室建设与环境研究进展[J]. 农业工程学报, 1993, 9(1), 123- 124
- [64] 王松涛, 冯广和, 陈端生, 等. 论我国设施园艺建设的宏观管理[J]. 农业工程学报, 1999, 15(1): 153- 158

Current situation on greenhouse environment control system modes in China

Du Shangfeng¹, Li Yingxia¹, Ma Chengwei², Chen Qingyun³, Yang Weizhong^{1,4}

(1. College of Electronic Information, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

2. College of Hydraulic and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

3. College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100094, China;

4. College of Mechanical and Electrical Engineering, Agricultural University Hebei, Baoding 071001, China)

Abstract: The advances of the greenhouse control system modes were discussed, and several typical greenhouse control system modes were introduced in this paper. The main problems restricting the application of the greenhouse control systems are their high cost and low intelligence due to the hardware topology frameworks of greenhouse control systems. The idea of distributed structure of greenhouse control mode based on CAN bus could decrease cost and also provide a valid way to solve its intelligent problem. At the same time, the development status in the future was given including internet-based control and management, fieldbus-based monitoring sensors and control actuators, and the standardization of control systems in greenhouse production.

Key words: fieldbus; control system; greenhouse environment; internet-based control; standardization