

现代设施园艺装备与技术丛书

温室物联网系统 设计与应用

王纪章 李萍萍 张西良 著



科学出版社

现代设施园艺装备与技术丛书

温室物联网系统设计与应用

王纪章 李萍萍 张西良 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系统地介绍物联网技术在温室环境监测中的设计与应用的关键技术。书中分析温室环境测控系统的发展历程;介绍无线传感器网络结构模型的构建和三层次温室环境测控无线传感网络的开发过程、2.4GHz 无线电波在温室大棚中的传播特性与基于事件驱动和数据融合的数据传输模型、面向温室环境测控的智能网关、数据同步和通用管理系统开发过程,以及基于温室环境时空特性的温室环境测控系统故障识别和诊断技术与方法。其研究结果可以为温室环境测控物联网的部署、设计和应用提供理论基础和技术支撑。

本书可作为农业工程、设施园艺和物联网工程等专业技术人员和科研工作者的参考用书,也可作为大专院校、科研单位相关专业本科生及研究生的课外读物。

图书在版编目(CIP)数据

温室物联网系统设计与应用/王纪章,李萍萍,张西良著. —北京:科学出版社, 2018.11

(现代设施园艺装备与技术丛书)

ISBN 978-7-03-059301-6

I. ①温… II. ①王… ②李… ③张… III. ①互联网络-应用-温室-研究 ②智能技术-应用-温室-研究 IV. ①S625-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018) 第 251025 号

责任编辑:惠 雪 沈 旭/责任校对:彭 涛

责任印制:张克忠/封面设计:许 瑞

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京通州皇家印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 11 月第 一 版 开本:720 × 1000 1/16

2018 年 11 月第一次印刷 印张:15

字数:300 000

定价:129.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《现代设施园艺装备与技术丛书》编辑委员会

主 编：李萍萍

委 员：（按姓氏笔画排序）

王纪章 毛罕平 付为国 朱咏莉

刘继展 李萍萍 李智国 张西良

周宏平 胡永光 赵青松 郭世荣

蒋雪松

丛 书 序

近 40 年来,我国设施园艺发展迅猛,成就巨大,目前已成为全球设施园艺生产最大的国家。设施园艺产业的发展,不仅极大地丰富了我国城乡人民的“菜篮子”,摆脱了千百年来冬季南方地区只有绿叶菜、北方地区只有耐贮蔬菜供应的困境,而且也充分利用了农业资源和自然光热资源,促进了农民增收,增加了就业岗位。可以说设施园艺产业是一个一举多得的产业,是人们摆脱自然环境和传统生产方式束缚,实现高产、优质、高效、安全、全季节生产的重要方式。设施园艺对于具有近 14 亿人口的中国来说必不可少。

然而,由于设施园艺是一个集工程、环境、信息、材料、生物、园艺、植保、土壤等多学科科学技术于一体的技术集合体,也就是设施园艺产业的发展水平取决于这些学科的科学技术发展水平,而我国在这些学科的许多领域仍落后于部分发达国家,因此我国设施园艺产业的发展水平与部分发达国家相比还有很大差距,距离设施园艺现代化还相差甚远。缩小这一差距并赶上和超过发达国家设施园艺产业发展水平是今后一段时期内的重要任务。要完成好这一重任,必须联合多学科的科技人员协同攻关,以实现设施园艺产业发展水平的大幅度提升,加快推进设施园艺的现代化。

自 20 世纪 90 年代起,李萍萍教授就以江苏大学特色重点学科——农业工程学科为依托,利用综合性大学的多学科优势,组建了一个集园艺学、生物学、生态学、环境科学、农业机械学、信息技术、测控技术等多个学科领域于一体的科技创新团队,在设施园艺装备与技术的诸多领域开展了创新性研究,取得了一系列研究成果。一是以废弃物为原料研制出园艺植物栽培基质,并开发出基质实时检测技术与设备;二是研制出温室环境调控技术及物联网在温室环境测控中的应用技术;三是深入分析温室种植业的生态经济,研究建立温室作物与环境的模拟模型;四是明确设施果菜的力学特性,研制出采摘机器人快速无损作业技术,并研发果蔬立柱和高架栽培的相应机械化作业装备;五是研制出茶果园防霜技术和智能化防霜装备以及田间作业管理中的智能化装备。这些研究成果,无不体现了多学科的交叉融合,已经完全超越了传统意义上的“农机与农艺结合”。近年来,她又利用南京林业大学大生态、大环境的办学特色和优势,在设施园艺精准施药技术与装备、设施土壤物理消毒技术与装备等领域开展了多校协同的创新性研究。这些研究不仅体现了李萍萍教授的科技创新能力,也充分体现了她的组织协调能力和团结协作精神。这些创新成果已与许多生产应用企业合作,通过技术熟化和成果转化后,开展了大

规模的推广应用,其中基质配制与栽培模式、温室环境检测控制、清洁生产技术、自动生产作业的完整技术链,已成为设施园艺工程领域的样板。

为深入总结上述研究成果,李萍萍教授组织她的科技创新团队成员编著了一套《现代设施园艺装备与技术丛书》,丛书共包括《园艺植物有机栽培基质的开发与应用》《温室作物模拟与环境调控》《温室物联网系统设计与应用》《设施土壤物理消毒技术与装备》《番茄采摘机器人快速无损作业研究》《温室垂直栽培自动作业装备与技术》《果园田间作业智能化装备与技术》《茶果园机械化防霜技术与装备》八部。这套丛书既体现了设施园艺领域理论与方法上的研究成果,又体现了应用技术和装备方面的研发成果,其中的一些研究成果已在学术界和产业界产生了较大影响,可以说,这套丛书是李萍萍教授带领团队 20 余年不懈努力工作的结晶。相信这套丛书的问世,将成为广大设施园艺及其相关领域的科技工作者和生产者的重要参考书,也将对促进我国设施园艺产业的技术进步发挥积极的推动作用。

这套丛书问世之际,我受作者之约,很荣幸为丛书作序。说实话,丛书中的有些部分对我来说也是学习,本无资格为其作序。但无奈作者是我多年朋友,她多年来带领团队努力拼搏开展设施园艺生产技术创新研究令我钦佩,所以当她说让我作序之时,我欣然接受了。写了上述不一定准确的话,敬请批评指正。



中国工程院院士

2017 年 9 月

序

物联网技术是通过各种信息传感设备,按约定的协议,将任何物品与互联网相连接,进行信息交换和通信,以实现智能化识别、定位、追踪、监控和管理的一种网络技术。近十年来,随着物联网技术快速发展,特别是应用成本的大幅度降低,物联网技术在农业中得到广泛应用。

设施农业是我国重要的一种农业生产类型,目前总面积为世界第一,在我国农业生产中占有重要地位。设施农业是通过人为设施以实现作物(动物)生长发育所需最佳环境的一种农业,需要解决最佳环境控制和精细管理的问题,是物联网技术农业应用需求最突出的一个领域。通过物联网技术的传感监测、数据采集、数据传输、智能分析决策和自动化控制,可以实现温室生产过程的全程智能化管控,从而实现设施农业生产高产、优质、低耗、高效。

该书是江苏大学王纪章博士及其团队在我国农业工程领域的老一辈专家指导下,协同李萍萍教授团队共同努力,经过近十年的研究所取得的成果。全书围绕物联网技术在温室环境测控中的应用问题,系统分析了温室环境测控无线传感器网络的体系结构、无线电波的传播和传输特性,开发了面向温室环境测控的智能网关、数据同步和通用管理平台,提出了基于温室环境时空特性的物联网测控系统故障识别和诊断方法。

设施农业温室物联网是信息科学技术与农业的交叉学科方向,该书作者是一位很有造诣的青年专家,其敢于探索的精神值得鼓励。书中所介绍的科研成果对从事温室环境测控系统设计、部署和应用的研发、教学和应用人员有很高的参考价值。



中国工程院 院士

国家农业信息化工程技术研究中心 主任、研究员

2018 年 9 月 22 日

前 言

自 2009 年时任国务院总理温家宝视察无锡时提出“感知中国”之后，物联网技术在中国得到了快速发展。国家《物联网“十二五”发展规划》中将智能农业作为 9 大重点应用领域，其中“农业生产精细化管理、生产养殖环境监控”作为一个重要内容。同时设施农业技术在我国得到了快速的发展，特别是现代化温室技术的发展也对温室环境智能测控技术的发展提出了新的需求。正是因为物联网技术和设施农业产业的发展，作为两者的交叉，我们课题组开展了温室物联网系统设计与应用研究工作。

我于 2002 年开始师从李萍萍老师从事设施农业环境调控技术的研究工作，张西良教授从 2006 年开始从事无线传感器网络在农业中的应用研究工作。2010 年，我们课题组结合前期在温室环境调控和无线传感器应用相关研究的基础，开展基于物联网的温室环境调控技术的研究工作，并与镇江江大科茂信息系统有限责任公司（现江苏科茂信息系统有限公司）、南京农业大学联合申报江苏省科技支撑计划项目并获江苏省科技厅立项。2011 年 1 月，中国农业大学汪懋华院士来江苏大学参加现代农业装备技术省部共建教育部重点实验室验收时，李萍萍教授向汪院士汇报我们课题组正在从事温室物联网系统的研究工作，汪院士指出我们具有很好的温室环境智能调控的研究基础，开展物联网技术的应用研究也应该结合我们的特色，开展物联网技术如何在温室中的应用研究。正是在汪院士的指导下，我们先后开展了温室无线传感器网络部署优化、温室无线传感器网络通信性能研究、温室物联网通用系统开发以及温室环境测控无线传感器网络故障诊断等研究工作，为温室物联网系统的设计、部署和应用提供了良好的基础。课题组先后获得了国家星火计划项目、中国博士后科学基金、江苏省博士后科学基金、江苏省产学研联合创新资金前瞻性联合研究项目、江苏省农业科技支撑计划项目、江苏省重点研发计划（现代农业）项目、江苏省农业科技自主创新资金项目、江苏省高校自然科学基金重大项目等的支持。

本研究相关工作是在李萍萍教授和张西良教授领导的团队协同合作下完成的，我只是开展了相关研究工作，但是两位教授高风亮节，让我作为第一著作者整理本书，在此对两位教授表示最衷心的感谢。在研究过程中，课题组张卫华、彭玉礼、陈美镇、周金生等研究生在项目研究过程中开展了大量的试验研究和系统开发工作，江苏科茂信息系统有限公司盛平总经理、刘晓梅主任及公司工程部工程师和相关研究生也为本研究的相关技术示范应用做出了很大的贡献。江苏省农业科学院果

树研究所赵密珍研究员、蔡伟建博士，镇江市京口区农委陈兰芳副主任、刘卫红副主任为我们提供了良好的实验条件。在整个研究过程中，江苏省农委信息中心吴建强研究员、林初有研究员，镇江市农委马国进主任，农业部南京农业机械化研究所肖宏儒研究员，镇江市瑞京农业科技示范园朱忠贵研究员，江苏大学毛罕平教授、王新忠教授、胡永光教授和刘继展研究员等专家也给予我们很多的关心和指导。本书的出版得到了江苏省高校优势学科建设工程、江苏大学及农业装备工程学院“青年骨干教师培养工程”项目的资助。在本书初稿完成后，赵春江院士给本书提供了很多建议和意见，并欣然为本书作序，在此一并表示感谢。

本书涉及的主要为温室物联网系统的设计相关内容，主要集中在信息传输相关内容，而关于温室作物环境信息感知和信息处理方面，尤其是温室环境优化调控的相关内容并未涉及，将在本丛书的《温室作物模拟与环境调控》一书中详细介绍。

王纪章

2018 年 1 月于江苏镇江

目 录

丛书序

序

前言

第 1 章	绪论	1
1.1	温室环境测控系统发展	1
1.1.1	直接数字控制系统	1
1.1.2	分布式控制系统	5
1.1.3	网络化控制系统	7
1.2	温室物联网系统	16
1.2.1	温室物联网系统技术体系	16
1.2.2	温室物联网系统应用	18
第 2 章	温室环境测控三层次无线传感器网络系统设计	24
2.1	温室无线传感器网络层次结构优化及结构模型确定	24
2.1.1	温室无线传感器网络系统层次优化	24
2.1.2	温室无线传感器网络层次优化仿真分析	29
2.1.3	温室三层次无线网络结构模型构建	30
2.2	温室无线传感器网络簇头节点优化及选取	31
2.2.1	温室无线传感器网络底层簇头节点优化	31
2.2.2	温室无线传感器网络簇内簇头选取机制	35
2.3	温室无线传感器网络系统设计	36
2.3.1	设计概述	36
2.3.2	底层传感器节点设计	37
2.3.3	基站节点设计	45
2.4	网络系统运行试验及结果分析	51
2.4.1	节点软件编译	51
2.4.2	硬件调试	51
2.4.3	系统运行试验及结果分析	53
第 3 章	温室无线传感器网络环境监测系统通信性能的研究	55
3.1	温室大棚 2.4GHz 无线电波传播特性	55
3.1.1	试验设备	56
3.1.2	连栋温室无线电波传播特性试验	56

3.1.3	塑料大棚无线电波传播特性试验	62
3.2	基于事件驱动与数据融合的节能传输策略	67
3.2.1	温室节能数据传输模型	69
3.2.2	基于事件驱动的数据预处理试验	73
3.2.3	基于支持度函数的数据融合试验	76
3.3	温室无线传感器网络环境监测系统性能试验	79
3.3.1	系统构建方案	80
3.3.2	系统硬件系统	80
3.3.3	软件系统开发	82
3.3.4	监测系统性能测试	86
第 4 章	基于物联网的温室环境测控通用系统开发	92
4.1	基于 Android 系统的温室环境测控智能网关开发	94
4.1.1	温室环境测控系统结构	94
4.1.2	智能网关硬件平台	95
4.1.3	智能网关软件功能设计	95
4.1.4	运行试验	105
4.2	温室环境测控系统的数据同步	112
4.2.1	总体设计	112
4.2.2	同步过程设计	112
4.2.3	基于 JADE 平台的温室环境测控数据同步通信系统	118
4.3	基于 GWT 的温室环境测控应用开发	125
4.3.1	总体结构	126
4.3.2	基于 GWT 的温室环境测控应用软件开发	126
4.3.3	基于 Android 手机的温室环境测控应用软件开发	133
4.3.4	运行试验	134
4.4	草莓栽培环境智能监测系统运行与测试	137
4.4.1	系统部署	137
4.4.2	草莓栽培环境智能监测系统功能验证	140
4.4.3	系统性能验证	143
第 5 章	基于时空信息的温室环境无线传感器网络故障诊断	146
5.1	环境参数时空关联性研究	146
5.1.1	环境参数数据来源	147
5.1.2	环境参数时空特性	148
5.1.3	时空关联性预测验证	157
5.2	基于时空关联性的传感器故障识别与数据重构	164
5.2.1	传感器故障识别体系结构	165

5.2.2	基于 PCA 的传感器故障检测	165
5.2.3	传感器故障识别	169
5.2.4	故障识别方法验证	171
5.2.5	传感器故障诊断	175
5.2.6	传感器数据融合模型	176
5.2.7	故障数据重构	181
5.3	监测系统数据传输网络故障诊断	183
5.3.1	无线传感器网络故障诊断	184
5.3.2	基于参考广播同步机制的时间异步处理	186
5.3.3	数据异步诊断	188
5.3.4	功能验证	194
5.4	温室环境无线监测系统运行与故障测试	198
5.4.1	智能网关软件功能设计	198
5.4.2	故障诊断系统的软件功能验证	199
5.4.3	故障注入诊断实验	201
参考文献		206
索引		225

第1章 绪 论

1.1 温室环境测控系统发展

温室环境测控系统是利用覆盖材料与维护结构将温室和露地隔开的一个半封闭的系统。这个系统时刻与外界进行物质和能量的交换,温室内的环境条件同时受到外界气候和内部设施的影响。作物的生长发育对环境条件都有一定的要求,但是温室内的环境条件因为受到外界气象条件的影响和设施所能提供的条件的限制,因此在作物整个生育期中,温室设施的条件往往不可能完全满足作物的需要。这就要求在进行温室环境调控的过程中必须根据作物需要的综合的动态环境和外界的气象条件,采取必要的综合环境调节措施,把多种环境因素,如光照、温度、湿度、CO₂ 浓度等都维持在适合作物生长发育的水平,从而达到优质、高产和高效的目的 (李萍萍和李冬生, 2011)。

计算机技术、网络通信技术和微电子技术的不断发展,促进了测控系统在体系结构、单元部件和测控技术方面的一系列变革,使得测控系统从单机控制系统向网络化、集成化、分布式和节点智能化发展。温室环境测控系统的发展与计算机控制系统发展历程相似,先后经历了直接数字控制 (direct digital control, DDC) 系统、分布式控制系统 (distributed control system, DCS) 和网络化控制系统 (network control system, NCS) 三个主要控制方式 (俞立和张文安, 2012)。

1.1.1 直接数字控制系统

直接数字控制 (DDC) 是用一台计算机对被控参数进行检测,再根据设定值和控制算法进行运算,然后输出到执行机构对生产进行控制,使被控参数稳定在给定值上。利用计算机的分时处理功能直接对多个控制回路实现多种形式控制的多功能数字控制系统,在温室环境测控系统中,主要是通过温室环境参数传感器采集温室内温度、湿度、光照强度、CO₂ 浓度、土壤温度、含水量以及室外气象数据,通过计算机对温室的通风系统、遮阳系统、降温系统、加温系统以及灌溉设备等执行机构进行控制,从而实现对温室环境的控制。其中核心的计算机系统主要包括单片机系统、可编程逻辑控制系统和工业控制计算机等 (周祖德, 2004)。

1.1.1.1 单片机测控系统

单片机 (microcontrollers) 是一种集成电路芯片,是采用超大规模集成电路技

术把具有数据处理能力的中央处理器 (CPU)、随机存储器 (RAM)、只读存储器 (ROM)、多种 I/O 口和中断系统、定时器/计数器等功能集成到一块硅片上构成一个小而完善的微型计算机系统,在工业控制领域广泛应用。从 20 世纪 80 年代,由当时的 4 位、8 位单片机,发展到现在的 300M 的高速单片机。

图 1.1 为中国知网 (CNKI) 中用关键词“温室”和“单片机”检索的结果,1986 年开始出现第 1 篇相关文献 (崔绍荣和姚庆祥, 1986), 从 2007 年到 2017 年相关文献均在 50 篇以上,表明基于单片机的温室环境测控技术在近 10 年来一直伴随着单片机技术的发展而发展。

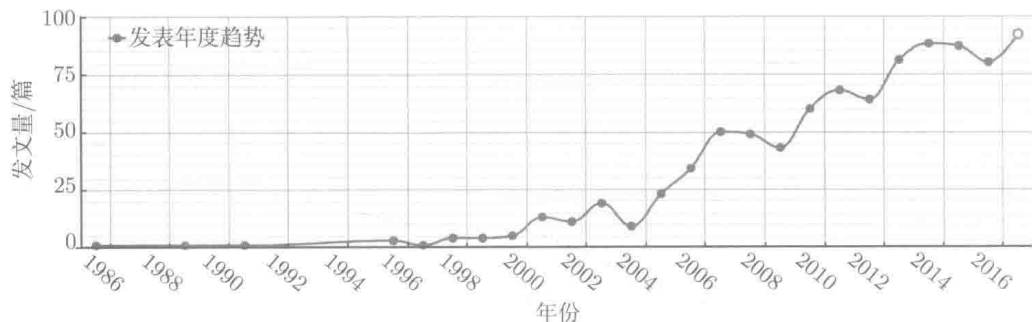


图 1.1 “温室”和“单片机”文献检索结果

单片机经历了单片微型计算机 (single chip microcomputer, SCM)、微控制器 (microcontroller unit, MCU) 和片上系统 (system on chip, SoC) 三大阶段。早期的 SCM 都是 4 位或 8 位的,其中最成功的是 Intel 的 8051,此后在 8051 的基础上发展出了 MCS51 系列 MCU 系统。基于单片机的温室环境测控系统也是从 51 系列单片机的基础上发展和应用的 (王遗宝等, 1986; 任振辉等, 2001; 郭茂龙和徐学华, 2003; 李俊和杜尚丰, 2006; 张智和邹志荣, 2006; 李喜武等, 2007; Santamouris and Lefas, 1986), 目前仍然在温室控制系统中应用。其基本结构如图 1.2 所示,核心是单片机芯片及其配套的存储器、键盘输入输出、显示输出和通信模块等,由于早期的传感器大多为模拟量,因此在采集数据时需要通过数据转换模块和 A/D 转换将传感器采集的模拟量信号转换为数字量信号;单片机根据采集的环境参数进行决策控制,通过 I/O 接口输出控制信号,以实现执行机构的控制。

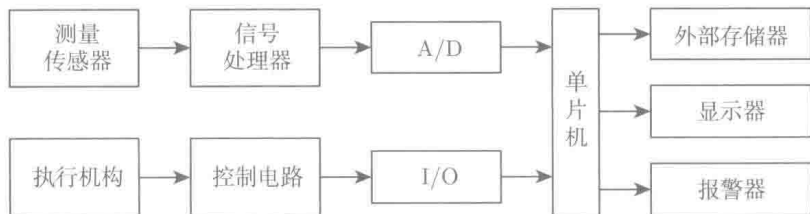


图 1.2 基于单片机的温室环境测控系统结构框图

利用计算机进行数据管理和参数设定,利用单片机与微型计算机之间的通信,从而实现了主从式的温室环境控制,扩展了温室环境测控的功能,并通过计算机进行复杂的智能控制算法和基于模型的决策等功能,将控制参数发送给单片机实现智能控制(李俊和杜尚丰,2006;纪建伟,2001;郭改枝等,2003;汪小岳和丁为民,2001)。

随着 Intel i960 系列,特别是后来的 ARM 系列的广泛应用,32 位单片机迅速取代 16 位单片机的高端地位,并且进入主流市场。这一阶段,温室环境测控系统也得到快速发展,ARM 单片机系统可以实现复杂的模型和算法技术,提升了温室环境测控系统的功能,可以实现温室环境的智能测控(焦哲勇和程友联,2007;王石磊等,2008;刘宝钊等,2014;王立舒等,2014;苗凤娟等,2015)。当代单片机系统已经不只在裸机环境下开发和使用,大量专用的嵌入式操作系统被广泛应用在全系列的单片机上,甚至可以直接使用专用的 Windows 和 Linux 操作系统,也就是片上系统(SoC)。片上系统可以独立运行,并可以实现基于 Web 的远程测控功能(张艳鹏和张博阳,2015;贺婷婷等,2013;Gao and Du, 2011)。近年来快速发展的无线传感器网络技术也是以单片机为核心进行数据采集和环境控制的(李鹏飞等,2012;魏丽静等,2013;李墨雪等,2006;王银玲和孙涛,2011;张西良等,2007b)。

1.1.1.2 可编程逻辑测控系统

可编程逻辑控制器(programmable logic controller, PLC)是种专门为在工业环境下应用而设计的数字运算操作电子系统。它采用一种可编程的存储器,在其内部存储执行逻辑运算、顺序控制、定时、计数和算术运算等操作的指令,通过数字式或模拟式的输入输出来控制各种类型的设备或生产过程——可编程逻辑控制器(可编程控制器件)。PLC 编程多采用继电器控制梯形图及命令语句,具有编程简单、逻辑性和可靠性高、输入/输出功能模块齐全等优点,而温室环境控制设备主要是继电器控制,因此基于 PLC 的温室环境控制系统得到实际生产应用。图 1.3 为中国知网(CNKI)中用关键词“温室”和“PLC”检索的结果,自 2000 年开始出现利用 PLC 进行温室控制的研究工作(何世钧等,2000)。

图 1.4 为基于 PLC 的温室环境测控系统架构,其核心为可编程逻辑控制器,通过数据采集模块实现环境参数的采集,通过核心计算模块实现环境控制,通过 I/O 输出模块驱动执行机构动作,实现温室环境参数的自动控制。早期的 PLC 只有开关量逻辑控制,以存储执行逻辑运算、顺序控制、定时、计数和运算等操作的指令,并通过数字输入和输出操作来控制各类设备的动作。为了实现温室环境信息采集,把所有的输入都当成开关量处理,在输入时将输入 16 位(也有 32 位的)为一个模拟量,大型 PLC 使用另外一个 CPU 来完成模拟量的运算,把计算结果

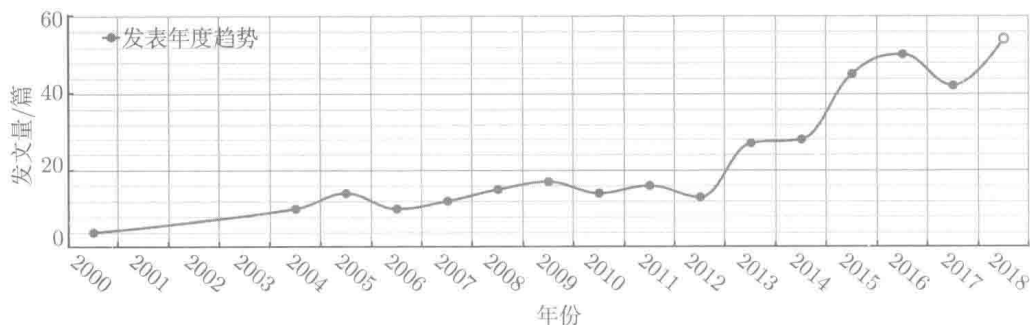


图 1.3 “温室”和“PLC”文献检索结果 (空心圈表示预测值)

送给 PLC 的控制器 (宋健, 2004; 陈国辉和郭艳玲, 2005; 吴洪涛, 2006; 王志国等, 2013; 谢向花, 2009)。

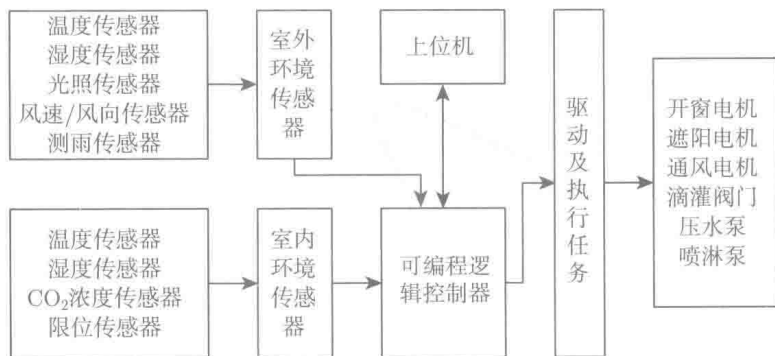


图 1.4 基于 PLC 的温室环境测控系统架构 (何世钧等, 2000)

近年来, PLC 系统的硬件价格逐年降低, 特别是在组态软件与 PLC 结合后, 降低了软件开发成本, 基于 PLC 的温室环境测控系统开发变得更为简单方便 (张馨等, 2010; 张西良等, 2007c; 郭东平和赵媛, 2016; 张伏等, 2014; 于足恩和卢金满, 2005; 冯毅和吴必瑞, 2015; 薛文英等, 2011; 谢守勇等, 2007)。随着网络技术的发展, 可编程控制器和计算机组网构成大型的控制系统是可编程控制器技术的发展方向, 可以实现大规模温室群的分布式网络化控制 (Sørensen et al., 2011; Wang et al., 2016; 汤泽锋等, 2017; 姚琦和赖忠喜, 2015; 康东等, 2009)。

1.1.1.3 计算机测控系统

计算机控制系统 (computer control system, CCS) 是计算机参与控制并借助一些辅助部件与被控对象相联系, 以获得一定控制目的而构成的系统。目前用于温室环境控制的计算机以微型计算机为主, 辅助部件主要指输入输出接口、检测装置和执行装置等。与被控对象的联系和部件间的联系, 可以有有线方式, 如通过电缆的模拟信号或数字信号进行联系; 也可以是无无线方式, 如用红外线、微波、无线电波、

光波等进行联系，其架构如图 1.5 所示。由于计算机的输入和输出是数字信号，而现场采集到的信号或执行机构的信号大多是模拟信号，因此计算机控制系统需要有数/模转换器和模/数转换器这两个环节。

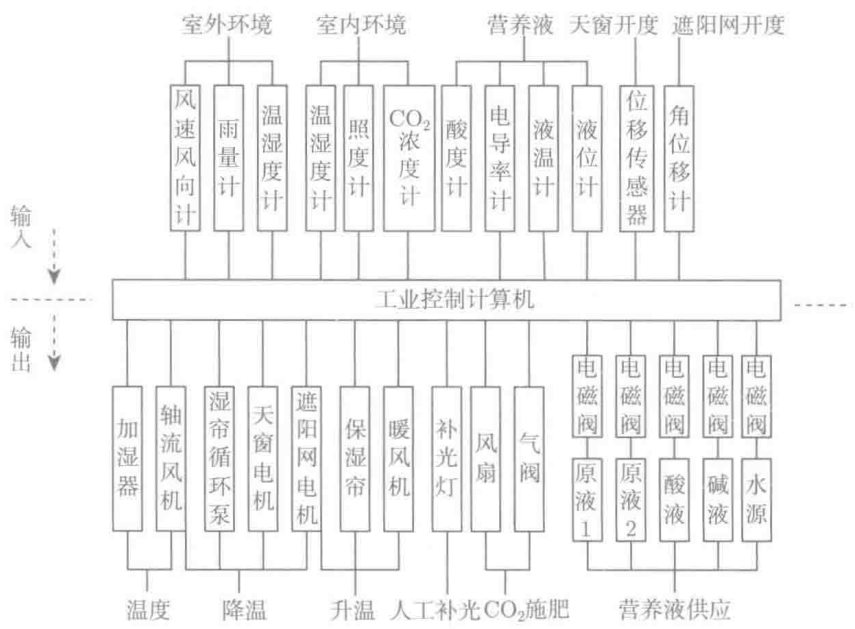


图 1.5 基于计算机的温室环境测控系统架构图 (毛罕平和李萍萍, 1996)

早期的计算机控制系统主要是利用微型计算机，如工业控制计算机或者个人计算机，通过计算机插槽型数据采集和控制卡直接实现温室环境参数采集与控制 (毛罕平和李萍萍, 1996; 崔作龙等, 2003; 冯磊等, 2006; 滕华强等, 2008); 或者是计算机作为上位机，与单片机、PLC 等现场测控单元通信，根据现场终端采集的环境参数，计算机基于模型和智能算法实现温室环境参数的智能控制 (纪建伟, 2001; 汤泽锋等, 2017; 裘正军等, 2002; 彭桂兰等, 2002; 张梦麟和李念强, 2007; 任玉灿等, 2012)。随着以 LabView 为主的虚拟仪器技术的发展，基于虚拟仪器的温室环境测控系统开发使得基于计算机的温室环境测控系统的开发更为简单快捷 (王文娣等, 2007; 刘义飞等, 2015; 张为, 2010; 陈海生等, 2005)。

1.1.2 分布式控制系统

分布式控制系统 (DCS) 也称集散控制系统，是对生产过程进行集中管理和分散控制的计算机控制系统，是随着现代大型工业生产自动化水平的不断提高和过程控制要求日益复杂，应运而生的综合控制系统。它集成了计算机技术、网络技术、通信技术和自动控制技术，系统采用分散控制和集中管理的设计思想、分而自治和综合协调的设计原则，具有层次化的体系结构。它是一个由过程控制级和过程