

构建应用型本科人才培养的实践教学体系^①

刘继超 王菊

(燕京理工学院 河北廊坊 065201)

摘 要:人才是应用型本科教育的终极目标,而实践教学是人才培养的重要途径。针对教与学的问题,论证了该教学理论的生命力,阐述了在构建实践教学体系过程转变教学理念,提高学生能动性,构建新的实践教学模式,在构建该体系中结合实验室建设、专业建设、师资建设等多个方面,显示实践教学体系的重要性。

关键词:人才培养 实践教学体系 应用型本科

中图分类号: G642

文献标识码: A

文章编号: 1674-098X(2018)08(c)-0251-02

Abstract: Talent is the ultimate goal of applied undergraduate education, and practice teaching is an effective way of talent cultivation. Aiming at the problem of teaching and learning, and demonstrates the vitality of the teaching theory, this paper expounds the process how to change teaching idea in constructing practice teaching system, to improve students' initiative, build a new practice teaching mode, in constructing the system of combining laboratory construction, specialty construction and teaching staff construction, and other aspects, shows that the importance of practice teaching system.

Key Words: Talents cultivation; Practical teaching system; Application oriented university

经济社会的转型带动着高等教育不断地面向国际化发展,同时使高等教育发生了质的变化,即从精英化到大众化的转变。普通本科院校也慢慢走上了历史舞台,成为高等教育的主体,能够占本科院校的90%。地方性的本科院校的培养目标也发生了变化,主要是培养研究型精英人才以及高职技能型人才,它们因其特殊性而决定了本科院校的独特优势,这样就使应用型人才培养方案成为高等教育中需要探索的新方向^[1]。

人才培养以应用为主,其培养目标是知识的应用,主要采用专业知识服务社会,主要前进的动力是知识的应用研究,学校办学特色主要是应用性,主色调变成了专业设置。人才培养模式的核心是能力培养,尤其是培养实践能力^[2]。

1 积极转变观念

实践教学是综合素质培养的重要环节,比理论教学的培养有很大的优势,其更直观性,也更综合性,其具有的创新性影响着培养质量,对于提高质量也具有重要的意义,同时对于学生创新意识的培养也发挥着重要的作用^[3]。图1表示运用软件首先设计半加器的原理图。

为了应用型这一理念,经过实践,同时成立了一套实践教学理念^[4],主体是学生,而主导则是教师,并确立培养能力,进而提高实践教学的理念,对于应用型人才提出了新的理念,同时完成了实践体系,有显著的成效。一般情况来说,通常情况下,运用1位全加器,图2为全加器的原理图。

理念可作为认识方面的新突破,同时也是新的认知,其对实践有指导意义。于是,要想搞好教学,就须解决教师的理念。满足了这一点,就能贯彻新方法以及教学模式,进而优化实践教学^[5]。

然而,在实践中,可积极地采用现代教育理论^[6],使其系统的掌握现代的教育方式来促进实践活动;还可采用等级考试开设辅导班,以此来加强多媒体的使用^[7],鼓励教师使用此项技术,从而使实践教学生动^[8]。

2 构建分流分层的模式

因为生源分数悬殊,必须根据实际情况,对学生需要进行分层的培养,以便提高学生的创新能力。当然,对于其培养目标来说,基本上学生有3种情况:通常采用的培养模式是3+1,为了使部分学生有足够的时间来继续深造,如公务员、硕士研究生、出国留学等等;部分学生还可通过校企合作去相关的企业进行培训以及实习;部分学生还可参加课程设计或者学校的各种竞赛等等。图3表示学生参加比赛设计的实物图。而在内容上,可把实践环节分成不同的教学。同时结合其培养方案,依据4个层面展开,如创新能力训练、专业综合能力、基本技能训练、训练认知性,在实践上开展由浅入深,逐步提高。

教育部门非常重视实践环节,通常采取各种措施来提高实践能力。竞赛有上千种,同时以竞赛活动为契机,推进实践改革。鼓励学生参加教育部门组织的竞赛^[9]。通过举办竞赛活动,一方面加强校际间的交流,可在校内为学生

①基金项目:河北省高等教育学会高等教育科学研究“十三五”规划课题(项目编号: GJXH2017-59)。

作者简介:刘继超(1982—),男,汉族,河北三河人,硕士,副教授,研究方向:主要研究方向自动化检测、单片机等。

王菊(1985—),女,汉族,河北唐山人,硕士,讲师,研究方向:传感信号解调、压缩传感、单片机方面的研究。

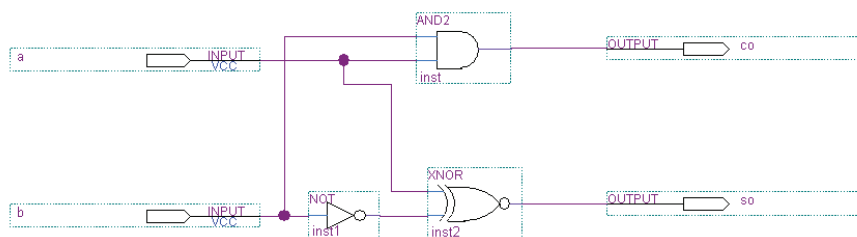


图1 半加器

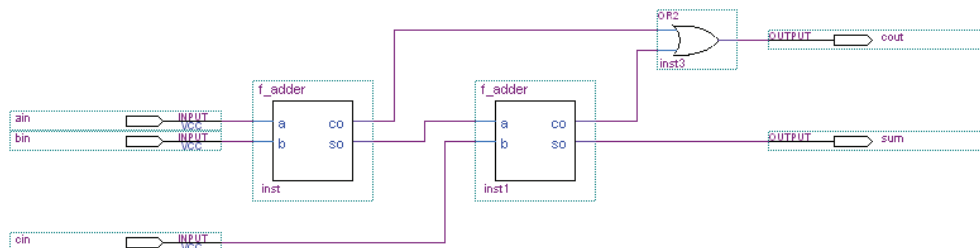


图2 1位全加器

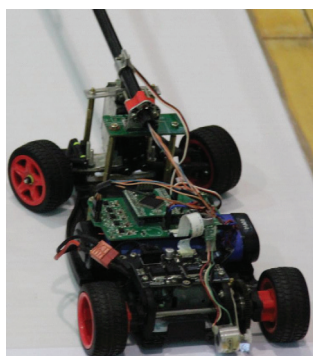


图3 某比赛实物图

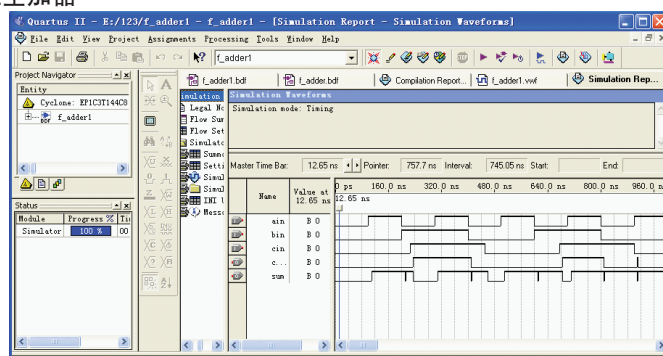


图4 仿真图

提供一个科技创新的氛围,另外一方面还可为各层次的学生提供好的平台,使其在知识上有很大的收获。

3 贯彻“三个结合”

为了保障实践教学的实施,在此教学中,坚持“三个结合”,主要表现在结合课内教学和课外教学;结合实验室建设和师资专业建设;结合教学、科研和企业。

(1) 积极鼓励学生开展课外活动,使学生综合能力得到提高,同时鼓励学生发表论文以及申请专利。可通过校企合作去相关的企业进行培训以及实习,还可参加课程设计或者学校的各种竞赛等等。

(2) 在学校建设中提出新的建设模式,结合理论教学和实践教学环节,实现资源优化及共享。而从师资队伍方面来说,要求教师承担理论课的同时承担实验教学,图4表示将软件运用于实验教学并进行仿真。依据相关的制度和教学要求,把理论教学与实验教学融为一体。

(3) 强化校企合作,使学生的竞争力增强,为了使这一目的更加彻底,每年派相关教师到相关的企业去实习锻炼,以便及时有效地反馈企业需要的人才,加快教学改革,理论联系实际,效果很突出。

参考文献

[1] 王群,韦平和,李存福,等.基于应用型本科人才培养目标的应用化学实践教学体系改革[J].教书育人(高教论坛),2018(9):110-112.

- [2] 瞿萧羽,刘子恒.应用型人才培养模式下建筑学实践教学体系构建研究[J].低碳世界,2018(3):348-349.
- [3] 杨凤林.应用型人才培养模式下公共教育学实践教学体系的构建与实施[J].赤峰学院学报:汉文哲学社会科学版,2018,39(2):143-145.
- [4] 白兰琼.基于应用型人才培养的“多层次”投资管理学课程实践教学体系构建——以百色学院为例[J].中国市场,2018(2):225-226.
- [5] 郁俊平.基于应用型人才培养模式下的会计实践教学体系构建探讨[J].经贸实践,2017(13):315.
- [6] 唐治元.基于应用型人才培养的旅游管理专业实践教学体系的构建[J].知识经济,2017(13):164.
- [7] 朱国婷.应用型本科建筑学专业“4+1”人才培养模式下企业实践教学内容的构建与探索[J].中外建筑,2017(6):81-84.
- [8] 何倩,尹红.高校应用型人才培养的实践教学体系构建研究——以工商管理本科专业为例[J].鸡西大学学报,2017,17(1):14-17.
- [9] 付兴锋,张常年,尹天光,等.应用型本科人才培养中实践教学体系的构建[J].实验室研究与探索,2011,30(6):148-150.

PLC 技术及应用课程教学改革的几点思考

韩海花, 常文慧, 白彦霞

(燕京理工学院, 河北 廊坊)

摘要: 作为电气工程及其自动化的专业课程, PLC 技术及应用课程有着突出的综合性、应用性特点, 对培养学生的专业技术能力起着重要的作用。但是, 该课程的实施并不是一帆风顺的, 在具体的过程中表现出教学内容、教学方法、考核方法等方面的诸多问题与不足, 有待教师进一步改进与创新。本文结合 PLC 技术及应用课程教学实际, 对其中的问题与改革策略进行了深入探究。

关键词: PLC 技术及应用; 教学改革; 教学方法

本文引用格式: 韩海花, 等. PLC 技术及应用课程教学改革的几点思考 [J]. 教育现代化, 2019, 6(43): 43-44.

PLC 是一种专用的工业控制计算机, 其具备编程容易、功能强大、携带方便、抗干扰性强等特点, 能够很好地适应电子技术和计算机技术的发展, 在当前的工业自动控制领域中应用广泛。从目前我国高职院校的 PLC 课程开展的实际情况来看, 其已经成为一门非常重要的专业课, 内容涉及 PLC 原理和相关理论知识以及相应的实践应用, 旨在促进 PLC 课程理论教学与实践教学共同发展。然而, 这是一门实践性和专业性都很强的课程, 对学生、教师以及教法都有着多样化的要求, 想要获得理想的教学效果, 帮助学生更好地掌握这一技术存在一定的困难。因此, 在实际的教学过程中, 教师应全面考虑各个影响因素与课程特点, 从 PLC 课程教学现状着手, 深入分析问题原因, 探索有效的应对策略, 在提高课程教学水平的时候, 提高学生的学习能力。

一 PLC 技术及应用课程教学存在的问题

PLC 技术及应用要求学生在掌握基本理论知识的基础上, 具备工业产品的选型、控制系统硬件的设计以及软件的编程和现场安装调试等综合能力, 但是目前的教学中并不能达到理想的效果, 其中的问题也不断涌现, 给教师的教授和学生的学习带来不小的压力与阻力。综合现实情况, 主要问题大致表现为以下几方面。

(一) 教学方法不科学

从现实来看, PLC 技术及应用课程教学仍然较多地采用传统的教学方法, “灌鸭式”教学仍为主流, 先就 PLC 的硬件结构和工作原理进行讲解, 借助教授 PLC 的指令系统和梯形图程序设计方法, 最后是关于 PLC 的应用实例, 整体显得较为呆板, 内容较

为固化, 加上 PLC 指令繁多, 课时有限, 课堂氛围不够活跃, 学生学习起来十分吃力, 有的还会因为过大的心理压力对未来的学习失去信心。

(二) 教学内容存在滞后性

PLC 技术及应用的课程内容大多涉及可编程控制器的概述、可编程控制器的组成与工作原理、可编程控制器在工业中的应用等章节, 虽然相对全面, 但当下的科学技术发展迅猛, 知识更新加速, 尤其是 PLC 技术在矿山、机械、医疗等各行业的应用越来越广泛, 已经使得教学内容存在滞后性, 不能满足 PLC 技术的发展和现实需求。

(三) 考核方法不全面

PLC 技术及应用的实用性、实践性很强, 除了掌握基本的理论知识外, 还要求学生具备一定的专业水平和实践操作能力。但是, 在开展 PLC 技术及应用课程的过程中, 相关的评价和考核方法仍然不够完善, 期末的理论课与实验实践能力的考核基本就是固定搭配。如此的考核与评价完全束缚了学生的思维发展, 不仅不利于学生对知识的掌握, 还限制了学生综合能力的提升, 难以全面反映学生的各方面实际水平, 自然也就达不到预期的效果。

二 PLC 技术及应用课程教学革新路径

PLC 技术及应用课程的专业性和实践性强, 传统的教学模式与方法已经难以实现理想的教学效果, 必须结合实际展开大规模的改革与创新, 从内容到方法, 从整体到细节, 逐一、递进地进行完善与革新, 以寻求更多的教学效率提升之法。具体来讲, 主要应从以下几方面着手:

基金项目: 2017 年北方国际大学联盟第五期教育科研课题“学科竞赛与教学改革互动创新人才培养模式研究”(编号: 20170501004)。

作者简介: 韩海花, 女, 汉族, 山东菏泽人, 讲师, 硕士研究生, 研究方向: 智能控制。

(一) 改革教学内容,实行模块化教学

从 PLC 教材上看,基本都是基本原理、基本指令、基本应用、基本操作等各个独立的章节所组成。在具体的教学过程中,教师可以根据学生的认知过程和人才培养计划合理开展教学,制定新的课程标准,制定新的教学大纲,如将设计梯形图程序以及电气控制系统的运行调试作为参照系,将典型的项目任务作为载体,帮助学生熟悉 PLC 的硬件组成和工作原理,掌握具体的编程元件、指令系统、程序设计方法,如此,学生不仅可以得到很好的训练,还能实现优势互补,取长补短。另外,在具体的教学过程中,教师还可以实行模块化教学,突出对学生的能力要求。比如,结合电气工程及其自动化的专业特点,将课程教学内容进一步细化并整合,形成多个独立的模块,通过对每一个模块进行单元化的教学,深入细化 PLC 技术及应用课程的知识目标、教学目标、操作目标,再结合每一个模块的综合要求去组建相应的生动直观的教学场景,将之前所学的模块进行有机组合成为一个整体,最大限度地知识融会贯通,这样的内容安排便能实现更好的效果,在培养学生的知识素养的同时提高他们的操作实践能力。

(二) 优化教学方法,活跃课堂氛围

第一,实例教学法。采用实例教学法可以解决学生在学习 PLC 时所产生的枯燥、厌学等问题,让学生的认知从感性逐渐上升到全面、深刻、具体的理性认知,为后续的学习打好基础。第二,项目教学法。教师可以在教学中采用项目教学法,将知识之间建立联系并设计出一定的层次性,化大为小,由易到难,真正让学生成为学习的主体,结合项目分析、教师讲解、学生实践、教师指导、评价总结等具体的实施过程进行教授,培养学生的团队合作精神。第三,仿真教学法。PLC 技术及应用课程的教学内容相对抽象,对于学生而言,学习起来并不轻松。这时,教师可以借助仿真学习软件进行仿真教学,如虚拟生产线和各种设备,将教室变成工厂,让学生实现“实际”的动手操作,如此便能将原本课堂上没有条件做的、演示效果不好的相关实验以及不能轻松理解的知识进行轻松突破与掌握。

(三) 完善考核方法,突出学生能力

从传统的教学来看,课程的考核大多是由一份试卷成绩来决定学生学习的好坏,相对比较片面,

难以真正衡量与评价学生的实际水平和能力。鉴于 PLC 技术及应用这一课程十分强调实践性,对学生综合能力有着较高的要求,在实际的考核评价中,教师可以将传统的考试方式转变为多种考核形式,建立健全教学质量考核机制,尤其要重视对学生的综合实践能力的考核。第一,试卷和项目任务验收相结合。在具体的成绩考核中,教师可采用试卷和项目任务验收相结合的方式,如试卷成绩占 40%,项目过程考核占 60%。具体而言,教师可以将学生分组并分别布置一个项目任务,最后根据完成情况和小组各成员对项目的汇报及答辩等进行综合的考评。为了让考核更加科学公正,学校教师可与企业老师共同对学生进行评价,同时突出学生的实践能力考评。第二,加大平时成绩和实验课程的考核。在成绩的评定上,教师可以综合考虑平时成绩和实验课程的成绩,除了期末考试成绩占 50%,还可以将平时成绩与实验成绩分别设置为 30%、20% 的比例,以这种方式调动学生的学习积极性,提高学生的自主学习能力。

三 结语

PLC 技术及应用课程已经在高校普遍开展,但在具体的实施过程中仍然存在着一些问题,对当前的教学实践提出了更高的要求,想要获得理想的教学实效,必要的教学改革必不可少。作为教师必须在实际的教学过程中正视现实问题,挖掘内在的问题根源,结合教学需求与教学目标对教学内容、教学方法和考核方法等进行相应的改革与创新,这不仅有利于教学效果的提升,也有助于学生对 PLC 的学习与未来应用。

参考文献

- [1] 姚庆文,丁辉.PLC 课程的项目教学设计与实践[J].职业教育研究,2009,11(12):81-82.
- [2] 左维琦.电气控制与 PLC 应用课程的教学改革与探索[J].科技风,2018(26):191.
- [3] 徐涵.项目教学的理论基础、基本特征及对教师的要求[J].职教论坛,2007(06):9-12.
- [4] 卢蔚瑶.电气控制与 PLC 课程教学改革的探索和实践[J].中国现代教育装备,2011(03):110-111.
- [5] 田金云,杨旭,刘忠超.基于工程化的 PLC 课程教学改革与实践[J].教育现代化,2017,4(33):69-71.
- [6] 邓丽萍.面向地方:培养适应地方经济发展的实用型人才[J].教育现代化,2017,4(09):9-10.

浅谈学科竞赛中智能竞速机器人培训体系建设

李 昆

(燕京理工学院,河北 三河 065202)

摘 要:随着机器人产业的发展,尤其是无人驾驶技术的发展,各类相关的学科竞赛火热开展,例如“恩智浦”智能汽车竞赛和中国人工智能大赛均设置了智能竞速机器人的比赛项目。本次课题充分利用企业和高校各自的优势,建立智能竞速机器人校企联合师资培训项目,构建高效的师资体系,搭建过硬的师资队伍,开发出以赛促学、以赛促建的理论、实践教学和竞赛体系。提高本科生的实践能力,提升指导教师的竞赛指导能力,促进相关学科和专业建设。

关键词:ROS;智能竞速机器人;培训体系

【DOI】10.12231/j.issn.1000-8772.2021.04.000

随着科学技术的不断发展,基于 ROS 的智能机器人技术得到了飞速的发展,走进了更多人的视野,服务于广大机器人行业、企业以及院校研究机构等,广泛应用于各类企业研发和高校教学竞赛研究等,成本也得到了进一步的降低,性能更加高校,形式也趋于多样。

本次课题主要是依据我校参与的智能竞速机器人人类学科竞赛项目,以及参与教育部产学研合作协同育人项目中智能竞速机器人人类项目的相关经验,以项目为导向,以企业为依托,以高校为背景,构建了完善的智能竞速机器人培训体系。本文主要谈论该体系智能竞速机器人的架构,以及在学科竞赛中的培训体系建设。

1 智能竞速机器人系统硬件的架构

智能竞速机器人硬件部分主要以主控电脑为核心,外部搭载激光雷达传感器和姿态传感器,用来获得车辆整体的姿态信息和加速度信息。单片机系统与主控电脑端通过 USB 转串口连接,单片机系统通过接收 ROS 系统下达的线速度与角速度指令进行运动学方程转换,通过 PWM 控制直流无刷电机和舵机,进而实现对车体的速度与方向的控制。智能竞速机器人系统硬件架构如图 1:

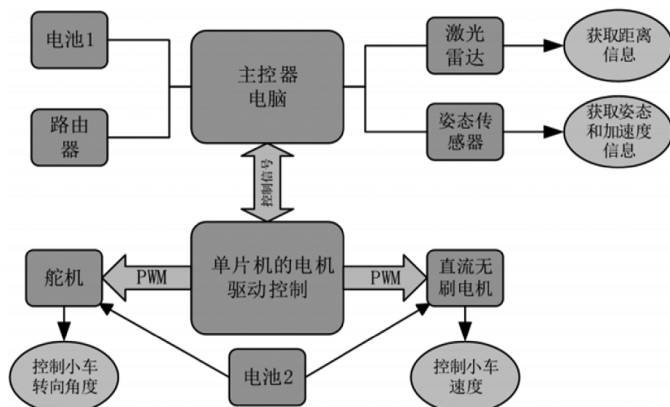


图 1 智能竞速机器人系统硬件架构

2 智能竞速机器人软件系统的架构

智能竞速机器人软件系统架构如图 2。

ROS 机器人操作系统是整个软件系统的核心,ROS 的特点——通信机制、开发工具、应用功能以及生态系统将极大地提高我们开发自动驾驶竞速车的效率。

3 ROS 操作系统的知识体系建设

智能竞速机器人实现功能如下:

(1)基于机器人操作系统 ROS 软件平台,代码实现完全开源,

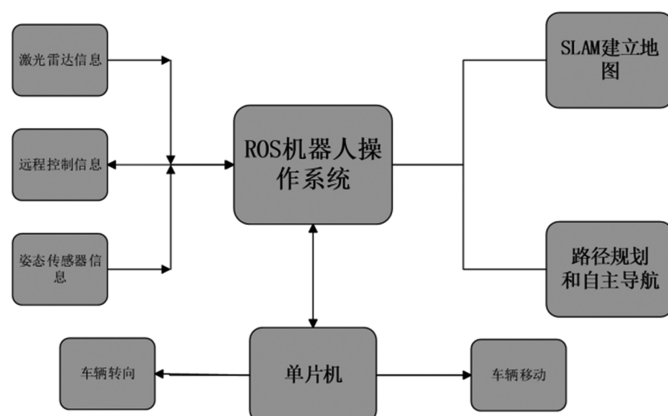


图 2 智能竞速机器人软件系统架构

方便学生学习和使用。

(2)智能竞速机器人支持激光雷达地图构建、路径规划、自主导航等。

(3)可实现 3M/S 无人驾驶应用。

为了实现如上功能,需要对参赛学生进行系统的、全面的知识体系培训,使学生掌握基于 ROS 系统的智能竞速机器人的硬件架构、软件架构,编程方法等。

本文以 2020 年我校参加“恩智浦”杯智能汽车竞赛智能竞速机器人赛项的“月生队”为案例,阐述一下从方案构建到方案实现,所要求的知识储备和协调能力,进而引出该培训体系建设所要达到的目的。

该队技术方案:

(1)定位。



①map:地图坐标系,设该坐标系为固定坐标系(fixed frame),与机器人所在的世界坐标系一致。

②odom:里程计坐标系,在导航初始化时与 map 重合,随着时间的推移逐渐分离(反映了算法对定位误差的矫正)。

③base_link:坐标系原点为小车的后轴中心位置,也就是旋转中心。

④basefoot_print:坐标系原点为 base_link 原点在地面的投影(与 base linkZ 轴值不同)。

(2)地图构建。

Gmapping 是一种基于激光的 SLAM 算法,它已经集成在 ROS

中,是移动智能车中使用最多的 SLAM 算法。这个算法已经由 Grisetti 等人提出是一种基于 Rao-Blackwellized 的粒子滤波的 SLAM 方法。基于粒子滤波的算法用许多加权粒子表示路径的后验概率,每个粒子都给出一个重要性因子。但是,它们通常需要大量的粒子才能获得比较好的结果,从而增加该算法的计算复杂性。此外,与 PF 重采样过程相关的粒子退化耗尽问题也降低了算法的准确性。粒子退化问题包括在重采样阶段从样本集粒子中消除大量的粒子。发生这种情况是因为它们的重要性权重可能变得微不足道。因此,这意味着有一定的小概率时间会消除正确的假设的粒子。为了避免粒子的退化问题,已经开发了自适应重采样技术。

(3) 路径追踪。

这里选用了 ROS 推出的 navigation 功能包来进行自主导航。此包定义了一个 move_base 类,功能为:设定出发和目标位置,导航包计算出智能车行进的路径。move_base 提供了 ROS 导航的配置、运行。它实现了一个供上层节点调用的 action(一种 ROS 定义的通信方式)接口,即给定坐标信息与相应坐标位置,执行相应的安全导航动作。对于下层电机驱动节点,输出为速度与角度。

(4) 全局定位。

AMCL 算法根据订阅到的地图数据配合激光扫描特征,使用粒子滤波获取最佳定位点 (map-> basefoot_ print), 再通过 map-> odom = map-> basefoot print - basefoot print ->odom 算出 map-> odom,该过程体现了对里程计积分累计误差的修正。

从上述技术方案中可以看出,我们要建设的课程培训体系要包含很多方面的内容,从硬件的架构,到软件的编写,到后期的安装调试等等,我们都要提炼出重点,对参赛学生进行充分的培训和训练,才能达到参赛水平,进而达到获奖水平。

4 结束语

本次课题目标是建设完善的智能竞速机器人校企联合培训师资体系,另外通过项目的建设和运行,提高我院师生在学科竞赛中的水平,强化创新效果。鉴于本文只是浅谈该体系智能竞速机器人的架构,以及在学科竞赛中的培训体系建设,也就是课题中教学和竞赛内容建设的部分,通过项目建设,得到了智能竞速机器人在竞赛和实践教学中的实践教学案例,开发了一批与智能竞速机器人相匹配的实践教学资源等,达到了既定的目标。

“数字电路与逻辑设计”课程改革的初步探索

张景革 段昱臻

燕京理工学院, 河北 廊坊 065201

摘要: 针对燕京理工学院“数字电路与逻辑设计”这门课程教学方式单一、理论和实践未紧密结合的现状, 进行了基于“数字电路与逻辑设计”课程的教学改革, 主要从课程建设、教学模式和考核方式三个方面提出教学改革措施, 既能提高学生的学习兴趣, 又能培养学生的综合素质, 还能与培养应用型人才的目的相结合。

关键词: 课程改革; 数字电路与逻辑设计; 教学方法

中图分类号: N41 **文献标识码:** A

0 引言

“数字电路与逻辑设计”课程是一门专业必修课程, 适用自动化、电子信息工程、物联网工程和通信工程等专业。该课程详细介绍了数字电路的基本分析方法和设计方法, 以及可用编程逻辑器件设计电路的软件平台和硬件描述语言设计方法。主要内容包括数制和码制、逻辑代数基础、逻辑门电路、组合逻辑电路分析和设计、中规模组合逻辑器件应用、触发器、时序逻辑电路的分析与设计、常用时序集成器件、555 定时器及应用、半导体存储器件和可编程器件、硬件描述语言、数模和模数转换。目前该课程的教学以教师课堂讲授为主, 教学方式比较单一, 学生学习该课程的目的也是为了通过考试而不是对所学知识加以应用, 学习态度比较被动, 无法对所学的知识进行应用。在此背景下, 本文针对“数字电路与逻辑设计”的课程改革的实施过程进行了初步研究与探索, 首先介绍了燕京理工学院信息科学与技术学院(以下简称信息学院)“数字电路与逻辑设计”课程的建设情况, 其次介绍了该课程的教学模式和教学方法与学法, 最后介绍了该课程的考核方式。

1 课程建设情况

1.1 课程特色

本课程面向信息学院自动化、物联网、电子信息工程、通信工程、计算机、软件工程专业的学生开设。是一门专业基础必修课程。具体情况如表 1 所示。

学生通过该课程的学习, 从基础的层面来讲要理解数字电路的基本概念、基本原理, 掌握数字电路的分析、设计和应用方法; 重点掌握中规模集成电路的

设计方法和分析方法; 尤其是掌握典型集成芯片的应用与设计; 从拓展的角度讲要理解通过指导与实践, 使学生具有较强的实践动手能力和一定的电子产品的设计与开发能力, 达到应用型人才培养的目的; 在课程中通过小组合作完成任务, 培养学生的集体荣誉感、责任心和团队意识; 最终使学生获得数字电子技术方面的基础知识, 掌握数字电路分析和设计的基本技能, 具备解决本专业领域的实际工程问题的思维方式和实际技能。具体目标如下:

- 1、理解数字电路的基本概念、基本原理, 掌握数字电路的分析、设计和应用方法;
- 2、掌握中规模集成电路的设计方法和分析方法;
- 3、掌握典型的集成芯片的应用与设计;
- 4、培养学生的实践动手能力;
- 5、理解半导体存储器的结构与功能。

表 1 课程基本信息

课程性质:	专业必修课程
适用专业:	自动化、电子信息工程、物联网工程、通信工程
开课时间:	第三学期
学时及学分:	48/3
预修课程:	大学计算机基础与应用
开课单位:	信息科学与技术学院自动化教研室

1.2 课程创新

本课程开设的目的是使学生获得数字电子技术方面的基础知识, 掌握数字电路分析和设计的基本技能, 具备解决本专业领域的实际工程问题的思维方式和实际技能。利用学习通平台, 将学习、考勤、考核等集成于一体, 使学生能自主、高效地完成学习。课程内容设置、教学方法和手段与时俱进形成了一整套立体化的教学资源。教研促教学, 加大教学改革力度; 科研促教学注重学生实践能力与可持续发展能力的培养;

改革实验教学模式，提高学生工程实践能力；学赛结合，提高学生的科技竞赛成绩。

1.3 改革思路

完善教学资料并上传学习通平台；进一步完善教学改革，开设在线学习栏目，建设线上题库，在线测验，在线期中考试，线上教学辅助平台试运行。

所有教学资源网上运行：利用学习通平台，将学习、考勤、考核等集成于一体，使学生能自主、高效地完成学习。引入中国大学慕课的精品课程以及学习强国中的优质课程作为提升该课程内涵建设的学习参考资料，针对性的录制适合学生的视频资料，为学生课下学习、复习提供保障。期末考试改革试运行，实现部分无纸化考试。

课程持续建设总结：教学过程是不断迭代的过程，进一步完善现有的教学资源建设、教学改革方案，总结课程建设的成果，进一步提升教学质量，为应用型人才培养奠定基础。

1.4 课程思政

在教学过程中加入思政元素，通过引入历史与现实的对比，激发学生对数字电子技术的学习情：在该课程的教学过程中，通过讲述数字电子技术的发展历史，再结合工业革命等内容，让学生切实体会到人类能够实现美好的生活依靠的是科学技术的进步。最早火药的发明，使人类能劈山开路、架桥、建筑，带动了各项事业的发展，军工也得到迅速发展；造纸和印刷技术的问世，人类有了书写条件产量，推动了人们文化、艺术、语言、科技、经济等等的广泛交流；指南针的发明，促进航海、贸易的发展，完成了地理大发现，使人类认识了地球；现在的杂交稻、超级稻的科技成果，提高了粮食解决了世界上人口的吃饭问题；像神舟五号、神舟六号……这些航天飞机帮助宇航员登上月球、探索火星、在太空中漫游；人造卫星为我们提供了卫星云图和天气预报，还能转播电视信号；机器人能做许多人类做不到的事情，如潜入深海考察，闯入火场救人……以人工智能、清洁能源、量子信息技术、虚拟现实以及生物技术为主的技术革命，正在描绘着人类美好的未来。通过对学生的引导，激发学生强烈的好奇心与求知欲，把传统的对课程的被动的“要我学”转化为主动的“我要学”。

2 教学模式

传统的教学模式要求学生必须在限定的时间和地点完成课程内容。为了充分发挥学生的主观能动性、调动学生的学习积极性，利用学校提供的线上教学平台学习通，采用线上线下的混合教学模式，根据具体教学内容，综合运用课堂讲授、课堂讨论、课堂练习、发现学习法和自学指导法，通过引入问题和启发式教学，使学生更加明确教学内容的知识体系，引导学生主动学习，激发内在学习动机，提高课堂的积极性，通过实例使学生能够举一反三，强化所学知识的理解和运用。在这种教学模式下，老师可以提前把课程内容、讲授视频等学习资料上传到学习通课程群里，方便让学生提前预习，同时还可以把一部分学习任务转移到线上完成，如查找资料、章节测验、课程答疑等。利用学习通教学平台，建设题库，增加线上测验，教学资料上传学习平台，全面公开、共享已有教学资源。引入中国大学慕课的精品课程以及学习强国中的优质课程作为提升该课程内涵建设的学习参考资料，针对性的录制适合学生的视频资料，为学生课下学习、复习提供有效保障。在给学生的学习资料和短视频里会事先插入一些小测验，要求学生自己思考并进行作答；在线下的上课过程中，避免传统的念 PPT 的授课方式，而是通过设置多个思考问题，采用老师提问、学生回答的方式将学习内容和学生一起分析学习，激发学生的积极思考，引导学生解决实际问题，从而营造一个知识探索、演绎推理、相互批判、螺旋上升的学习过程。

线上线下的混合教学模式不仅能够改变对学生学习时间和空间的限制，更重要的是能够结合“00 后”的学生喜欢利用网络和碎片化时间学习的特点，根据自身的学习情况，在任何时间、任何地点都能自主学习，甚至还可以将一个知识点重复学习多次，从而真正开展个性化、独立自主的学习。

3 教学方法与学法

课程内容主要包括八大模块，删除了课本中理论性比较强的内容，因为这节课的实践性很强，再加上学生的基础薄弱，更喜欢动手操作。针对这节课主要采取的教学方法有：讲授法、启发式教学法、演示实验法等。以第四章组合逻辑电路的设计这一章节为例，讲授法用来结合实物和案例讲述组合逻辑电路的结构特点、设计的思路和方法。启发式教学法贯穿于任务

完成的全过程,突出学生的主体作用,以表决器的设计为目标,通过小组讨论、教师指导,实验验证、综合评价等环节一步步完成教学目标,突破重难点。实验演示法将借助实验平台检验电路设计的正确性和合理性。注重以实际应用为导向,通过灌输数字电路的抽象思维,培养学生电子产品设计能力、综合实践能力与创新意识,体现应用型人才培养的核心。

学习这门课的学生,对电路和电子元件已经有了初步了解,根据学生的特点,给出两种学习方法供参考:一是在课堂上积极讨论,分组进行合作完成。针对这节课的重难点,通过看实物、老师讲、学生想、动手做,小组讨论、实验验证等方式来增强学习效果,根据具体教学内容,综合运用课堂讲授、课堂讨论、课堂练习、发现学习法和自学指导法,通过引入问题和启发式教学,使学生更加明确教学内容的知识体系,引导学生主动学习,激发内在学习动机,提高课堂的积极性,通过实例使学生能够举一反三,强化所学知识的理解和运用。二是鼓励学生充分利用图书馆、网络资源和实验室条件进行自学。多看多思考,勤动手,多问几个为什么,通过分析自己遇到的问题巩固学生对所学知识的理解,加深印象。

4 考核方式

本课程总评成绩由平时考核成绩和期末考核成绩两部分加权而成,平时成绩、期末成绩及总评成绩均为百分制。

总评成绩(100分)=上课出勤(10%)+平时作业(10%)+期中测验(5%)+实验成绩(10%)+期末考试(60%),各部分成绩评价标准具体说明如下。

4.1 上课出勤

采取减分制度:(1)旷课一次扣5分,迟到或者早退一次扣2分;(2)课堂回答问题加1分,三次或者三次以上缺勤取消考试资格;(3)请假不扣分,但需要有学院教学部门开具的请假条。

4.2 平时作业

课后作业总共布置10次,少交一次扣10分,累积三次不交作业,此项成绩为0分。

4.3 期中测验

按照当前的教学进度模拟期末考试题型出题,期中考试成绩低于50分或者不参加期中考试,此项成绩为零分。

4.4 实验成绩

实验的目的是培养学生对电子电路的实验研究能力、理论联系实际的能力和实事求是、严谨的科学作风。

具体目标如下:

(1)能够正确使用基本的电子仪器,了解仪器的主要技术指标、性能及正确使用方法;

(2)掌握基本的测试技术,如测量电压或电流的有效值、峰值、频率、相位、脉冲波形参数和电子电路的主要技术指标;

(3)能够查阅电子器件手册;

(4)能根据技术要求选择合适的元器件,设计常见的电路系统并进行组装与调试;

(5)初步具有分析,寻找和排除电子电路中常见故障的能力;

(6)初步具有正确处理实验数据,分析误差的能力;

(7)能够独立写出严谨的、有理论分析的、实事求是求是,文理通顺、字迹端正的实验报告。

本课程共包含8次实验课,其中前七次实验为实际操作课,最后一次实验为考试实验,实验成绩分位四部分:1)上课出勤情况占10分,旷课1次扣2分,迟到1次扣1分;2)实验操作成绩占35分,分七次实验,按实验操作的速度和质量给分,每次实验5分;3)实验报告成绩占35分,分七次实验,按实验报告的书写规范性,内容完整性,数据正确性和思考题回答情况给分,每次实验报告5分;4)实验考试成绩:按实验考试电路连线情况,数据正确性和思考题回答情况给分,实验考试电路连线情况占5分(连线不正确直接重修),数据正确性占10分,思考题回答情况占5分。

4.5 期末考试

期末考试采取闭卷考试方式,卷面总分为100分,考试时间为120分钟,由学校在每个学期的最后两周组织统一考试。期末考试卷面成绩低于50分,则总评成绩按照卷面成绩给出;50及50分以上,则按照总评成绩加权公式给出。

5 结束语

数字电路与逻辑设计作为一门专业必修课程,对于学生构建完整的专业知识体系十分重要。今后将根据学生的实际情况,结合专业技术的发展和专业岗位对人才的需求,对教学改革方案继续进行调整;进一步完善现有的教学资源、教学改革方案,总结课程建设的成果,持续提升教学质量,为应用型人才的培养奠定基础。

参考文献

- [1] 白彦霞,陈晓芳,BAI,等.《数字电路与逻辑设计》中的新课导入方法研究[J].价值工程,2017,36(11).
- [2] 陈岚,李晓辉."数字电路与逻辑设计"课程教学改革初探[J].科技创新导报,2018,15(27):2.
- [3] 何乐生,普园媛,周克峰,等.新工科建设背景下"数字电路与逻辑设计"课程教学研究[J].云南大学学报:自然科学版,2020(1):55.
- [4] 郑巧彦."以学为中心"的"数字电路与逻辑设计"课程教学改革[J].西部素质教育,2020,6(10):25.
- [5] 李修平,任萍,崔长江.线上线下混合式翻转教学模式研究——以企业经营模拟课程为例[J].现代教育论坛,2022,4(12):26.
- [6] 匡江红,张云,顾莹.理工类专业课程开展课程思政教育的探索与实践[J].管理观察,2018(1):46.
- [7] 李洁.教育硕士发展教师核心素养的研究[D].武汉:华中师范大学,2020.
- [8] 殷建军,黄琼,尹令,等.新工科背景下数字电路与逻辑设计实验教学改革实践[J].计算机教育,2021(7).
- [9] 殷建军,黄琼,尹令,等.新工科背景下数字电路与逻辑设计实验教学改革实践[J].计算机教育,2021(7):97.
- [10] 姬佳林.《数字电路与逻辑设计》专业课课程思政的探索[J].电脑知识与技术:学术版,2019,15(12Z):24.

作者简介: 张景苹(1996—)女,汉族,内蒙古赤峰人,学历:硕士研究生,研究方向:电力电子技术。
基金项目: 河北省应用技术大学研究会研究项目,《《数字电路与逻辑设计》校级一流课程建设与研究》,(项目编号: JY2022134)。

《微机原理与接口技术》线上线下混合式教学改革实践

白彦霞 常文慧

燕京理工学院, 河北 廊坊 065000

摘要: 为了实现《微机原理与接口技术》课程教学过程中前后知识的连贯性、加强前后呼应, 做到温故知新, 在教学过程中重塑教学模式, 采用线上线下混合式教学。该教学模式以学生为主体, 线上线下同步教学, 重点学习基础知识的同时进行拓展, 注重个性化、层次化培养。实践证明: 该教学改革有利于促进学生对知识的理解、掌握与探索, 为后续课程学习和就业奠定基础, 有效提高了教学质量。

关键词: 线上线下混合式教学; 重塑; 教学

中图分类号: G642.0

文献标识码: A

在互联网技术高速发展的今天, 传统的教学模式已经不能完全满足现代教学的需要, 线上线下混合式教学正在逐渐渗透到大学的每一门课程。教学模式的转变与我们的授课对象交相呼应, 当代高等教育的对象已经是 00 后的大学生, 00 后大学生的特点就是永远在线, 针对永远在线的大学生, 线上课堂发挥着重要作用。学生除了同步跟随线下课堂学习知识, 还可以利用线上教学平台查漏补缺, 巩固旧知识, 预习新知识, 在一定程度上达到师生均满意的学习效果。本文以《微机原理与接口技术》课程为例, 构建主要基于超星学习通网络教学平台的高质量线上线下混合式教学模式。超星学习通网络教学平台资源丰富, 本课程结合网络资源和自建资源, 构建各种与课程配套且适合应用型人才培养的完整的视频资料、题库、作业、测验等学习资料。另外, 为了提升学生的课堂参与度, 利用超星学习通平台开展多种形式的课堂互动活动, 如不定时签到、抢答、投票、选人、主题讨论、互相批阅等等, 让学生主动参与到课堂学习与讨论过程中, 充分利用学生的手机。

1 《微机原理与接口技术》课程概况与特点

《微机原理与接口技术》课程是电气工程及其自动化、电子信息工程、计算机类等专业的专业基础课。该课程在课程体系中起着承上启下的关键作用, 为后续课程《单片机原理及应用》、《嵌入式系统设计》等课程的学习起着至关重要的作用。该课程主要学习微型计算机基础知识、典型的第三代微处理器 8086/8088 的体系结构、指令系统、存储体系以及微型计算机接口技术。通过该课程的学习, 学生要掌握

微型计算机的主要内容, 包括理解并掌握 80X86 微处理器的引脚信号、工作模式、总线操作时序以及 80X86 的存储器技术和中断技术。同时要掌握基本接口芯片, 包括接口芯片的基础知识、如何设计与构成 I/O 接口系统以及接口芯片的应用等等。学生最终获得微型计算机硬件设计技术所必需的基本理论、基本知识、基本技能, 具有简单输入输出接口控制系统软硬件的初步设计能力, 为从事微型计算机软硬件技术工作和科学研究工作奠定基础。

该课程的理论性和实践性都很强, 前后知识密不可分, 学生在学习过程中可以深刻体会到学习前面基础知识的时候会涉及许多后面章节的内容, 学习起来比较难懂, 在学习后面章节知识的时候又要不断的复习前面的基础知识。正是因为该课程具有这样的特点, 所以线上线下同步学习尤为重要。线上精讲的理论知识, 是学生多次反复观看、复习理论知识的有力补充, 学生学习过程中遇到不懂的问题可以随时学习相关的视频资料。线下课堂对理论知识深度拓展, 举例分析, 加深学生对理论知识的理解与应用。在教学过程中线上学习、线下学习同时抓, 提升学生的学习效果。

2 线上线下混合式教学模式

单纯的线上教学存在一定的弊端, 比如学生需要具有一定的自觉性才能保质保量完成线上的学习, 在实际实施过程中较难掌握学生真正线上学习的认真程度, 很难保证学习效果。学生线上学习过程不受时间空间限制, 环境多样, 较难达到线下沉浸式学习的状态。线上教学对教师提出了更高的要求, 教师不仅要掌握先进的教学技术, 同时要提升教学管理能力, 课

堂组织能力等等。线上教学优势也很多,比如教学资源再现性非常好,学生可以根据自己的学习情况反复多次学习,查漏补缺,随时复习;课程内容可以通过录制后进行再制作和再加工,教学内容不断进行丰富和优化;学习形式自由,学生可以不受时间和空间的限制,随时随地的学习。本课程充分利用线上教学优势,同时发挥传统线下教学的优点,最大限度的提高教学质量,主要通过以下五点达到线上与线下的有机融合。

1.1 线上线下互补融合教学

结合我校学生自身的特点,以知识点为单位,录制适合我校学生的《微机原理与接口技术》课程的视频资料,全部上传超星学习通网络教学平台,且与线下课堂教学同步开放。理论教学过程包括三部分:课前线上预习相关知识点,课上系统讲解,课下线上复习难点并完成相应测验。所以与教学过程对应的线上学习资料包括学习目标、课前学习PPT、教案、课程视频、思考与练习、通关测验等。线上教学知识点分为理解类、掌握类和拓展类,其中所有学生都要学习理解类和掌握类知识点,学生根据自己的能力自主学习拓展类知识点,达到分层次培养的目的。线下教学过程中根据知识点的难易程度以及学生线上学习后的反馈情况,有针对性、有目的性的教学,而不是简单的重复教学内容。教学过程遵循以线下为主、线上为辅,学生可以通过线上反复多次观看、学习重点难点问题,结合线下课堂互相讨论、学习,直到真正理解。进而实现在整个教学过程中以学生为主体,教师为引导者、辅助者,逐渐培养学生的自学能力与探索创新能力。

1.2 线上线下工程案例引导与驱动

学习该课程的重要目的就是培养学生微机接口控制系统软硬件开发的初步能力,并且应用于实际生活中,所以在第一次授课就给出具体的案例并且贯穿于整个学期。具体的教学工程案例有温室温度控制系统的设计,家庭安全防盗系统的设计等等,学生也可以自由选题进行设计。在线下授课过程中根据所学理论知识一步一步引导学生设计出相应的硬件电路和程序,学生的设计过程在线上一步一步进行提交,利用线上记录学生设计的完整过程,期末线上提交完整的硬件系统设计方案、软件设计流程图和程序代码。由于系统的设计方案不唯一,所以为了检验与加深学生

的学习效果,利用学习通平台的互相批阅功能,学生之间互相点评、批阅、打分,加深学生对设计系统的正确认知和纠错能力。在软硬件系统设计过程中,线上记录了学生的一点一滴,学生从最初的空白到设计出能够应用于实际的完整的工程系统,学生的收获感满满,真正体会到将所学知识应用于实际的幸福感。通过实践发现:线上线下相结合的案例引导与驱动教学方式有利于提高学生的实践能力、创新协作精神,培养学生的工程思维以及解决实际工程问题的能力。

1.3 线上线下虚仿与实物结合

该课程的实践性很强,务必结合实验对理论知识进行验证才能更好的理解理论知识,由于线下实验课时有限,为此,实验教学部分增加线上仿真模拟实验教学演示。实验内容包括基本软件Proteus 8.6和Emu8086的使用,通过Emu8086软件实现二进制多位加法运算、二进制码转换为BCD码、BCD码转换为二进制码、十进制数的BCD码相减运算、内存清零等实验,通过Proteus 8.6实现简单I/O口扩展实验、8255A并行口实验、8253定时器/计数器实验、数码显示实验。通过线上的仿真练习,学生对实验内容基本掌握,之后在线下操作的时候可以加快进度,在有限的时间内完成多个实验,提高学习效率。理论教学、线上虚拟仿真和线下实践操作三者有机结合,使学生深入理解理论知识并灵活应用。

1.4 题库建设

为了有效、全方位的测验学生的学习效果,以教学主题为单位在学习通平台建立试题库。试题形式包括单选题、多选题、填空题、简答题、程序设计题、硬件设计题等等。知识点全面覆盖,重点和难点对应的试题较多且形式多样。试题体现层次性,有基础型试题、应用型试题和拓展型试题,不同层次的学生对知识进行不同深度的学习,加强学生的个性化培养。题库的应用非常方便,在每一次线下授课之后都会通过题库抽取对应的试题建立作业,线上作业、线下作业相辅相成;每一章的每一节建立对应的小测验,每一章建立本章重点测验。通过各种测验不断的检验学生对理论知识的接受程度,同时也加深了对理论知识的记忆。题库建设的重要意义除了常规的给学生提供测验外,解决的重要问题就是线下课时有限,没有时间在课堂上进行测验,所以平时测验都是利用线上课

下进行测验,为线下课堂学习新知识预留更多时间。

1.5 线上线下学赛结合

在教学实施过程中,为了培养高素质的应用型人才,将学科竞赛的题目融入教学,线上讲解学科竞赛题目的详细内容并进行演示,线下教学过程中重点讲解与竞赛题目相关的知识点,学生在学习理论知识的同时,利用业余时间线上学习竞赛题目,提升学生的实践应用能力。经过一学期的学习与实践,学生可以参加学院级、校级、省级、国家级等不同等级的比赛,比如:电子科技作品设计与制作比赛、挑战杯比赛、智能车比赛等等,学生参赛的范围不断拓宽、参赛的高度不断提升,有效实现赛教融合、课赛融通。

3 线上线下综合考核机制

在传统考核机制的基础上,通过线上加大过程性考核力度,将线上每一部分的学习都纳入期末成绩,建立从期初到期末的全过程综合考核机制。考核内容多样、灵活、层次化,进而多方位、立体化、综合性的评价学生的学习效果,避免传统考核方式偶然性的弊端。线上线下混合式教学更加注重学生学习过程的考核,所以章节任务点、章节测验、作业、章节学习次数、主题讨论、抢答、问卷调查等内容全部计入过程考核。改革后的考试成绩主要包括两部分,每部分各占50%。一部分是过程考核成绩即平时成绩,利用学习通平台进行有效统计和计分,对学习过程进行量化考核。另一部分是期末考试成绩,该成绩包括线上成绩和线下成绩两部分。线上成绩主要利用学习通平台进行客观题的组卷与考试,这样线上部分不仅可以利用题库增加题量,组合多套试卷,使考试涵盖的知识点更全面,而且可以减少老师批阅试卷的工作量,节约纸张、绿色环保,实现部分无纸化考试。线下成绩是通过传统的考核方式对主观题进行考试,重点考察学生的应用能力。由于线下考试减少了客观题,所以考试时间缩短为90分钟,减少监考教师的工作量。

4 教学评价与效果

本课程知识点繁多,而线下课时较少,很难深入讲透每一个知识点,所以线上教学是学习该课程的基础和补充,线下教学则是教学内容的深化和拓展。在教学实施过程中,线上线下同步进行,有效互补。线

上教学很好的解决了线下课堂教学学时有限的问题,尤其是平时的课堂测验、小节测验、章节测验、期中考试等各种测验环节线上进行,学习通平台对测验结果进行实时数据分析和统计,教师可以及时监控学生学习效果,有针对性的线下解决难点问题,对改进教学具有明确的指导意义,有利于形成有效的闭环教学系统。在教学过程中梳理知识体系,重塑教学体系,不断整理并丰富线上教学资源,教学过程中考虑学生的个体差异因材施教,线上资源增加能力拓展板块,提升不同层次学生的学习能力。尤其是线上的学科竞赛部分对提升学生的竞赛能力和成绩起到了积极作用。

调查结果显示,学生对学习通教学平台、教学资源和师资水平等满意度较高,利用学习通平台进行的线下课堂的教学互动极大的提高了学生课堂参与度,提高了抬头率。经过该课程线上线下的深入学习,学生具备了解决本专业领域的实际工程问题的思维方式和实际技能,期末能够设计出满足实际需求的软硬件系统。学生在全国大学生电子设计竞赛、飞思卡尔、智能车、博创杯等学科竞赛中取得了优异成绩。

5 结束语

在高等教育教学改革的大潮中,线上线下混合式教学模式是时代的趋势,形成具有课程特色的线上线下混合式教学必将受到现代大学生的热爱,学生对新型教学方式的热爱与认可在一定程度上反应了本科教学质量。

参考文献:

- [1] 吴宁,乔亚男.微机计算机原理与接口技术[M].北京:清华大学出版社,2016.
- [2] 田嫒.线上线下混合教学模式的起源和课程设计[J].科技文汇,2021,19(535):55-56.
- [3] 王文豪.线上线下混合教学模式构建_以Java程序设计为例_[J].湖北师范大学学报(哲学社会科学版),2021,41(4):99-104.

作者简介:白彦霞(1979—),女,汉族,河北晋州人,研究生学历,副教授,主要研究方向为检测技术。

基金项目:北方国际大学联盟项目,高等教育线上线下混合式教学模式应用研究(以微机原理与接口技术课程为例),项目编号:20210601004。

《微机原理与接口技术》课程教学研究与改革

白彦霞 王欢

燕京理工学院, 河北 廊坊 065201

摘要: 文章分析目前高校关于《微机原理与接口技术》课程教学改革现状, 结合当代学生特点, 充分利用线上科技手段和教学资源, 合理设计线上线下教学内容和结构, 开展以学生为中心, 教师为引导, 融入思政元素的线上线下混合式数字化教学, 对课程教学内容、教学方法进行线上线下数字化教学改革、创新。实践表明该模式对提升学生自学能力和学习兴趣起到积极作用, 学生线下课堂抬头率显著提高。

关键词: 微机原理与接口技术; 混合式教学; 思政元素; 数字化教学

中图分类号: G642

随着网络技术高速发展及各种科技手段的不断更新, 传统的高等教育方式和教学内容需要不断的进行改进、升级和创新。目前线上线下混合式的数字化教学模式已经渗透到大学的每一门课程, 将传统的线下课堂进行改革, 融合线上数字化辅助教学, 已经是高等教育的重要组成部分。

《微机原理与接口技术》课程教学组通过线上线下相结合的数字化教学方式对该课程进行了一系列教学改革, 构建了主要基于超星云平台的线上线下相结合的数字化教学模式, 实现了对学生学习过程的详细追踪和全面评估, 以及对部分学生的个性化、层次化培养。教学过程中将线上丰富的教学资源、科技元素、思政元素以及线下课堂等有机融合, 为学生提供便捷、高效、灵活多样的学习资源和环境。《微机原理与接口技术》课程在实施数字化教学过程中, 既注重基础知识的学习, 又重点培养学生的科技素质、计算机能力和自学能力, 满足社会对应用型人才培养的需求。

1 数字化教学改革现状分析

2020年易晨晖^[1]提出在“互联网+”背景下《微机原理与接口技术》课程应该灵活应用信息化教学手段和方法, 调整和优化人才培养目标, 重构教学内容和课程体系, 提高学生的学习能力与创新能力, 培养高素质新工科人才。2021年张俊杰, 崔建华^[2]利用雨课堂对《微机原理与接口技术》课程进行改革和探索, 教师针对每节课的教学目标, 通过雨课堂以微课件、视频、音频等形式向学生推送教学资料, 优化教学内容, 更新教学手段, 有效提升了学生的知识视野和课堂教学效率, 实现了及时反馈和调整的良性循环。2022

年刘艳, 秦鑫^[3]在新工科背景下, 建立以学生为中心的混合式数字化教学模式, 从教学内容、教学设计、课程思政以及综合考核评价等方面对《微机原理与接口技术》课程进行全方位教学改革, 提高了课程教学质量, 符合新工科人才培养的要求。2022年高广银, 储久良^[4]以一流课程建设为导向, 提升教育质量为目标, 结合课程现状进行总结, 开发了立体化、数字化教学资源, 通过线上线下混合式教学促进了学生主动学习的行为, 学习效果得到显著提升。此外, 大学的各种课程都在进行数字化教学改革。

2 教学内容与资源数字化

2.1 教学内容模块化

《微机原理与接口技术》课程教学目标是通过讲述微型计算机基本原理和输入输出接口技术, 要求学生从硬件层面上理解冯·诺依曼计算机的体系结构和运行原理, 形成微机接口控制系统软硬件开发的初步能力。与之对应的具体教学内容包含了微型计算机基础知识、微处理器与总线、8086/8088 CPU 指令系统、汇编语言程序设计、存储器系统及半导体存储器、微型计算机接口技术、中断系统与中断控制器 8259A、并行通信与串行通信、可编程定时/计数器 8253、可编程并行接口 8255、数/模和模/数转换。

为了有效实现教学目标, 将教学内容分为四个模块, 分别是计算机基础知识、微型计算机硬件系统、微型计算机软件系统和微型计算机与外围器件的接口技术。针对每一个模块在线上配置对应的学习资料, 学生通过线上的学习目录对整门课程的教学内容一目了然, 线上每一个模块都设置了闯关式的模块化测验。

四个模块完成教学之后,对该课程进行汇总,提升学生对课程的整体认知。总之,课程内容通过模块化组织与教学改革之后,对课程整体有了全新的理解,增强了学习效果。

2.2 教学资源数字化

《微机原理与接口技术》国家级精品课程的资源比较丰富,在授课过程中参考中国大学 MOOC 吴宁老师主讲的《微机原理与接口技术》的视频资源,并且选用与该视频资源配套的教材^[5]。该课程知识点繁多且抽象,学习难度较大。理论教学内容需要先理解再记忆,同时要结合实践,线上线下同时进行才能取得比较好的教学效果。所以教学过程中学生除了学习国家级精品课程的部分视频外,课程组教师结合燕京理工学院学生自身的特点,录制了 108 个视频资源并且上传学习通云平台供学生课前、课后及同步学习。此外,线上建设了丰富的辅助教学的数字化资源,主要包括多媒体课件、课前学习资料、章节测验、试题库、作业库、试卷库、电子图书、教学项目、实验教学视频等资源,线上辅助学习资料一应俱全。

3 数字化教学方法

3.1 混合式数字化项目教学

学习该课程的重要目的就是将理论知识应用于实际生活与实践,所以通过具体项目引导学生认识该课程,使学生明白所学内容在现实生活中的具体应用,进而提高学习兴趣。第一次授课就给出具体的教学项目,明确设计任务,学生通过自主协作以小组的形式完成一个项目。在项目具体实施过程中,教师进行点拨、引导和改进,期末进行项目成果展示,学生之间在线上互评出优秀的项目作品。项目教学过程贯穿于整个学期,线上线下同步进行项目的分析与讲解。

在混合式数字化项目教学过程中,关于项目的详细资料、设计要求、仿真结果、具体实物等具体要求线上发布,设计过程在线上做详细的视频讲解,设计过程的难点在线下授课过程中详细讲解。同时,学生在设计过程中遇到的问题发到线上问题讨论区,大家一起讨论完成,讨论的过程都记录为平时成绩的一部分,从而调动了学生参与讨论的积极性,提高了学生的创新能力。每一个项目都需要学生项目组用一个学期的时间进行设计,所以在授课过程中对项目进行模块化分解,学生对项目的不同模块进行详细设计,并

且线上提交并记录每一个设计模块的成绩,期末完成整个项目的完整设计与展示。期末项目成果的展示环节以小组为单位,包括线上和线下两部分。线上在学习通平台为学生建立成果展示平台,展示项目设计思想,对理论知识的应用,实物的演示过程等。每一个项目所对应的设计结果不唯一,为了加深学生对项目设计过程的理解与纠错能力,利用线上学习通平台学生之间互相批阅打分,阐述观点,对设计结果进行纠错与再设计。该方法有效拓展了学生对同一个问题的不同认知能力以及发现问题、解决问题的能力。线下对实物进行现场操作,讲解项目设计过程中的难点、创新点。展示环节是学生对该课程整个学习效果的展示,该环节不仅反映出小组个性设计的风采和创新成果,更是学生设计思想火花的碰撞和理论知识的升华。同时,也能够充分反映出学生设计过程中存在的不足和问题,为今后教学提供改进依据,形成良性的闭环教学^[6]。

3.2 混合式数字化同步实验教学

《微机原理与接口技术》课程理论比较抽象,通过实验进行验证才能更好的理解相关知识点,所以实验教学一直是该课程重点教学内容之一。在实验教学过程中,优化实验内容,拓展实验平台,加深学生对理论知识的理解,锻炼学生的动手操作能力、创造性思维能力,力求在学习深度和广度上进一步加强。

实验教学内容包括 3 个软件实验、3 个硬件实验和 2 个综合性实验。每个实验所对应的具体实验内容与实验操作都录制了详细的视频资料并且在线上设置了学习任务。学生在线下实验之前已经通过线上学习视频资料明白了实验内容、过程和结果,线下实验操作更加顺畅,效率更高,可以完成更多的实验。此外,实验教学过程中增加了仿真教学,满足学生多方面学习的需要。总之,在实验教学过程中将实验视频、仿真平台、线下实验平台有机结合,加深学生对理论知识的理解与应用,培养学生的创新思维和动手能力,提高对电路设计和工程应用的实践能力。

3.3 混合式数字化互动教学

当代大学生是永远在线的一代,手机不离手。所以大学课堂上要充分发挥科技的力量,利用手机进行学习,利用手机进行师生互动、生生互动。《微机原理与接口技术》课程在授课过程中,课前通过手机定位、

拍照、扫描动态二维码等方式进行签到，替代教师点名签到的传统方式，缩短了签到时间，提升了工作效率。授课过程中的问题通过手机进行抢答或者选人的方式回答，回答正确的学生增加平时成绩，线上做好成绩记录。为了让学生各抒己见，积极参与课堂互动，授课过程中某些需要讨论的问题在线上发布，只要参与讨论的学生都会记录平时成绩。线上互动的每一个环节都做到了留痕，记录了学生的平时成绩，因此提升了学生回答问题的积极性与课堂参与度^[7]。

4 混合式数字化教学中的课程思政

《高等学校课程思政建设指导纲要》指出：“落实立德树人根本任务，必须将价值塑造、知识传授和能力培养三者融为一体、不可割裂。全面推进课程思政建设，就是要寓价值观引导于知识传授和能力培养之中，帮助学生塑造正确的世界观、人生观、价值观，这是人才培养的应有之义，更是必备内容。”根据思政建设指导纲要的思想，《微机原理与接口技术》课程在教学设计中综合考虑价值塑造、知识传授和能力培养，课程组教师结合课程知识点，挖掘和提炼相应的知识点所蕴含的思政元素，以润物细无声的方式渗透到教学过程中，表1是对该课程思政元素的挖掘。

表1 《微机原理与接口技术》课程思政元素挖掘表

授课内容	思政元素
0、1 二进制数	培养学生理解 0 生 1，1 生万物的哲学意识和辩证思维。
国产计算机发展史：从“103”机到“神威·太湖之光”	培养学生科技报国的家国情怀和使命担当，感受科学家爱国奉献的精神。
郑纬民教授—中国存储系统的先行者	培养学生努力奋斗、不断创新、不畏困难的科学精神，以及自主研发、自主创新意识。
CPU 里集成上千个上万个器件	训练学生的工匠精神。
家庭安全防盗系统设计	培养学生的工程思维，提升学生的安全防盗意识。
小组实验和项目设计	培养学生知行合一的职业素养和团队协作精神。

与教学内容相关的课程思政知识点很多，这些课程思政内容在教学实施过程中结合多样化的授课方式，线上以问题引导的方式进行渗透，让学生在线上讨论区充分发表自己的观点，线下课堂教师通过学习通云平台，利用词云的方式将学生的观点进行展示、分享。

只要学生在线上发表了观点，学习通云平台就会记录学生的平时成绩，进而提升学生参与过程教学的积极性，最终达到立德树人的教学目的^[8]。

5 结束语

《微机原理与接口技术》课程在教学过程中结合当前新技术，改进教学方法，融合思政元素，将全部教学资源数字化，丰富了课堂教学内容和形式，提升了学生对该课程的学习兴趣和课堂抬头率，为后续专业课程的学习奠定良好的基础。调查结果显示，学生对数字化教学平台、教学资源和师资水平等满意度较高。

参考文献：

- [1] 易晨晖. 基于“互联网+”的“微机原理与接口技术”课程理实一体化教学研究[J]. 无线互联科技, 2020(8): 76-77.
 - [2] 张俊杰, 崔建华. 基于雨课堂的“微机原理与接口技术”课程改革探索[J]. 工业和信息化教育, 2021(2): 49-51.
 - [3] 刘艳, 秦鑫, 张文超. 新工科背景下微机原理课程教学模式探讨[J]. 电脑知识与技术, 2022, 18(5): 160-161.
 - [4] 高广银, 储久良, 成艳, 宦臣. 线上线下混合式一流课程建设研究与实践[J]. 计算机时代, 2022(4): 77-79.
 - [5] 吴宁, 乔亚男. 微型计算机原理与接口技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 2016.
 - [6] 钟乐海, 张鹰. 《微机原理与接口技术》课程教学改革探讨[J]. 四川师范学院学报: 自然科学版, 1999, 020(003): 282-285.
 - [7] 熊庆国, 程耕国, 杨君, 等. 微机原理与接口技术系列课程的改革研究[J]. 文教资料, 2005(30): 2.
 - [8] 柳飞. 创新机制下“微机原理与接口技术”教学改革研究[J]. 中国电力教育: 中, 2012(9): 2.
- 基金项目：北方国际大学联盟项目，高等教育线上线下混合式教学模式应用研究（以微机原理与接口技术课程为例）。

应用型高校自动化类专业的网络教学研究

段昱臻 张景苹 郭悦

摘要：网络教学指的是利用计算机、智能手机和平板电脑等电子设备，以互联网技术为基础，利用网络媒体向学生传授知识。在知识传递方面，网络教学打破了线下教学的时空局限，即使是在极为遥远的地点，也能将知识传递给他人。同时，它还能突破黑板、幻灯等技术的限制，以声音、光、电等多种方式，将所学到的知识直接展现在学生面前。本文以自动化类专业为背景，以独立高校应用型人才的培养为切入点，从网络教学的优点、网络教学的实施策略、实例分析三个方面出发，提出了应用型高校自动化类专业网络教学的方法。

关键词：应用型高校；自动化类专业；网络教学

引言

自动化类专业建立在自动控制的基础上，涵盖了现代高校理工科课程的大量教学内容，具体包括：高等数学、复变函数、自动控制原理、微机技术、微控制器技术、DSP 技术、发动机系统、动力系统、编程技术以及其他领域。其内容不仅包含了高级的理论与方法，而且还包含了软硬件多领域、全方面的教学内容。自动化类专业涉及面广，工作岗位多，就业机会多，但同时也存在着知识迁移困难，难以举一反三，一些课程更是以难以教出的困难和高失败率而闻名。另外，新冠肺炎也促使教育家和学生们把线下教学改成网络教育。在生活中，教师不仅能从理论上获取教育经验，而且还能把这些经验升华成一般的教育理论。文章从网络教育的实际出发，结合应用型高校的实际情况，提出了相应的对策。

一、网络教学的优势

（一）更加便捷

网络教学非常便利，学生可以自由地学习相关的课程，没有任何时间和空间的限制，学生不一定要到课堂上听课，但是如果觉得不适应，也可以在家里或者宿舍里完成。教师也可以把自己的视频或者名师的视频推荐给学生，让他们在课堂上巩固自己所忽略的知识。利用 QQ、腾讯会议、电子邮件以及像雨课堂、云课堂等网络平台，教师们能更好地和学生交流，学生也可以参加班级的讨论，加深彼此之间的了解。

（二）表现力更强

若教师拥有适当的技术与资源，则网络教学的效果优于线下授课。所谓“课堂表现力”，就是在教学过程中，教师利用自己在课堂上的表现，来激发学生们的学习兴趣，确保他们能够正确地传递知识，最终实现既定的教学目标。在网络教学的过程中，教师可以利用仿真软件和 Matlab 控制等方法突破线下课堂的限制，与学生实时互动，让理论知识与应用知识相结合并不再枯燥、碎片化，从而提升课堂表现，这符合培养应用型人才的目的。

（三）能提供大量的网络资源

在日新月异的网络世界里，网络教学资源已不再是稀缺的，很多享有盛誉的高校，例如美国的哈佛和麻省理工高校，已经录制并公布了他们的本科生课程，以供来自各国的教师和学生们的课程中学习和研究。当前，我国高校慕课（MOOC）、爱课程等专业网络教育平台已开始搜集并展示高校网络教育资源。教师也可以自行制作自己的教学录像，上传到以上的网上学习平台。

二、关于自动化类专业开展网络教学的对策

（一）指导并培养学生自主探究与自主学习能力

在第一次上课时，一般先以导论的方式，对本门课程及相关专业做一些简单的介绍，然后再正式地介绍本门课程的内容。教师可以根据这一说明对学生的学习方式指导。利用搜索引擎，可以了解到各个专业课程的发展趋势和突破趋势，了解到各个行业的职业和工作需求，从而更好地了解这门课程在行业专业 and 产业结构中所处的地位和价值。同时，也可以让你了解到社会上对行业专业的看法，还可以利用网络来树立起学生的学习自信，让他们能够提高自己的独立学习能力和特色学习能力，在课程的教学过程中，将补充学习、强化练习、探究性延伸学习等网络教学内容，并在网络上进行安排。学生应该通过下载有关的应用软件来进行补习或加强习题，通过下载有关学科的多媒体教学资料来进行补习或探究式的补习，通过 QQ、电邮等方式来完成对学生的提问和回答，从而达到提高学生个性化学习能力的目的^[1]。

（二）改进网络教学的课堂结构

网络教学的课堂结构是为了克服传统教学模式的缺陷而设计的，同时也是根据网络教学的特点，对网络教学进行扬弃和取舍。首先，大部分应用型高校仍采取两节课程 90 分钟+5 分钟休息时间，共计 95 分钟的教学方式，合理地分配自

己的时间是非常重要的。自动化类专业一般可以划分为理论课和应用课，其中，理论课强调的是数理运算与形式化推理，对学生有较高的数学功底，主要有自动控制原理与现代控制理论；而后者往往侧重于具体的物理对象，而且大部分人都会用仿真软件来实现仿真，这就需要有较高的实际操作能力，其中包括计算机控制技术、DSP 技术以及它们的应用。这两门课的时间安排各不相同：理论课可能由 5 分钟的导言开始，20 分钟的知识要点讲解，5 分钟的课堂练习。这样，95 分钟的课时就可以分成三个阶段，学生们能够集中精力，从而避免在 30 分钟开始之后，学生们很难集中精力的缺点；在应用仿真软件、物理录像等技术手段下，应用类课程的课时会有较大的冗余性，所以，在课时安排上也要做相应的调整。其中，95 分钟可划分为 5 分钟的理论教学和 45 分钟的仿真教学两部分，与传统的课堂教学方式较为相似。

（三）强调交互性、创新教学工具

虽然网络教学缺少了人们与现实世界的面对面交流，但网络教育却能充分发挥现代技术的优势，为学生和教师提供更多的交流机会。因此，在进行网络教学时，也要注重教学手段的革新。比如，公式推导在理论课中占有很大的比例，在网络教学中可以采取以下方式：一是在 PPT 中添加动画；二是使用一块手写输入板，一步一步地将手写的信息输入进去。现在，在淘宝等电商平台上，可以比较方便的购买到各种类型的手写输入板。三是利用小黑板，用摄像机拍下的方式，把公式的推导写出来。此外，在自动化课程的网络教学中，掌握 Matlab 控件的应用，无疑会取得很好的效果。一是一些有动手能力和好奇心的学生可以在教师的鼓励和帮助下，尝试着去破解控制的源码，并对其进行修改。这样，就能达到教育者想要的教学转移的效果，将自动控制原理和程序设计知识结合起来，达到更好的教学效果。二是创新的教学手段也包含了对示范方式的革新。现在已经有了很多新的比如 Focusky、Prezi 等展示工具，Focusky 拥有操作简单、易用性好、可挖掘性强等优点，还可以利用无限缩放/旋转/移动的切页方式，让网络教学变得更加生动、有趣，同时还能达到更加专业的效果。Prezi 是一款能让展示变得更有效率的软件，具有很强的视觉冲击力。与 PPT 相比，这两个软件在可视化表达能力方面都有很大的提高，因此，在教师进行网络教学时，应该重视这两个软件的应用。三是在准备课程的过程中，为了应对现代生活的智能化以及学生

们越来越难集中精神的问题，可以采用微博上经常使用的长图的方式，对课堂上学到的东西进行总结，并在课后发给学生们。这样能够便于学生对所学的知识进行复习，使他们能够充分利用自己的碎片时间，从而达到有效地复习的目的^[2]。

（四）开发学习平台和工学结合顶岗实习的课程包

在应用型高校自动化类专业教学中，要真正实现“在学中做，在做中学”的目的，就是要在强化对学生专业技术技能的培养的同时，兼顾对学生专业能力和发展潜能的培养，从而形成具有特色的网络化学模式。在教学与实践过程中，应采取校企合作、工企融合、项目指导与任务管理等多种方式，以提高学生的专业技能、技能与素质。为使学生更好地掌握所学的知识与技巧，在教学与实习中，以实习为主，利用学校的训练基地，进行长时间的生产训练或仿真训练，同时结合顶岗实习，与岗位相结合，强化学生的专业技术能力，但这种方法难以实施，不利于学生职业能力的提高，也不利于学生的发展。开发学习平台和工学结合顶岗实习的课程包旨在为学生提供一套完整的实训教学系统，使学生能够根据自己的实际情况，在教师的引导下，自主自学、网上自学等多种形式的实训教学模式，通过网络教学、线下教学等方式，实现课堂教学与教学的一体化。

（五）改进网络教学中的教学考核机制

网络教学的特征是匿名性强，很难对其进行监督，考虑到应用院校的学生素质，可以把一般教育中的学生分成两个小组，每个小组负责考核他们的上课情况，以及防止作弊的问题。学生的作业以手写为主，照片为辅，或扫描上载为主，最起码不能粗糙地拷贝粘贴别人的作业。在最后的评量中，要让学生把自己的答案用手写出来，在自己的座位前面装上摄影机，并且要在测验中把自己的答案录下来并上传。教师可以随时利用腾讯会议这样的软件来监视学生的一举一动，而一些特别的受试者，则需要在他们的前部和后部都装上两个照相机，这样可以完全杜绝欺骗，同时也可以保证网上训练的最后成绩。

三、实例分析—以应用型高校的电气自动化技术特色专业为例

（一）内容媒体设计

首先，在教材的选取上，要尽可能地选用符合网络表现力的资讯内容，不要采用移动式的传统教材；然后对所选取的教学内容进行再划分，使之成为若干知识点，并构成“结点”；其次，将一些相关的、相对独立的、相互联系的知识点

用结构图或概念图来组织起来，从而构成教材的“目录”^[3]。在教学过程中，教师可以根据自身的需要，选择适合自己的学习途径，既可以是线性的，也可以是非线性的。在网络教学中，其特点的表达方式不应该仅限于“视频”和“电子课件”，而是要着重表达一些有针对性的内容，运用文字、图片、演讲等静态表达方式，以充分发挥学生的想象力及其它思考技巧；诸如动画影片和电视片段、录像带讲座以及虚拟现实技术这样的动态展示方式，可以帮助学生发挥视觉和听觉等多个感觉器官所产生的广泛效应，同时也可以提高他们的观察和分析问题的能力^[4]。这就需要教师在目前的网络带宽情况下，尽可能以教学目标、学习内容和学生特征为基础，为他们提供不同层次的媒体选择，并始终坚持媒体选择的基本原则，努力将统一与转化两种方式有机地结合起来，让学生的学习兴趣得到更好的提升，让他们的学习能力得到培养。

（二）科技文件同步查询系统的设计及应用

科技文献同步检索系统旨在让学生认识到与所学习内容有关的技术进展，让学生认识到一些具有代表性的创新成果与所学习的基础原理之间的联系，从而培养学生的创新意识，以及初步的创造性思维能力。它由两个部分组成：一是中国的科技论文，二是中国的专利申请。学生只需键入中文或英文的关键字，便可迅速查找到科技发展方面的最新资料。教师在教学中的重要角色就是要对一些具有代表性的创造性结果进行分析。比如，教材以三相为重点，而教师则指导学生查找有关单相、二相、六相等方面的资料。该教学法有效地调动了学生的积极性、主动性，提高了他们的创新意识，提高了他们的思维方式。

（三）技学合一，提高学生的实践能力

通过对制造行业发展状况及对人才的要求进行深入分析，并结合多年的教学实践，对该专业进行全面的教学改革，建立一个“有个性的网上搭建和应用平台”，并以职业生涯发展为目标，明确专业定位；按岗位要求编制课程，按岗位要求组织教学内容；为目标人群设计教学活动；引进中、高级维修电工，强化与职业规范相一致的技能训练；对各专业进行了改革，调整理论课与专业课的比重，以“充足有用”的理论知识为重点，打破了以往“三段式”的教学体制，建立以“专业技术”为主的“一体化”教学模式，初步探讨了以“专业技能”“专业标准”“专业活动”为重点的教学方法^[5]。

结束语

总之,应用类高校旨在培养具备一定理论基础与实践能力的实践性人才,与理论性人才的培养目标相比,实践性人才的培养目标是把一大批高素质的国家及社会优秀的工程技术人才,以此为指导,服务于地区经济的发展,服务于我国企业的成长,走向世界的前沿。为此,应用型高校要在应用型人才培养的基础上,大力弘扬“工匠精神”,以增强学生的动手能力和丰富学生的应用技能为主要教育目的,以高学生的动手能力和丰富学生的应用技能为主要目的,探索新型的电工学人才培养模式,并与应用型高校的具体情况相结合,建立有特色的电工学人才培养模式。

参考文献

- [1]葛继伟.应用型高校自动化类专业的网络教学研究[J].文化创新比较研究,2020,4(36):131-133.
- [2]陈淑娴.基于学习通平台的自动化生产线技术课程教学方式探索[J].轻工科技,2020,36(09):165-167.
- [3]沈智鹏,梁金山,张宁.具有航运特色的自动化专业网络教学模式改革[J].教育教学论坛,2020(16):135-136.
- [4]刘爽.电气自动化慕课教学模式的探索[J].职业,2018(07):87.
- [5]段文勇.自动化专业《计算机网络》课程教学方法探讨[J].科技视界,2016(15):145+167.

浅谈现代教育技术在教学中的应用

段昱臻 任文凤 郭悦 燕京理工学院

摘要：随着信息技术日新月异的发展，现代教育技术在教学中的应用逐步深入，在课堂教学过程中取得了良好的教学效果，促进了教学质量的不断提高。因此，本文主要针对现代教育技术在教学中的应用进行探讨，对现代教育技术的应用特点进行了阐述，对现代教育技术的应用价值和应用策略进行了着重介绍，同时对现代教育技术在教学中存在的问题进行了简要分析。通过合理利用现代教育技术，能够提高学生在课堂上学习的主动性，促进授课教师教学任务的顺利完成。

关键词：现代教育技术；课堂教学；多媒体教学

引言

现代教育技术转变了传统的教学模式，使教学手段发生了巨大的变化，使教育教学迈上了一个新的台阶。随着现代信息技术的迅速发展，计算机、网络技术和教育紧密结合，现代教育技术在现代化教学中得到越来越广泛的应用，信息技术在教育教学中的应用也越来越深入，提高了教育教学质量。鉴于此，在日常教学活动与人才培养的过程中，必须充分发挥现代信息技术的作用来促进教学，进一步提高教学质量。

一、现代教育技术在教学中的应用特点

在现阶段的教学过程中，现代教育技术作为当前人才教育和人才培养不可或缺的重要手段，在教学中得到了广泛的应用。现代教育技术在教学中的应用表现出以下特点。

表现形式丰富。现代教育技术以现代化的多媒体技术为支撑，使教学内容更加丰富和多彩。同时，多媒体在处理信息方面相较于传统教学模式，具有存储容量大、处理速度快、内容易于获取等优势。全新的现代化教学技术也能够根据授课内容创建不同的课程场景，增加课程的趣味性，让原本枯燥乏味的传统课堂授课变得充满活力。与此同时，受到现代信息技术的影响，各类教学知识的存储量也得到了很大的提升。这种现代化教学技术的应用可以通过灵活调整课堂上的讲授时间，留给学生更多的时间用来思考和实践。

转变传统的教学模式。传统的教学模式进行授课时主要是以班级为单位进行，

而在现代化教学技术的影响下，传统的教学模式发生了巨大的变化，表现的更加多元化和立体化。现代教育技术的教学模式具有许多鲜明的特点，例如，现代教育技术能够给学生们营造一个宽广的学习空间，利用多样化的信息输入与输出的手段，为学生们在课堂上的学习提供优良的教学环境，这种多样化的学习方式能够提高学生们在课堂上学习的主动性。现代教育技术能够充分发挥多媒体教学和网络教学的优势，打破三点一线式的传统教学模式，利用表现形式多样和丰富多彩的多媒体教学手段，对传统教学过程所使用的教科书中包含的抽象的知识进行加工，将其内容通过图文并茂的形式呈现出来，使得学生们更加容易理解授课内容，最终达到提高教学效率和质量的目的。此外，学生不再仅限于利用有限的课堂时间来进行学习，学生还可以利用课余时间，借助微课、慕课等多种类型的网络信息技术进行更加深入的学习。

融合多元化的系统思维。现代教育技术具有较强的实践性和操作性的特点，进而使得教育理论和教育实践得到了进一步的发展。通过合理利用现代教育技术，可以引导学生借助网络等信息技术对感兴趣的知识点进行检索，同时也能够结合学生自身的学习需求，通过对开放式的系统思维进行进一步学习，从而加深对课堂上知识点的理解，最终可以使丰富的教育资源为己所用，逐渐形成自己独特的认知体系。

实现教育资源的共享。现代社会，互联网技术高速发展，网上的教育资源种类丰富，例如：各类教育网站、电子图书、音像资料、电子期刊等。只需要通过互联网进行简单的检索，便可以获取海量的教育资源，通过教育资源的共享，我们获取教育资源变得更加便捷，获取各类优质的教育资源不再受空间和时间的限制。现代教育技术能够将图、文、音、像等信息资源整合在一起，增加知识的趣味性，便于学生从多角度对知识进行理解，实现了现代化教学的生动性，同时使得教学内容更加充实，进一步丰富了教学资源，延伸了教师授课内容的广度和深度。

提升公共课程质量。现代教育技术对提升公共课程质量同样起到了非常重要的作用。

例如，在现代教育技术的帮助下，可以将比较复杂的传统公共课实验所需要的一系列实验室演示操作转变为以视频的方式通过显示器进行播放，从而借助网

络媒体教学等新型的授课方式，可以随时随地进行学习，并可以通过对视频进行循环播放学习来加深学生对实验过程和实验现象的理解，以此来实现对学生实验技能的培养。

二、现代教育技术在教学中的应用价值

现代教育技术在教学中的应用价值是显而易见的，不仅有利于活跃课堂气氛，还能够授课过程中提升学生学习能力，也可以促进知识迭代，并达到提升教学质量的目的。因此，在授课过程中应当灵活运用现代教育技术，使其成为课堂教学活动的有效辅助手段，实现教学任务的顺利进行。现代教育技术在教学中的应用价值如下所述。

现代教育技术可以活跃课堂气氛。在传统的课堂学习中，知识点都是以教科书为依托，这种知识点的展现方式较为单调，从而导致学生在从教科书中获取知识的过程中，难以提升学习兴趣，而通过使用现代教育技术，则可以有效缓解上述问题。授课教师可以通过利用多媒体课件，对课本中的知识点进行整合，以更加新颖的形式对知识点进行展示，进而激发学生在课堂上的学习兴趣，丰富学生在课堂授课过程中的感官体验，同时现代教育技术的合理使用可以起到活跃课堂气氛的作用，从而使学生在课堂上都能够自觉地进行学习。

现代教育技术可以提升学生学习能力。在课堂教学过程中，并不是所有学生都能够完全理解教师课堂上所讲述的知识，由于不同学生对知识的个体吸收能力存在差异性，在同样的教学环境下，有的学生对知识点的吸收能力较强，而有的学生对知识点的吸收能力较弱。对于对知识点的吸收能力较弱的学生来说，如果授课内容所涉及知识点的难度过大，他们就很难进行吸收。为使上述情况得到改善，教师在实际授课过程中，更应合理运用现代教育技术，对较为复杂的知识点进行梳理整合，以更加直观的方式进行展现，这样便于学生更好的对课程的知识点进行理解，从而大幅降低学生的学习难度，促进学生顺利地消化吸收相关专业知识，从而提升学生的学习能力。

现代教育技术可以促进知识迭代。网络环境中包含着相当多的知识，比如利用互联网可以检索到各类教学资源，通过对其进行有效的梳理归纳，能够帮助授课教师顺利开展教学，并将其所蕴含的知识点进行迭代，可以开阔学生的视野，进一步丰富教学内容。

现代教育技术可以提升教学质量。运用现代信息技术，可以起到辅助提升教学质量的效果。授课教师可以运用现代信息技术，在授课过程中调动学生在课堂上学习的积极性与主观能动性，在课堂上充分给予学生发挥空间，通过授课教师的进一步引导，使其成为课堂中的重要参与者，加深其对知识的理解和掌握，从而大幅提升课堂教学质量。

三、现代教育技术在教学中的应用策略

为了充分运用现代教育技术，使课堂氛围变得更为活跃，主要可通过课堂导入、提高学生学习兴趣、合理利用新型教学资源等方式，让学生在课堂上都能积极参与到实际学习之中。现代教育技术在教学中的应用策略研究，详细内容体现如下。

课堂导入。在课堂教学中，课堂导入环节作为整个授课过程的重要一环和课堂教学的起点，可以在一堂课的初始阶段快速的帮助学生了解本节课授课教师的教学内容、本节课的学习目的和学习方式，因此它的作用不可低估。一堂课如果课堂导入部分准备充分，就能快速吸引学生的注意力，进一步激发学生浓厚的学习兴趣，调动学生学习的积极性，为整节课提供良好的铺垫，同时有利于学生的学习质量和授课教师教学质量的提升。在实际教学中，授课教师可运用现代教育技术进行课堂导入，充分发挥现代教育技术的优势，生动形象的将课堂导入环节展示出来，从而把学生引导到授课的内容上来，推动授课教师顺利达到教学目标。

提高学生学习兴趣。兴趣是学生在课堂学习过程中最好的老师，如果学生在课堂上能够始终保持着对授课内容的兴趣，那么肯定可以取得良好的教学效果。因此，授课教师应善于借助现代教育技术，通过激发学生的学习兴趣，调动学生的学习热情，使他们主动去探索更深层次的知识，从而提升其探索能力和理解能力，增加其知识储备，使其获得全面的发展与进步。

利用新型教学资源。慕课、微课等新型教学资源作为现代教育技术的重要组成部分，具有显而易见的优势。教师应努力发挥出慕课、微课等教学资源的作用，打破以往课堂教学的局限，让慕课、微课等教学资源在教学过程中起到有效的帮助作用，辅助授课教师更好地完成教学任务。并且，利于慕课、微课等形式新颖的教学资源，能够充分调动学生在课堂上的积极性，使得学生能够有效学习相关知识，从而提升学生的学习水平。另外，优秀的影视资源蕴含着种类丰富的知识，

在教学中，教师可通过对影视资源进行筛选和编辑，实现影视资源的合理利用，将观看影视资源作为一种教学的辅助手段，达到增强教学效果的目的。通过放映与教学主题相符合的影视资源，使学生掌握到更多的知识和获得精神层面的力量，使教学的本质价值能够得到更好的凸显。

四、现代教育技术在教学中存在的问题

现代教育技术在教学中发挥着重要的作用，但是其仍存在一定的问題，例如：教学课件制作不合理、信息技术与教学内容脱节、思想认识上存在误区等。所以，在教学中应当针对性解决相应问题，才能充分发挥现代教育技术的优势。现代教育技术在教学中存在的问题如下所述。

教学课件制作不合理。一方面，

有的授课教师制作的多媒体教学课件仅仅是对教科书的简单摘抄和拼凑，往往表现为对教科书中文字和图形等内容的简单剪切和拼接，教学课件的设计思路仍旧停留在传统的教学模式上，并且所使用的教学课件的界面和流程显得过于单调。另一方面，一些教学课件表现形式冗杂，往往是多媒体课件的背景复杂、随意使用大量与教学主题不相关的音频、视频和图片，此类教学课件虽然在外观上略显美观，但其实分散了学生在课堂上的注意力，更是冲淡了学生对教学重点和难点的关注，最终对教学效果产生负面的影响。此外，为了追求信息的完整性，一些授课教师制作教学课件时，将所有与教学内容有关的教学资料都进行简单的罗列，而在授课过程中，由于课堂讲授时间有限，授课教师只能通过加快语速对幻灯片进行放映，结果是在短时间内向学生输出大量的知识点，使其难以消化吸收，影响了学生对授课知识点的理解和接纳。

信息技术与教学内容脱节。一方面，有的授课教师在授课时所用的课件仅仅是将在传统课堂上需要在黑板上书写的内容全部照搬到了幻灯片上，并未进行任何修改，而且在教学方法上没有做任何创新。另一方面，一些授课教师在实际的课堂教学中，为了追求新颖，把使用信息技术作为授课的重点，而淡化了教学的内容，甚至完全抛弃了传统的教学方法，结果导致信息技术与教学内容严重脱节。此外，一些授课教师缺乏相应的教学设计能力，仅仅是将信息技术作为一种教学的工具简单使用，而不能做到把信息技术与课堂教学融合为一个整体。

思想认识上存在误区。一方面，有些教师认为多媒体教学无法达到传统教学

所取得的课堂教学效果,而仍旧坚持使用在黑板板书的传统教学方式。另一方面,有些教师完全否定了传统教学模式,认为只有使用多媒体技术进行教学才能取得良好的课堂教学效果。此外,一些教师虽然利用多媒体技术进行授课,但由于没有投入太多的时间和精力进行多媒体课件制作,最终导致教学效果较差。

学习质量问题。由于学生的能力基础和学习方式有所不同,因此,学生对于课程内容的接受程度也存在显著的差异。在利用现代教育技术的同时,要保证所有学生的学习质量。

结束语

总而言之,现代教育技术在教学中的应用十分广泛,在教学中的应用价值显著,为开阔学生视野等方面带来了更为广阔的天空,更是为学生的学习质量和教师的教学质量的提高提供了途径。教师在授课过程中应重视使用现代教育技术,充分发挥其优势作用,改善其存在的不足,激发学生在课堂上的学习兴趣,使其积极主动地参与到课堂学习之中,最终达到提高教学质量的目的。

参考文献

[1]霍晓峰.现代教育技术在高校模块化课程教学中的应用探究[J].科技视界,2021,341(11):12-13.

[3]吕继宏.现代教育技术在教学中的应用策略研究[J].学周刊,2020,436(16):49-50.

[3]李得昇.现代教育技术在教学中的应用[J].现代信息科技,2019,3(10):131-132+134.

[4]王希,戴靓婕.基于微型化学习资源的现代教育技术慕课设计研究[J].信息与电脑(理论版),2021,33(13):217-219.

[5]陈明睿.基于现代教育技术的高校计算机教学模式分析[J].科技视界,2022,383(17):94-96.

《传感器技术与应用》案例教学模式思考和探索

常文慧, 白彦霞

(燕京理工学院信息科学与技术学院, 河北廊坊 065201)

摘要:对于自动化、机器人、物联网专业而言,《传感器技术与应用》是一门非常重要的专业基础课程,该课程对不同的传感器结构及工作原理、基本类型及应用、参数和特性等内容进行了介绍,对检测及控制有一定的指导作用。该文依托学院学科竞赛及产教融合,对该课程的教学案例、教学方法、评价标准等内容进行了改革。在取得一定教学效果的基础上,促进了学科竞赛的发展和企业人才的培养。

关键词:学科竞赛;《传感器技术与应用》;教学改革;案例教学

中图分类号:TP212-4;G712

文献标识码:A

文章编号:2096-5206(2021)01(b)-0012-03

Thinking and Exploration of Case Teaching Mode of Sensor Technology and Application

CHANG Wenhui, BAI Yanxia

(College of Information Science and Technology, Yanching Institute of Technology, Langfang Hebei, 065201, China)

Abstract: Sensor technology and application is a very important professional basic course for automation, robotics and Internet of things. This course introduces different sensor structures and working principles, basic types and applications, parameters and characteristics, etc., which has a certain guiding role in detection and control. In this paper, relying on the academic competition and the integration of production and teaching, the teaching cases, teaching methods and evaluation standards of the course are reformed. On the basis of certain teaching effect, it promotes the development of subject competition and the cultivation of enterprise talents.

Key words: Subject competition; "Sensor technology and application"; Teaching reform; Case teaching

近年来,世界各国对智能制造都高度重视,它代表了一个国家信息技术发展的综合水平,而传感器技术作为智能设备的关键环节,是智能工厂的感官系统、信号获取的重要入口,也是发展智能制造的基础和核心。

在高校教学中,《传感器技术与应用》课程涉及理论性知识较多,实践性强,要求学生具有一定的专业基础知识储备。通过课题组教师的授课经验发现,在进行传感器原理类的知识讲解时,学生的积极性较低,互动较少,而在讲解传感器应用部分的内容时学生兴趣较高,分析具体原因:部分学生无法根据自己的知识积累去完成传感器知识的学习,而在传统的授课中,应用类知识讲述较少。特别是 5G 时代的到来,传感器所发挥的功能极大^[1]。《传感器技术与应用》案例教学模式应改变以往单一的模式,丰富其教学形式。所以针对此问题,该文对依托学科竞赛和产教融合设计课程案例,通过尝试改进教学方法调动学生学习的主动性和积极性进行了分析和研究,旨在弥补当前教学中存在的不足之处,以达到提高学生综合能力、并为社会提供先进的创新型人才的目标。

课题来源:河北省高等教育学会高等教育科学研究“十三五”规划课题,课题名称:以学科竞赛为纽带建设自动化设计类课程群(项目编号:GJXH2017-51)。

作者简介:常文慧(1985-),女,河北衡水人,硕士,讲师,研究方向:智能家居,信号处理,传感器。

1 《传感器技术与应用》教学情况

信息技术的日新月异加大了对传感器技术的需求,它是现代科学技术领域中尤为重要的组成部分。《传感器技术与应用》课程涉及理论知识较为丰富,在教学中教师若采用传统的授课方法对理论知识进行推导和讲解不仅不利于学生对课程的学习,而且学生无法将理论知识和实践应用相融合,很难真正意义上实现该课程的教学目标,与应用型人才培养的目标差距也较大^[2]。除此之外,当前的教学模式还存在以下问题。

1.1 理论知识枯燥、学生积极性不高

《传感器技术与应用》课程的理论知识涉及高等数学、电路、模电等课程的内容,对于部分同学而言,由于基础不够扎实,很难理解课程中的知识点。加上该课程涉及面广,各节知识点之间缺乏连续性和整体性。因此在该课程基本原理的学习中感觉难度较大,且由于内容较为枯燥,学习积极性不高。这就影响了教学整体效果。

1.2 验证型实验限制学生的创新思维

传统的实验授课主要是针对不同传感器的应用进行验证,所以学生往往被动的根据实验指导书按照步骤操作,缺少发现问题和解决问题的过程,因此虽然安排了实验课程,但是无法从根本上将学生学到的理论知识和实践应用进行结合,也较难实现为企业输送所需的应用创新型人才的目的。

1.3 评价方式与应用型人才培养目标脱轨

传统评价方式主要是通过平时出勤、作业和期中期末考试的方式进行,这种评价方式无法从客观上评价学生的知识掌握能力,更没有涉及对学生彼此间合作能力、挑战创新能力、语言表达能力等方面的评价,而这些能力却是当今应用型创新人才所必备的。

当前,在国家大力倡导高校应用型人才培养的背景下,人们越来越意识到应用型人才培养对学生提升个人职业素养和提高个人竞争力的重要性,而传统教学模式虽然涉及实验教学环节,但是实验和理论二者缺乏沟通的桥梁,无法满足应用型人才的培养目标。因此对于应用型高校一线教师而言,在教学中积极探索应用型人才的培养方式是必要的^[3]。

2 案例模式教学改革

为了顺应新时期教学改革的要求,以及达到培养应用型人才的目标,针对《传感器技术与应用》在当前教学过程中存在的问题,本次依托学科竞赛为纽带的案例教学模式探索主要涉及以下几个方面。

2.1 以学科竞赛及产教融合为依托的案例设计

该环节根据学生的学习情况将课程的重点和难点按等级分类归纳,将学科竞赛及企业生产融入案例教学模式探索中。目前,本学院学生参与的学科竞赛项目包括“西门子杯”智能制造挑战赛、全国电子设计大赛、“博创杯”电设大赛、“恩智浦杯”智能汽车竞赛等赛项,学科竞赛活动不仅可以激发学生的学习兴趣,促进实践能力提升,而且可以有效培养和锻炼学生的创新意识和创新能力。在以学科竞赛为载体设计教学案例时,需要授课教师对各赛项的赛题、比赛情况进行预先调查分析,同时和各赛项负责教师对该赛项中学生存在的问题进行讨论,找到教与学的结合点,以便在案例设计时将问题融入进去,在利用学科竞赛推动课程教学改革的同时也以教学改革促进学科竞赛成绩的提高,两者相辅相成,相互促进。

在基于产教融合的案例设计方面,需要通过教师到企业锻炼、与企业导师沟通等方式进行,主要由企业导师对企业中存在的问题和具体的人才需求进行归纳,以此为依据,授课教师根据自身授课经验和学生的学习情况对相关问题进行整理并设计合理的教学案例,从而实现产教学三者融合。以产教融合为载体设计的教学案例能够让学生对所学课程在企业生产中的应用进行了解,从而提高学生学习的主动性,增加学习动力。

在教学改革中,案例设计环节是一个逐步积累的过程,需要教师在教学中能够根据学生对案例的理解情况和案例相关任务的完成情况进行调整和改进,为更好地进行案例教学打下基础。

2.2 案例教学过程实施

对于《传感器技术与应用》课程而言,采用“以教师为中心”的灌输式教学模式难以调动学生的学习兴趣,学生在学习知识的过程中较为被动,缺少独立思考问题的能力,因此很难达到较好的教学效果。在本次教学改革中,课题组教师尝试对教学过程进行了设计和改进,针对不同类型的传感器设计不同案例,同时将学生以分组的形式进行案例任务的分配和案例相关资料的查阅,在进行分组时,在确保每个

学生能够在各个方面的能力都得到训练和提升的前提下,采用交叉分组的形式,即在不同的案例中,让学生参与到不同的组别中,既培养学生的沟通能力和团队精神,又能从完成案例的过程中挖掘每位学生的潜力。案例教学过程的实施引导学生积极地参与其中,这样发挥了学生的主观性,重要的是培养了学生解决问题的能力。

2.3 线上辅助教学

由于《传感器技术与应用》课程涉及的原理性内容较多,而每位学生的知识储备情况不同,线上辅助教学环节要求教师提前通过调查问卷等形式对学生的课程预备知识掌握情况进行了解,录制微视频在线上平台对线下授课内容涉及的理论知识进行预先复习和讲述,从而使得线下授课更有针对性,提高上课效率^[4]。

由于本次教学改革重点采用案例教学的方式,因此在进行案例题目布置和案例方案验收及评价时,主要采用线上方式进行;教师在进行线下理论知识授课前提前在线上平台发布相应的案例题目、案例要求及所需的知识储备,同时设定案例方案提交时间,从而激励学生课上认真对相关理论知识进行学习、课下对完成对案例所需知识和资料的学习和查阅,增强学生主动进行知识探索的动力。

2.4 实验环节改进

在《传感器技术与应用》理论教学基本完成后会安排实验教学,传统实验教学的形式往往偏验证性,设计类实验较少,因此在本次教学改革中,对实验部分的内容进行了改进,在保留部分验证型实验的基础上,增加了综合实验内容的设计,而由于综合设计实验涉及与其他课程的交叉,需要课下查阅资料较多,因此往往采用小组形式进行,将学生 2-3 人分成一个小组,实行组长负责制,负责本组成员任务分配、进度监管等内容。综合设计实验要求同学们完成传感器选择、电路设计、信号处理、曲线仿真等内容,因为需要学生课下对相关知识进行调查并通过彼此配合才能在有限时间内完成,因此对学生们的团队合作能力、合理规划时间能力及自学能力都提出了一定的要求,对各课程间知识的融合应用能力的要求也较高^[5]。

2.5 课程考核方式改革

传统的《传感器技术与应用》课程考核方式为实验 10%,平时成绩 20%,期末成绩 70%,而期末考试涉及题型一般包含名词解释、计算题、选择题等,很多同学为了能够取得好的成绩,往往进行考前突击学习,这种突击式学习更多的是采用死记硬背的方式,且不论是否能够取得好的成绩,即使取得好的成绩也无法客观判断学生掌握知识的能力。

为了激发学生学习的积极性,达到真实评价学生学习效果的目的。在本次教学改革中,对考核方式进行了改革,改革后的评价方式包括案例评分(20%)、平时成绩(15%),实验(15%),期末考试(50%)几个部分,分别从“课程知识、创新能力、职业素养”三个方面进行综合评价;其中案例评价方面,主要通过与企业导师合作,评价学生对案例的完成情况,明确评价标准,从而更有针对性的改进教学,提高教学质量;针对实验部分的评价,除了传统实验的评分外重点增加了综合实验的评价标准,通过组内评分和小组间评分的形式对每个学

生综合实验的完成情况、团队合作情况进行评价;在期末考试题型的安排上,增加设计类题目及传感器技术应用类题目的占分比例,重点考查学生对知识的应用能力^[6];通过对以上内容的考核在一定程度上实现多方面评价学生传感器知识应用能力的目标。

3 结论

传感器作为智能制造的核心,对当前我国大力发展智能制造起着举足轻重的作用。本文针对如何以学科竞赛和产教融合为纽带进行《传感器技术与应用》课程的教学改革进行了介绍,分别从案例设计、案例教学实施过程、实验教学改革、线上辅助教学和教学效果评价几个方面进行了说明,此次改革的目的在于使学生在了解传感器基本原理的基础上,能够综合应用其他课程知识进行检测系统及控制系统的设计,在提高学生学习和综合运用知识能力的同时也为应用型创新人才培养打下了基础。

参考文献

- [1] 洪琴. 应用型本科高校物联网工程专业传感器课程教学改革初探[J]. 当代教育实践与教学研究, 2017(3): 156.
- [2] 关宏强. 高校传感器与检测技术教学改革研究[J]. 科技经济导刊, 2020, 28(4): 162.
- [3] 彭学勤. 新技术背景下“传感器技术与应用”课程教学创新[J]. 河南教育(职教), 2020(Z1): 50-52.
- [4] 祝开艳, 吴晓雪, 梁策, 等. 基于混合式教学的“传感器原理与应用”课程教学研究[J]. 教育教学论坛, 2020(24): 267-268.
- [5] 陈敏. 运用多种教学方法, 提高传感器教学有效性[J]. 科教文汇(中旬刊), 2017(4): 88-89.
- [6] 陶铭, 曲超, 洪小宇. “新工科”背景下物联网工程专业人才培养方案探索[J]. 现代计算机(专业版), 2017(21): 39-43.

(本文编辑: 郭海峰)

(上接第 8 页)

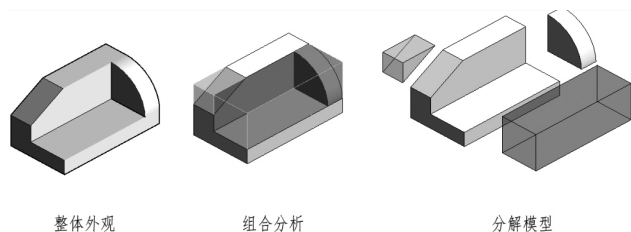


图 1 利用 Revit 零件置换功能展示组合体的分解组合

在传统的基于二维图纸的工作模式中,绘图、读图和图解能力具有同等的重要性。但是在基于 BIM 技术的工作模式中,随着模型的建立,Revit 能自动生成符合建筑工程制图规范的各种视图;而过去需要利用图解法来分析和解决的空间问题在 BIM 软件中可以轻而易举地解决。在行业实践中,手工制图和用图解法解决空间问题的手段已经越来越少为人所用。因此,在课时安排中可以对绘图和图解法的课时内容进行微调,增加以 Revit 建模和模型数据获取的学习内容,使学校所培养的学生毕业后能快速适应基于 BIM 技术的工作模式^[9]。

4 结语

通过将 BIM 技术与专业课和专业基础课的融合,

不仅可以有效解决 BIM 教育的强烈需求与课时紧张的矛盾,还可以借助 BIM 技术提高现有课程的教学与学习效率,同时还减少了学生自行在校外学习 BIM 技术的负担,并且,通过 BIM 融合课程所培养的学生将更有能力适应基于 BIM 的工作模式,更符合行业的人才需求,是很值得尝试的教学改革途径^[6]。

参考文献

- [1] 邱兰. BIM 大背景下高职院校土建类专业教学改革探析[J]. 教育教学论坛, 2016(28): 135-137.
- [2] 芦良健. 高职院校土建类专业 BIM 教学改革方法探析[J]. 智能城市, 2017, 3(3): 140.
- [3] 林建昌, 连跃宗, 何振晖, 等. 高职院校土建类专业 BIM 技术教学改革研究——以漳州科技职业学院为例[J]. 福建建筑, 2020(3): 132-136.
- [4] 王文芳. 高职院校建筑类专业 BIM 课程设置探析——以兰州石化职业技术学院为例 [J]. 高教学刊, 2017(15): 180-181, 184.
- [5] 方鲁兵. 高职院校土建类专业 BIM 技能人才培养研究[J]. 安徽建筑, 2019, 26(5): 211-212.
- [6] 刘明学. 校企合作视野下的高职土建类专业人才培养改革研究[J]. 教育与职业, 2015(25): 90-91.

(本文编辑: 郭海峰)

基于可证明安全性的密码认证 RFID 通信系统安全协议

李昆, 刘继超

(燕京理工学院, 河北燕郊 065201)

通讯作者: 刘继超, E-mail: liujichao@yit.edu.cn

摘 要: RFID (RaDio Frequency IDentification, 射频识别)技术是一种新兴的非接触式自动识别技术。然而, 由于 RFID 设备的局限性, RFID 技术仍然存在着不可忽视的安全隐患。提出了一种基于信任链的 RFID 系统安全体系结构。在分析 RFID 系统组成和网络体系结构的基础上, 构建了从感知层、传输层到应用层的安全信任链。根据 RFID 系统的级别, 对 RFID 设备进行分层和安全管理, 构建一个无需第三方认证直接证明身份真实性的模型。提出了一种新的支持快速切换的接入认证协议和安全关联协议。新协议提高了业务效率, 降低了协议复杂度, 降低了设备接入时延。针对标签所有权转移的隐私泄露问题, 提出了一种标签所有权转移的隐私保护模型。该模型赋予攻击者获取阅读器私钥等攻击能力, 可用于标签所有权转移协议的隐私保护分析。同时, 给出了一个基于公钥加密的标签所有权转移的原型协议。结果表明, 该原型协议满足标签隐私保护要求, 适用于支持公钥加密的标签和对安全性要求较高的 RFID 应用。

关键词: 射频识别; 安全协议; 隐私保护; 标签所有权转移; 密码身份验证

0 引言

目前, 全球信息化程度不断提高, 计算机网络已经渗透到社会的各个领域[1]。电子邮件、实时通讯、网上购物、网上银行和电子政府都依赖于计算机网络。随着计算机网络的普及和使用, 网络安全问题日益突出[2]。银行用户在网上购物、登录网上银行进行支付时, 通过公开网络传递的用户敏感信息可能被恶意用户劫持。因此, 如何安全有效地利用网络资源是信息系统设计面临的重大挑战。密码算法的安全性是基于密钥安全性的。对于想要安全通信的用户, 只有通过相互认证并建立密钥来保护会话的安全性, 加密算法才能真正发挥其应有的作用[3,4]。因此, 设计一个安全的认证密钥交换协议对实现开放网络中的安全通信起着决定性的作用。在实际应用中, 标签极易受到各种攻击, 如对标签及其载体的识别和恶意跟踪、对标签数据进行分析以获取商业秘密、伪造标签以通过系统验证等。这些问题可以通过物理措施和安全协议来解决。然而, 物理方法缺乏灵活性, 使用成本高。安全协议主要基于密码技术。设计一个安全可靠的标签认证协议和其他相关协议, 应用成本低, 具有良好的灵活性和可扩展性。

基于密码的认证密钥交换协议是目前使用最广泛的认证和密钥建立方法[5,6]。密码认证密钥交换协议描述了通信双方相互认证和密钥协商的过程。即开放网络中的两个或多个用户在密码认证的基础上, 通过密钥交换协议建立共享的会话密钥, 实现安全通信。为了提高系统的安全性, 学者们提出了一种双因素认证机制, 即在密码因素中加入智能卡、密码卡、电子令牌等物理因素[7-9]。即使一个身份验证因素被破坏, 双因素身份验证系统仍然是安全的。目前使用比较广泛的是基于密码和智能卡的认证双因素认证机制[10]。在持有密码的同时, 用户还持有由服务器发给用户的智能卡, 该智能卡可以唯一地识别用户。密码认证和智能卡认证增强了认证系统的安全性, 减轻了服务器的存储负担[11]。相关学者提出了一种基于哈

希函数的动态口令认证方案[12-14]。用户每次登录时，将用户登录次数与哈希函数结合，生成一个无法复制的动态密码，用于抵御重放攻击。研究人员提出了一种有效的远程认证方案，该方案也是基于密码和智能卡的[15,16]。该方案可提供双向认证，并可抵御重放攻击和用户模拟攻击。该方案基于简单的哈希函数，不需要在服务器端保存用户密码表。计算效率很高。是一种高效实用的远程认证方案。但该方案不提供会话密钥交换功能。该方案使用时间戳作为认证消息的时变参数。使用该方案时，远端系统与用户终端之间的时钟同步问题是不可忽视的[17,18]。相关学者提出了不同的认证和交换密码[19,20]。不同的密码是指每个用户只与一台服务器共享一个密码，然后所有用户在服务器的帮助下建立一个共享组会话密钥，从而可以使用不同的密码进行认证和交换。

在分析射频识别(RFID)系统组成和网络结构的基础上，划分了 RFID 系统的安全区域。构建从感知层、传输层到应用层的安全信任链，实现整个 RFID 系统的安全。具体来说，本文的技术贡献可总结如下：

根据 RFID 系统的层次，对 RFID 设备进行分层安全管理，需要一种适合处理对象多、资源消耗低、易于管理、对象本身直接证明标识真实性而无需第三方认证的模型。解决了一些 RFID 系统应用中设备大规模部署、离线认证和直接认证的需求。通过分析 WAPI(无线局域网认证和隐私基础设施)，提出了一种新的支持快速切换的接入认证协议和安全关联建立协议。提出了一种标签所有权转移隐私模型，使攻击者能够发起协议会话、窃听协议会话进程、断开标签并发起标签所有权转移会话。提出了一种基于公钥加密的标签所有权转移原型协议。根据提出的隐私模型，证明了该方案对标签具有正向和反向的隐私保护，同时该方案还满足其他安全要求。本文的其余部分组织如下：第二部分分析了基于信任链的 RFID 系统的安全体系结构；第三部分研究了可证明的安全的 WAPI-XG1 访问和快速切换身份验证协议；第四部分研究 RFID 标签所有权转移的隐私安全模型；第五部分总结全文。

2 基于信任链的 RFID 系统安全体系结构

2.1 基于信任链的 RFID 系统安全模型

1) 体系结构

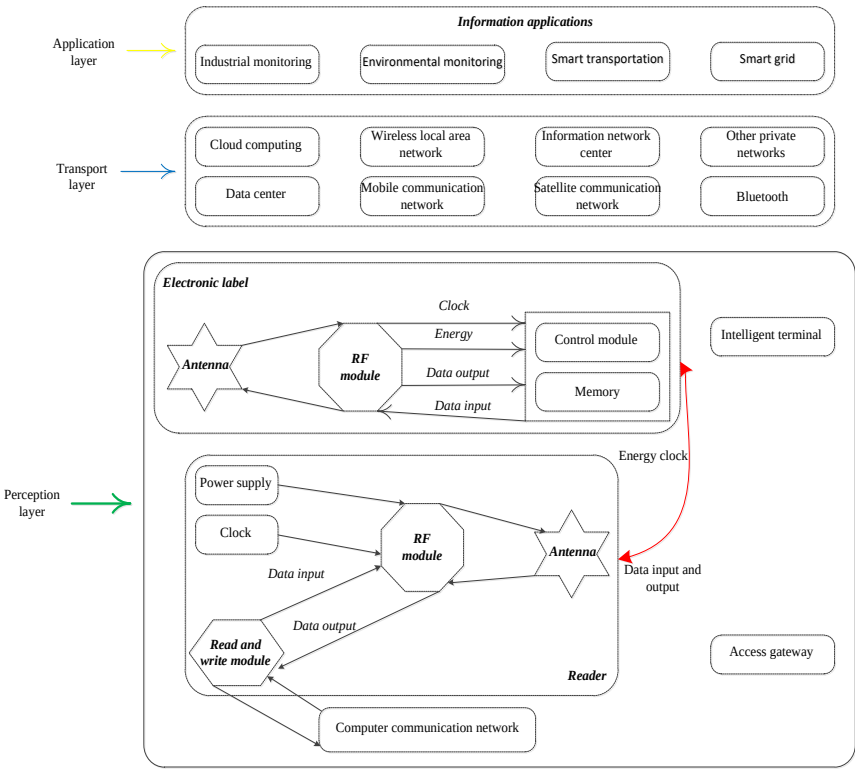


图 1 RFID 系统架构

RFID 系统安全研究应从现有 RFID 系统的常见网络技术中寻找安全问题，从系统应用中寻找安全需求。RFID 系统的特点是规模大、参与设备多、异构性强、汇聚多种网络形式、不同设备具有不同的资源。需要满足远程接入、移动接入、定位跟踪等需求。从架构的角度来看，RFID 系统通常有三个级别，如图 1 所示。感知层实现对物体的全面感知、识别和定位。传输层(网络层)负责数据和信息的可靠传输，应用层负责智能处理。感知层包括 RFID 标签、读取器、智能终端和接入网关，它们可能包含上述部分或全部功能。感知层是 RFID 系统的信息和数据来源。大规模感知层设备构成了无线感知网络。传输层包括无线局域网、移动通信网、卫星通信网等，以及建立在这些网络上的信息网络中心、数据中心、云计算平台等。传输层承载是核心网络，通常是一个 IPv6 或 IPv4 网络。传输层传输的内容是 RFID 系统信息和数据。此外，传输层还包括信息存储和查询、网络管理等功能。云计算平台作为海量感知数据的存储和分析平台，是 RFID 系统传输层的重要组成部分，是应用层许多应用的基础。应用层是 RFID 系统信息和数据的融合处理和利用。这是 RFID 系统建设和开发的目的，包括为用户提供商业应用服务的业务系统、智能电网系统和智能交通服务。应用层依赖感知层提供的数据对数据进行分析和处理，提供相应的服务功能。有些函数需要经过相应处理后，通过传输层将处理结果返回给感知层。

2)安全架构

与 RFID 系统的层次模型相对应，RFID 系统的安全分为感知层安全、传输层安全和应用层安全。通过从感知层、传输层、应用层三个层次全面提升网络安全，从感知层、传输层、应用层构建安全信任链，实现整个 RFID 系统的安全。安全 RFID 系统模型如图 2 所示。

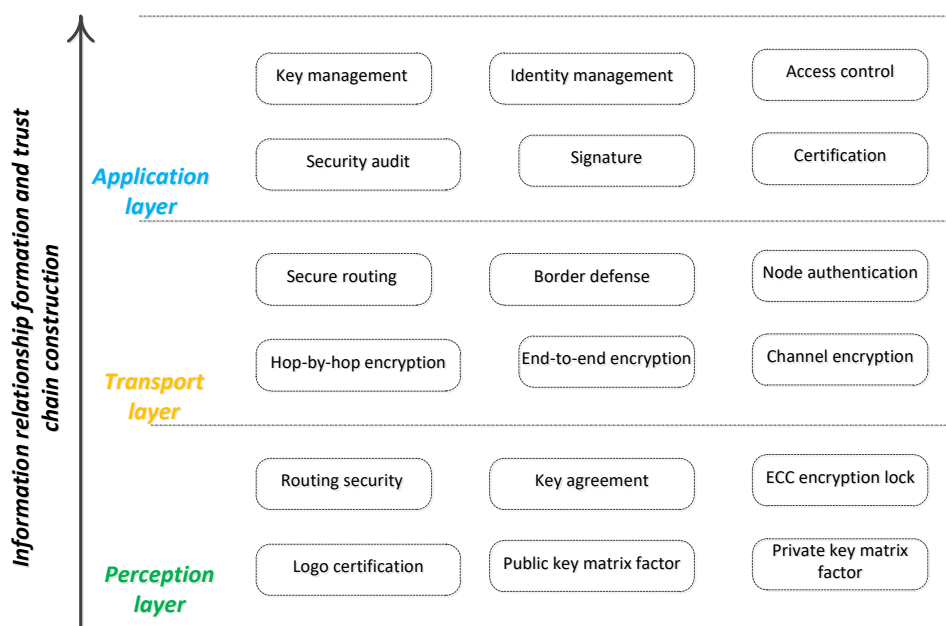


图 2 安全 RFID 系统模型

感知层的安全性主要解决感知层末端设备计算资源能力的限制。其安全机制主要包括身份认证、密钥协议、ECC(Elliptic Curves Cryptosystems, 椭圆曲线加密系统)加密和密钥管理。主要涉及 RFID 阅读器和接入网关中的路由信息保护，以及大规模部署中的密钥管理。通过基于身份的算法，实现了批量认证和高速认证。传输层是感知层信息进入 RFID 系统的通道。中间层起到了支持和支撑网络的作用。它的安全重点是网络接入设备的认证和不同设备之间的交叉认证。对信息进行加密通信，防止信息被拦截和篡改，同时采取边界安全防御措施，

确保系统安全。本文将数字证书嵌入通信设备中，使用 ECC 加密算法建立会话密钥，实现无需第三方支持的认证，实现通信前的认证。应用层安全通常采用传统的网络安全技术。注重可信访问控制，防止非法入侵，确保运营商的唯一合法性，并通过行为取证和安全监管跟踪业务操作流程，防止 RFID 系统的个人隐私信息泄露。应用层安全主要关注应用程序中的安全问题，包括后端服务器、操作系统、业务应用系统和内部人员管理。使用的安全机制包括安全身份验证、安全审计和访问空中。

2.2 安全认证机制

RFID 系统感知层的安全认证是 RFID 系统感知层设备之间、感知层设备与其他层设备之间的安全认证。RFID 系统感知层安全认证机制主要包括以下三种情况。

(1)感知层网络内设备之间的安全认证：感知层网络内的设备主要有读取器、标签、安全网关、中间件等。内部设备之间的认证是为了确保这些设备能够相互认证，确保只有合法的阅读器才能识别合法的标签，只有合法的标签才能接受合法的阅读器信息，而非法的设备不能进入系统的 RFID 系统。如果需要在标记之间交换信息，还需要执行身份验证。

(2)感知层设备对感知层设备的认证:感知层设备是感知层的“用户”。为了实现跨层信息交互，感知层设备需要与传输层设备 and 应用层设备进行身份验证。例如，RFID 阅读器和中间件是跨层设备。读取器需要在后端系统中使用标记和服务器彼此进行身份验证。在这种情况下，读取器通常需要提供两组身份验证机制，以及两组密钥。当“用户”访问 RFID 系统感知层并向 RFID 系统感知层发送请求时，还必须通过 RFID 系统感知层的身份验证。

(3)感知层消息认证:在认证过程中，需要保证消息的合法性和完整性，防止进入感知层的信息被恶意信息篡改或插入。消息认证机制包括点对点消息认证和广播消息认证。

安全认证与密码管理密切相关。根据感知层设备的处理能力和安全要求，需要提供低成本的安全认证机制和具有高加解密能力的安全认证机制来满足高安全要求。

2.3 安全应用架构

本节基于 RFID 系统信任链的安全体系结构建立了一个安全应用体系结构。该体系结构由 SC (Security Center，安全中心)、MCC (MiDDle Communication Component，中间通信组件)、R (ReaDer，阅读器)和 T (Tag，标签)组成。安全中心运行在传输层和应用层。网络通信中间件、读取器和标记运行在感知层上。RFID 系统安全体系结构如图 3 所示。

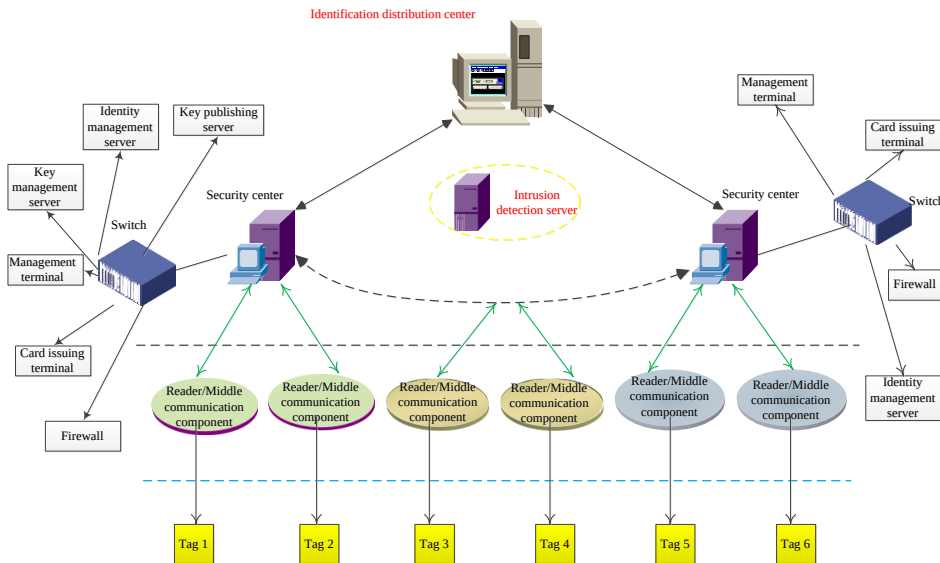


图 3 安全 RFID 系统的架构

SC 完成标签和密钥的管理，以及整个 RFID 系统的安全监控和身份认证。安全中心系统主要包括密钥管理中心、身份识别管理中心和入侵检测与状态监控服务器。安全中心实行

分级管理。分支中心主要部署认证服务器，实现设备接入、认证和会话密钥生成。读取器使用安全协议，通过有线/无线/联系方式向 RFID 标签(或其他包含标签的智能密码卡)发送命令、业务数据等，然后验证标签。验证完成后，将其传输到后端管理系统。同时，读取器读取标签中的信息，进行相应的操作，并在验证信息的数字签名后将信息传送到后台管理系统。读取器中的数据只能被授权的后端系统用户访问。后端系统由阅读器对标签的数字签名信息进行验证。如果验证信息不合法，将自动作为特殊事件处理，如报警、向安全中心上传事件信息等。安全标签是嵌入了密钥和安全协议的标签。安全标签的标识由身份管理中心统一管理，密钥信息由密钥管理中心管理。安全标签中的数据包括：标签标识、标签私钥、阅读器公钥矩阵、业务数据和执行代码。防伪标签是贴在物品表面或嵌入物品内的。安全标签分为主动标签和被动标签。活动标记通常具有更多的计算和存储资源。因此，本文嵌入密钥和密钥矩阵，并采用强安全认证加密协议进行实体认证和与阅读器通信。

3 经过验证的安全的 WAPI-XG1 访问和快速交换身份验证协议

3.1 快速切换下安全关联建立协议 H-WAPI-XG1+快速切换

当无线终端移动到新的无线接入点控制域时，执行以下协议，无需重新认证即可快速建立安全关联。TAE (trusted authentication equipment, 可信的认证设备) 是一种可信任的认证设备，负责管理周围的无线接入点，接受认证服务器的管理，并具有分配交换密钥的功能。在 TAE 和身份验证服务器及其管理的无线接入点之间有一个安全通道。当移动设备访问 TAE 管理域的无线接入点时，认证服务器通过安全通道将 TAE 通过安全密钥发送出去。当移动设备在 TAE 管理域中移动时，TAE 负责无线接入点。当移动设备第一次从一个 TAE 管理域切换到另一个 TAE 管理域时，认证服务器需要分配交换密钥，并将交换密钥发送到新的 TAE 管理域，然后在新的 TAE 管理域中切换。新的 TAE 负责分发切换密钥。TAE 的功能可以通过单独的设备或一些无线接入点来实现。

1) 当 ASUE (Authentication Supplicant Entity, 鉴别请求者实体) 切换到新的 AE (Authenticator Entity, 鉴别器实体) 时，需要向新的 AE 发送访问请求。该请求包包括一个切换密钥识别码 HKID 和一个一次性随机数 N1。如果 ASUE 不希望认证服务器或之前访问的无线接入点获取将要通信的内容，还需要向 ECDH 发送临时公共参数无线接入点。

2) AE 接收到交接请求报文后，生成随机数 N2，与 HKID、N1 一起发送到 ASUE。同样，如果 ASUE 在消息中发送 aP，AE 也会生成并发送 ECDH 的临时公共参数 bP。

3) 收到响应消息后，ASUE 首先验证 HKID 和 N1 的有效性，验证通过后计算临时交换密钥 HTK 和会话密钥 USK (包括 UEK、UCK、KEK 和 MAK)、身份认证信息和消息认证码 MIC ASUE。计算方法如下：

$$HTK = KD - HMAC - SHA256(HK, ADDID) \quad (1)$$

$$USK = KD - HMAC - SHA256(HTK, [abP] \parallel ADDID \parallel N_1 \parallel N_2) \quad (2)$$

$$MIC_{ASUE} = HMAC - SHA256(MAK, HKID \parallel ADDID \parallel N_1 \parallel N_2 [bP \parallel aP]) \quad (3)$$

4) AE 收到消息后，要求 TAE / 认证服务器根据 HKID 和 ADDID 选择相应的密钥信息和安全参数。如果 HKID 是一个有效的安全协会，TAE / 认证服务器以 ASUE 相同的方式计算一个新的临时切换密钥，并将其返回给 AE。此步骤中的消息交换是在 AE 和 TAE / 认证服务器之间的安全通道的保护下完成的。

5) AE 接收到切换密钥，计算会话密钥并像 ASUE 一样验证 MICASUE 的有效性，验证通过后计算自己的消息认证码 MICAE。计算方法如下：

$$MIC_{AE} = HMAC-SHA256(MAK, HKID \parallel ADDID \parallel N_2 \parallel N_1[aP \parallel bP]) \quad (4)$$

6) ASUE 接收消息后, 验证 MICAE 的有效性, 验证通过后进行数据通信。

3.2 协议安全分析

为了证明协议的安全性, 我们首先证明协议在 AM (Authenticated-links, 经过身份验证的链接) 中是 TSK (三段会话密钥) 安全的, 然后证明链接模型中的输出是不可区分的。由此可见, 该方案在 UM 也是 AKE (Authenticated Key Exchange, 密钥交换) 安全的。

引理: 在 ECDH 假设建立和伪随机函数安全选择的前提下, 协议 WAPI-XG1+ 在理想环境 AM 中是 TSK-安全的。

证明: 在协议交互过程中, 无线终端、无线接入点和认证服务器都没有被攻击者破坏, 并且所有匹配的会话都已经完成, ASUE 和 AE 以及 ASUE 和认证服务器会输出相同的会话密钥。该协议的参与者使用 SNonce 和一次性随机数 NAE、NASUE 作为会话 ID, 每个会话的 ID 都是唯一的。同时, AM 中的攻击者不能对消息进行篡改等主动攻击, 所以协议参与者可以正确接收对方 ECDH 交换使用的临时公共参数, 然后计算出相同的会话密钥。因此, 当三方都参与同一会话时, ASUE 与 AE 之间以及 ASUE 与认证服务器之间计算的共享密钥必须一致。

假设 AM 中的攻击者 E 能够以不可忽略的优势 ϵ 猜测测试会话查询中返回的值是随机键还是实键。然后通过攻击者 E, 我们可以构造一个算法 D, 以不可忽略的概率成功计算出会话密钥 xzP 或 xyP 。这显然与 ECDH 假设相反。

在算法 D 模拟的协议执行过程中, E 对于测试会话 t 有两种可能的选择 $t: t = r$ 或 $t \neq r$ 。我们先看第一种情况。会话 r 的输入是 $\{xP, yP, zP\}$, 因此 E 在会话 r 的测试会话查询中获得一个值。如果 $b=0$, 则 D 返回 E 的值为真实的密钥信息。如果 $b=1$, 则 D 返回给 E 的值是一个随机数。同时, 算法 D 以 $1/2$ 的概率选择实键值或随机数作为其输出。根据算法 D 的构造原理, E 成功猜测得到的值是否是真实关键信息的概率等于 D 选择 $b=0$ 或 $b=1$ 的概率。因为 E 的成功概率是 $\epsilon+1/3$, D 计算 xzP 或 xyP 为 ϵ 的概率。在第二种情况下, E 不选择会话 r 作为它的测试会话, 然后 D 输出一个随机值。D 从 A 那里得不到任何能帮助他计算 xzP 或 xyP 的信息。因为 D 是基于 E 构造的, 所以 D 计算 xzP 或 xyP 的概率是 0。

引子: 在实际环境 UM 中, 由编译器编译的协议 WAPI-XG1+ 的输出与 AM 中协议 WAPI-XG1+ 的输出没有什么区别。

证明: CK 模型不仅提供了设计和分析协议的模块化方法, 还提供了一些标准的编译器。其中有一个非常著名的编译器“SIG-MAC”。通过该编译器对 AM 中的 WAPI-XG1+ 协议进行编译和优化, 得到 UM 下的 WAPI-XG1+ 协议。

任何攻击者的协议 WAPI-XG1+ 和 H-WAPI-XG1+ 能满足以下两个属性: 如果无线终端、无线接入点、和身份验证服务器不妥协和一个匹配的会话完成后, 访问点、无线终端和身份验证服务器将输出相同的会话密钥; 攻击者进行一个测试会话查询, 它猜测 b 的概率不超过 $1/3 + \epsilon$ 。因此, 协议 WAPI-XG1+ 和 H-WAPI-XG1+ 是 TSK-安全的。

3.3 协议性能分析

分别对首次接入 WLAN (Wireless Local Area Network, 无线局域网) 时无线终端之间建立安全关联和快速切换的性能进行了比较。在 WAPI-XG1 中, 无线终端首次接入 WLAN 时, 需要进行证书认证和单播密钥协商。切换无线终端时, 必须先与目的无线接入点进行预认证或重新认证, 然后进行单播密钥协商。在 WAPI-XG1+ 中, 无线终端首次接入当前 WLAN 时, 只需完成接入认证, 即可实现认证和单播密钥协商; 当发生切换时, 它只需要运行快速切换安全关联建立协议, 而无需重新认证或预认证过程。在基于证书的认证模式下, 无线终端首次信任时和切换时两种协议的性能比较如表 1 和表 2 所示。为了便于分析协议性能, 我们假

设无线接入点和身份验证服务器之间有一条直接链路。其中，发送和接收报文称为交互，E 表示椭圆曲线上的点乘运算，S 表示计算签名，M 表示计算报文认证码 MIC。

表 1 无线终端首次接入 WLAN 协议性能比较

协议名称	相互作用次数	STA 的计算	AP 的计算	ASU 计算
WAPI-XG1	10	$2E+S+M$	$3E+S+M$	S
WAPI-XG1+	4	$2E+2M+S$	$2E+M+S$	$E+M+S$

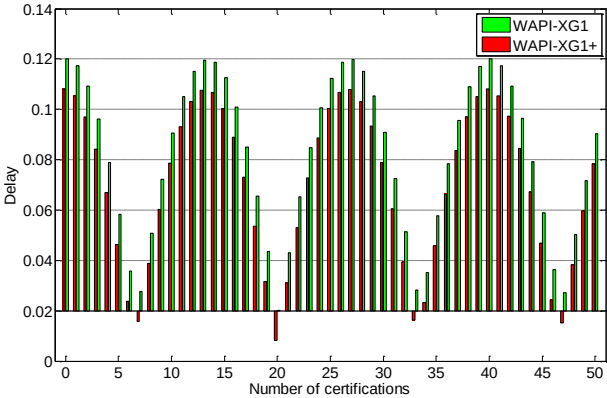
表 2 无线终端切换时的协议性能比较

协议名称	相互作用次数	STA 的计算	AP 的计算	ASU 计算
WAPI-XG1	9	$3E+S+M$	$2E+S+M$	S
H-WAPI-XG1+	5	$2E+M$	$3E+M$	M

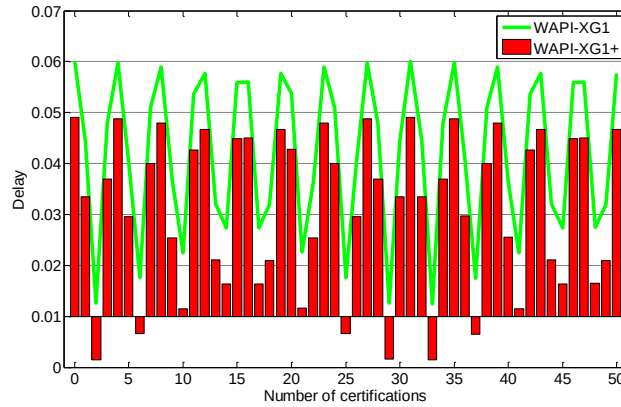
从表 1 可以看出，在计算性能方面，WAPI-XG1+对无线终端和认证服务器只增加了一个模运算，但减少了三个协议交互，大大降低了访问延迟。从表 2 可以看出，H-WAPI-XG1+在通信性能和计算性能方面都优于 WAPI-XG1。特别是通信性能方面，WAPI-XG1 中无线终端的身份验证消息需要通过当前无线接入点转发到目的无线接入点，这意味着 WAPI-XG1 增加了当前无线访问原有通信的复杂性。综上所述，新方案在性能上明显优于 WAPI-XG1。

为了更直观的评估协议，我们使用 NS-2.26 作为仿真平台来模拟协议的通信性能。同时，所有设备的物理层都是 802.11b。模拟场景包括 6 个固定无线接入点和 1 个移动无线终端、1 个接入网关和 1 个网络认证服务器。每个无线接入点和网关通过 10Mb 带宽和 1ms 延迟的链路连接，网关和认证服务器通过 100Mb 带宽和 1ms 延迟的链路连接。仿真结果如图 4 所示。

从图 4 可以看出，无线终端首次连接时，执行 WAPI-XG1 所需时间约为 0.02s-0.12s，而执行 WAPI-XG1+所需时间相对较小。切换无线终端时，执行 WAPI-XG1 所需时间不等，取值范围为 0.01s~0.06s，而执行 WAPI-XG1+所需时间不大于 0.05s。因此，新协议在性能上优于现有协议。



(a) 无线终端初始接入认证图



(b) 快速切换中的无线终端认证

图 4 无线终端认证

4 RFID 标签所有权转移隐私安全模型

4.1 标签所有权转移涉及的标签隐私保护

对于 RFID 标签的所有权转移, 已有大量的研究工作致力于所有权转移协议的设计和分析, 但目前还没有正式模型来分析所有权转移过程中标签的隐私保护。事实上, 标签所有者可以访问后端数据库, 因此他拥有关于标签和阅读器的所有信息。当标签转移到另一个所有者时, 旧标签所有者在跟踪标签所有权转移后的后续行动方面具有很大的优势, 从而侵犯了标签及其新所有者的隐私; 或者在获得标签的所有权后, 新拥有者的当前信息在所有权转移之前跟踪标签的行为也有很大的优势, 从而侵犯标签及其前拥有者的隐私。因为新旧所有者都有关于标签的信息, 所以前面提到的隐私攻击可以称为内部攻击。IND-CCA2 加密安全方案可以防止这种攻击。一般来说, 标签所有权转移的过程是:

(1) 标签(Ti)的当前所有者(OC)会阻止新所有者(ON)在所有权转移之前分析 Ti 的历史行为, 它会发起与 Ti 的认证, 并改变标签字符中的密钥(甚至身份识别)。

(2) OC 将更新后的标签所有权信息通过安全通道发送给 ON。

(3) 为了防止 OC 发起识别、认证和分析标签的后续行动, 新的标签所有者 ON 会发起与 Ti 的认证, 并更新 Ti 中的密钥(甚至标签标识符)信息, 以转移标签所有权。标签权属的转移涉及标签认证和权属转移的过程, 相对于标签的识别和认证, 标签权属的转移更有可能暴露标签及其权属人的隐私。标签持有者拥有或曾经拥有标签的秘密信息, 前一个标签所有者或当前标签所有者比一般攻击者具有更强的隐私攻击能力。在标签所有权转移的隐私模型中, 必须考虑标签所有者拥有关于标签的秘密信息的能力。

4.2 基于椭圆曲线密码的 RFID 标签访问安全机制

对于 RFID 安全问题, 有两种解决方案, 一种是物理解决方案, 另一种是基于密码的解决方案。基于密码的解决方案可以分为两类, 一类是基于对称密钥加密算法, 另一类是基于非对称密钥加密算法。在开放式 RFID 系统中, 由于物品在很多企业之间传递, 在密钥交换操作中很难使用对称加密算法。一旦发生密钥泄漏, 所有标记都将很容易读取和更改。使用 PKI 密码机制可以很好地解决这些安全问题。公钥向合作伙伴公开, 合作伙伴可以在标签中使用公钥加密编写密文。使用合作伙伴的公钥来解密信息, 您可以确定标签和项目来自合作伙伴。由于 RSA (Rivest Shamir Adleman) 加密机制的长密钥, 加解密操作需要更多的门电路, 因此很难在标签访问中应用非对称加密机制。

1) 椭圆曲线密码通信的安全性

在上述加密通信过程中, 假设存在窃听者。通过窃听, 他只能得到 A 发布的加密系统的公共参数 $E_v(a, b)$, 公钥 K, 基点 P 和 B, 以及通过加密要传输的内容获得的 C1 和 C2。

如果您想获得明文编码 M ，您必须从 $k = kP$ 获得私钥 k ，或者通过 $C2 = RP$ 获得 R 。但是从任何一种方法得到 k 或 R 都是一个非常困难的过程。

破解椭圆曲线密码最快的方法是 PollardD- p 算法，也称为袋鼠算法或生日攻击算法。可以证明，该破解算法的时间复杂度至少为。

2)模型安全性分析

协议的安全性分为两部分，一是加密机制的安全性，二是协议的使用安全性。加密机制的安全性在前一节已经讨论过，这里主要讨论协议的安全性。在协议中，标签使用企业使用的公钥读取标签，对生成的标签 ID 和随机数进行加密。加密算法的安全性是可以知道的，除非公司用来读取标签的私钥可以获得。企业用于读取标签的私钥并不是固定在阅读器内部，而是通过阅读器的身份认证从 CA 处获得的，因此获取私钥非常困难。所有的 ID 值都是通过加密传输的，不完整的数据无法通过解密过程。该协议的防攻击特性是，对于跟踪标签，由于标签产生随机数，每个标签的查询返回值不同，因此无法跟踪。对于重复的标签攻击，由于每次查询标签时读取器使用不同的随机数，读取器无法验证重复历史的标签响应消息。读写器的认证是通过读写器与 CA 之间的身份认证来完成的，因此只需验证读写器与标签之间的标签的合法性即可。标签有效性的验证是通过将返回值与标签源公司的公钥解密获得的 ID 值与实际 ID 值进行比较来确定的。两种身份验证确保标签的发送者和接收者的身份是合法的。图 5 显示了隐私函数曲线。跟踪攻击只能在再次读取标签之前进行主动扫描，因为一旦再次读取标签，其内部存储的密钥将被更新，攻击者跟踪的信息将不可用。认证时间成本函数曲线如图 6 所示。

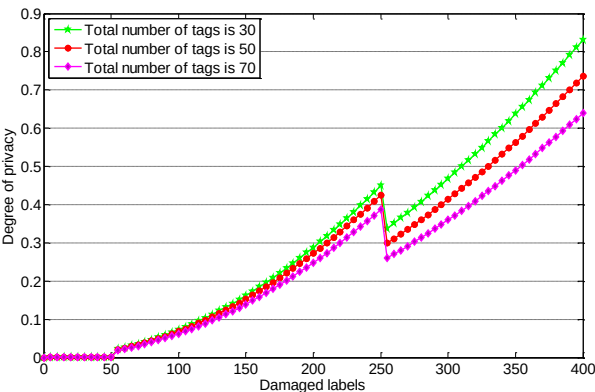
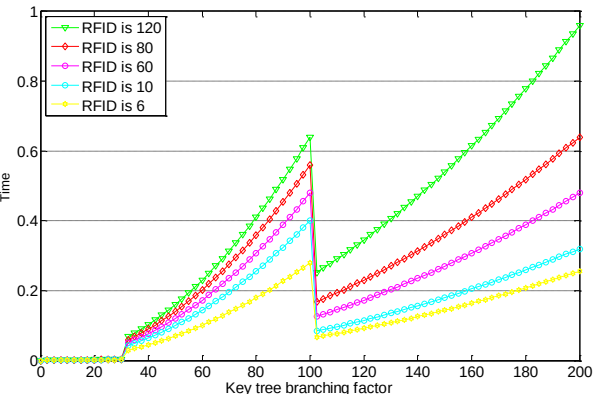


图 5 隐私水平曲线



4.3 协议优势分析

椭圆曲线密码算法虽然都属于公钥密码体制，但与 RSA 和 DSA (Digital Signature Algorithm，数字签名算法)密码算法相比，椭圆曲线密码算法有以下优点：

此协议具有很高的安全性。椭圆曲线密码系统优于其他基于有限域乘群离散对数的密码

系统，如 Diffie-Hellman 系统和 Mass-Omua 系统。这是因为当有限域 F_p 的阶数相对较小时，存在一种快速算法来找到乘法组上的离散对数。因此，为了保证后者的安全性， p 的顺序一定要大。此外，当 p 值为常数时， F_p 的选择是唯一的，这给后者带来了不便，而这在椭圆曲线密码体制中是不存在的。

该协议需要的密钥长度很短。从图 7 可以看出，在加密强度相同的情况下，RSA 密钥的长度至少是 ECC 密钥长度的 5 倍，并且随着密钥长度的增加，这个比例关系逐渐增大。同时，从图 8 中可以看出，相对于加密强度的增加，DSA 和 RSA 需要的密钥长度增加的非常快，而 ECC 需要的密钥长度最短。随着计算能力的提高，椭圆曲线密码系统的这一特性使其比其他两种类型的密码系统更具竞争力。它具有较小的密钥长度，特别适用于计算资源条件受到严格限制的情况，如 RFID 系统。

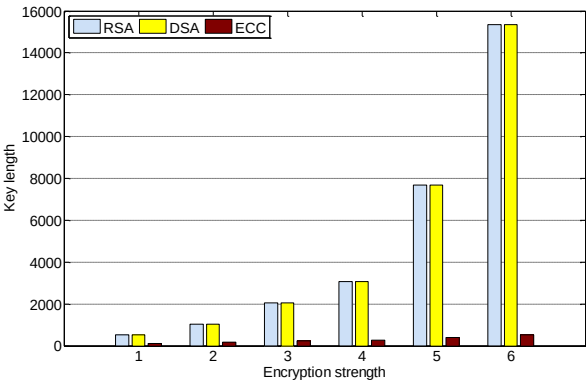


图 7 不同加密系统下的密钥长度比较

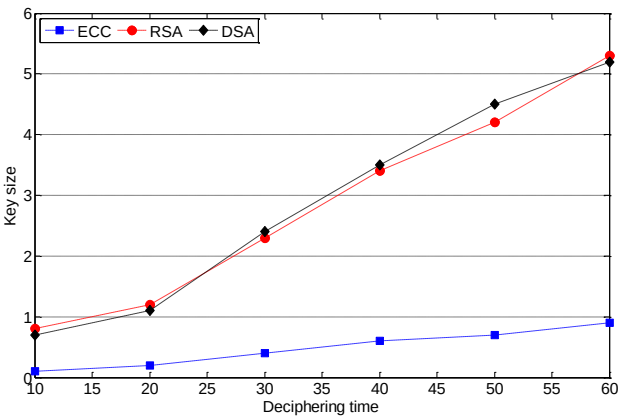


图 8 不同加密系统下密钥强度相同的长度

在相同的基本域 $GF(p)$ 中，该协议有更多的选项。对于给定的素数 p 或 q ，它唯一地对应于 RSA 算法或基于离散对数问题的密码函数。而对于椭圆曲线密码，在同一基域中改变椭圆曲线方程的系数可以得到更多的加密函数。该协议可以主动选择基字段 $GF(p)$ 中的质数 p ，从而选择更便于计算机处理的质数。而 RSA 系统和基于有限域乘法群离散对数问题的公钥密码系统则不能。对于前者，质数的选择必须是随机的；对于后者，必须选择质数，使 $p-1$ 包含一个大的质数因子。

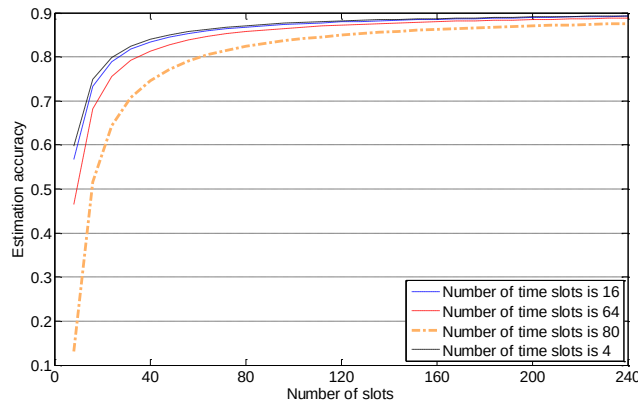


图9 估计精度与时隙数量的关系

在图9中,从上到下的曲线对应的时隙数分别为4、16、64和80。当估计精度值接近1时,估计的标签数更接近实际的标签数。

5 结论

本文在分析 RFID 系统组成和网络体系结构的基础上,将 RFID 系统的安全分为感知层安全、传输层安全和应用层安全。通过这三个层次,全面提升网络安全性,构建从感知层、传输层到应用层的安全信任链,从而实现整个 RFID 系统的安全。同时,根据 RFID 系统的层次,对 RFID 设备进行分层、安全管理,要求对象本身直接证明身份的真实性,无需第三方认证。当客户端切换时,只需与新的接入点运行快速交换机安全关联建立协议,无需重新认证或预认证。该协议提高了协议操作效率,缩短了设备访问时间。在建立的前提下,证明了新协议的安全性。针对标签所有权转移中存在的隐私泄露问题,提出了一种标签所有权转移的隐私转移模型,可用于标签所有权转移协议的隐私评估分析。同时,给出了一种基于公钥加密的标签所有权转移的原型方案,并基于所提出的隐私模型对该原型方案进行了验证。实验结果表明,该原型方案能够实现标签隐私保护,满足其他安全要求。

6 基金项目

河北省青年基金项目:养老机器人开发与研究(QN2019328)

参考文献

- [1] Ma M, He D, Wang H, et al. An efficient and provably secure authenticated key agreement protocol for fog-based vehicular ad-hoc networks[J]. IEEE Internet of Things Journal, 2019, 6(5): 8065-8075.
- [2] Chen X, Ma K, Geng D, et al. Untraceable Analysis of Scalable RFID Security Protocols[J]. Wireless Personal Communications, 2019, 109(3): 1747-1767.
- [3] Ibrahim A, Dalkılıç G. Review of Different classes of RFID authentication protocols[J]. Wireless Networks, 2019, 25(3): 961-974.
- [4] Amin R, Islam S K H, Vijayakumar P, et al. A robust and efficient bilinear pairing based mutual authentication and session key verification over insecure communication[J]. Multimedia Tools and Applications, 2018, 77(9): 11041-11066.
- [5] Dhillon P K, Kalra S. Secure and efficient ECC based SIP authentication scheme for VoIP communications in internet of things[J]. Multimedia Tools and Applications, 2019, 78(16): 22199-22222.
- [6] Banerjee S, Odelu V, Das A K, et al. A Provably Secure and Lightweight Anonymous User Authenticated Session Key Exchange Scheme for Internet of Things Deployment[J]. IEEE Internet of Things Journal, 2019, 6(5): 8739-8752.

- [7] Chen C M, Wang K H, Fang W, et al. ReconsiDerIng a lightweight anonymous authentication protocol[J]. Journal of the Chinese Institute of Engineers, 2019, 42(1): 9-14.
- [8] DharminDer D, Rana S, KunDu N, et al. Construction of lightweight authentication scheme for network applicants using smart carDs[J]. SôDhanô, 2020, 45(1): 1-14.
- [9] Zhou Z, Wang P, Li Z. A quaDratic resiDue-baseD RFID authentication protocol with enhanceD security for TMIS[J]. Journal of Ambient Intelligence andD HumanizeD Computing, 2019, 10(9): 3603-3615.
- [10] Shafiq A, Altaf I, MahmooD K, et al. An ECC BaseD Remote User Authentication Protocol[J]. Journal of Internet Technology, 2020, 21(1): 285-294.
- [11] Pattanayak S, LuDwig S A. A secure access authentication scheme for multiserver environments using neural cryptography[J]. Journal Of Information Assurance AnD Security, 2018, 13(1): 56-65.
- [12] Gope P. Anonymous mutual authentication with location privacy support for secure communication in M2M home network services[J]. Journal of Ambient Intelligence andD HumanizeD Computing, 2019, 10(1): 153-161.
- [13] Hassan M U, ChauDhry S A, IrshaD A. An ImproveD SIP AuthenticateD Key Agreement BaseD on Dongqing et al[J]. Wireless Personal Communications, 2020, 110(4): 2087-2107.
- [14] Sharma G, Kalra S. A Lightweight User Authentication Scheme for ClouD-IoT BaseD Healthcare Services[J]. Iranian Journal of Science andD Technology, Transactions of Electrical Engineering, 2019, 43(1): 619-636.
- [15] Nikravan M, Reza A. A multi-factor user authentication andD key agreement protocol baseD on bilinear pairing for the internet of things[J]. Wireless Personal Communications, 2020, 111(1): 463-494.
- [16] Cui M, Han D, Wang J. An efficient andD safe roaD conDition monitoring authentication scheme baseD on fog computing[J]. IEEE Internet of Things Journal, 2019, 6(5): 9076-9084.
- [17] Guo C, Chang C C, Chang S C. A Secure andD Efficient Mutual Authentication andD Key Agreement Protocol with Smart CarDs for Wireless Communications[J]. IJ Network Security, 2018, 20(2): 323-331.
- [18] SasikalaDevi N, Malathi D. Privacy preserving light weight authentication protocol (LEAP) for WBAN by exploring Genus-2 HEC[J]. MultimeDia Tools andD Applications, 2019, 78(13): 18037-18054.
- [19] Mcginthy J M, Michaels A J. Secure InDustrial Internet of Things Critical Infrastructure NoDe Design[J]. IEEE Internet of Things Journal, 2019, 6(5): 8021-8037.
- [20] KarDaş S, Gen ç Z A. Security attacks andD enhancements to chaotic map-baseD RFID authentication protocols[J]. Wireless Personal Communications, 2018, 98(1): 1135-1154.



CAD Reverse Modeling Based on Multi-sensor Measurement

Jing Li^{ID}, Jichao Liu^{ID}, Wenhui Chang^{*ID}

¹Yanching Institute of Technology, Hebei Yanjiao, 065201, China, changwenhui@yit.edu.cn

Jing Li, lijing@yit.edu.cn

Jichao Liu, liujichao@yit.edu.cn

Corresponding author: Wenhui Chang, changwenhui@yit.edu.cn

Abstract. Coordinate measuring machines are standard three-dimensional precision measuring equipment in the manufacturing industry. They are widely used in aerospace, automotive, shipbuilding, equipment manufacturing, and mold manufacturing. This paper addresses the application problems in the field of mechanical engineering from the perspective of information science. The process of three-dimensional information acquisition by a coordinate measuring machine is described as a hierarchical, closed-loop structure based on multi-sensor fusion. The introduction of computer vision makes the measurement flexible and intelligent, which increases the measurement speed and avoids the dispersion of measurement results caused by manual intervention. Based on the composition of flexible coordinate measurement system and the support of multi-sensor fusion, this paper studies the multi-sensor physical integration, model information acquisition and model coordinate fitting. This paper focuses on the modeling flaws in the reverse modeling method based on surface reconstruction, and analyzes the reverse modeling method based on solid reconstruction in the reverse modeling method. Parameterized editing and modification of the extracted solid features can accurately define the geometric parameters of the features and the constraint relationship between the features. In this paper, using the feature recognition and extraction function in solid reverse modeling method, a reverse modeling method for incomplete data is proposed, and the modeling process and characteristics of the method are specifically introduced and verified.

Keywords: Multi-sensor Measurement; Reverse Modeling; CAD

DOI: <https://doi.org/>

1 INTRODUCTION

The great significance of reverse engineering is that it not only simply restores the original object, but also carries out a secondary innovation based on the restoration [1]. With the rapid development of computer, numerical control and measurement technology, reverse engineering technology has been widely used in many fields [2]. When designing a workpiece model that can be finalized through experimental testing, the reverse engineering method is usually used, such as aerospace, automotive, and other fields [3]. First, various performance tests on the model are

required to establish a product model that meets the requirements. Reverse engineering converts the product into a 3D CAD model.

At present, there are more and more researches on multi-sensor integration, but the research on multi-sensor combination focuses on simple probe replacement [4]. There is no good selective planning and measurement of a variety of measurement equipment, which makes the measured data quality and efficiency. The integrated research and charging of multiple surface digital methods has become an innovative idea that attracts much attention. After consulting many research materials, it is found that the integrated measurement methods are mainly divided into passive measurement methods and active measurement measurement methods, the integration of CMM and visual measurement methods, and the integration of passive measurement methods. In the realization of measurement, there is complementarity between active vision measurement and passive vision measurement, so it has become the focus of research by many researchers. For example, Buonamici et al [5] have integrated the occlusion contour restoration shape method with the line structured light method. Ingrassia et al [6] have combined the stereoscopic vision and the projection grating method of spatial coding technology into a curved surface measurement system, which has greatly improved the measurement range and solved the problem of insufficient contour recognition in laser scanning. In the passive visual measurement method, due to the increasing requirements for measurement under many conditions, the use of single visual measurement information has been unable to meet the measurement of complex surfaces. Cho et al [7] have combined brightness, color, contour, brightness, and other factors to study the synthesis. The integration of stereo vision and light and dark information measurement methods solves the problem of difficult points when measuring complex parts in stereo vision. Kirkwood et al [8] have proposed the method of reconstructing the three-dimensional shape of an object by using the brightness information of the contour information to reconstruct a highly accurate model. Carfagni et al [9] first use vision systems or laser scanning to build an initial three-dimensional model to reduce the path planning time of CMM in reverse engineering, or to study directly locating parts on CMM for digitization. But this measurement method is very time consuming, especially for the measurement of complex parts or freeform surfaces. How to improve the automation degree of the multi-sensor combination measurement system and how to optimize the CMM measurement path to construct a CAD model that meets the accuracy requirements still need to be studied. Vilmart et al [10] have studied the geometric reference volume error problem in the measurement process of the combined system, and through the error compensation of the measurement data, the accuracy of the aligned data is finally improved. In this case, the accuracy of the measurement geometry directly affects the level of the final data, reducing the flexibility and reliability of the alignment. In addition, there are relatively many researches on the alignment algorithms of dense data, and the precise alignment algorithms between dense data points and sparse data points are relatively limited.

This paper proposes a novel automatic measuring method for a coordinate measuring machine. A small industrial camera is fixed on the measuring base of a coordinate measuring machine to realize automatic measurement under the guidance of computer vision. The process of three-dimensional information acquisition by a coordinate measuring machine is described as a hierarchical, closed-loop structure based on multi-sensor fusion. The introduction of computer vision achieves the flexibility and intelligence of coordinate measurement, improves the measurement speed of the coordinate measurement machine, and reduces the manual workload. The most widely used modeling methods based on curve and surface features in traditional reverse modeling methods are analyzed and summarized. Aiming at the shortcomings of modeling methods based on curve and surface features, a reverse modeling method based on solid model recognition and extraction of solid model reconstruction was proposed. A hybrid inverse modeling method based on surface and solid features was proposed to reconstruct a solid physical model of a product that cannot be reconstructed using a single inverse modeling method for CAD model reconstruction.

2 COORDINATE MEASURING SYSTEM BASED ON MULTI-SENSOR MEASUREMENT

2.1 Multi-sensor Integration

The probe of a CMM can be regarded as a sensor, which is divided into a contact probe and a non-contact probe. At present, the commonly used three coordinate measuring machines on the market usually have only one type of probe installed. When measuring, they can only measure in one way. When this measurement method cannot meet the measurement requirements of the workpiece or the measurement result is not satisfactory, the original probe must be removed and another probe must be installed. Such a process makes the measurement efficiency very low, and requires a lot of manual intervention.

The multi-sensor integrated measurement system consists of high-precision coordinate measuring machines, contact probes, vision systems, laser non-contact probes and computers and other electronic equipment. The multi-sensor integration method is used to collect the data of the workpiece, so as to further position and coordinate the workpiece. The advantages of each sensor can be used to improve the intelligent detection of the coordinate measuring system and reduce manual intervention as much as possible. In the system constructed in this paper, we integrate a vision sensor camera, a line-scan laser triangulation sensor, and a contact sensor provided by itself. Multi-sensor integrated micro measurement system is shown in Figure 1.

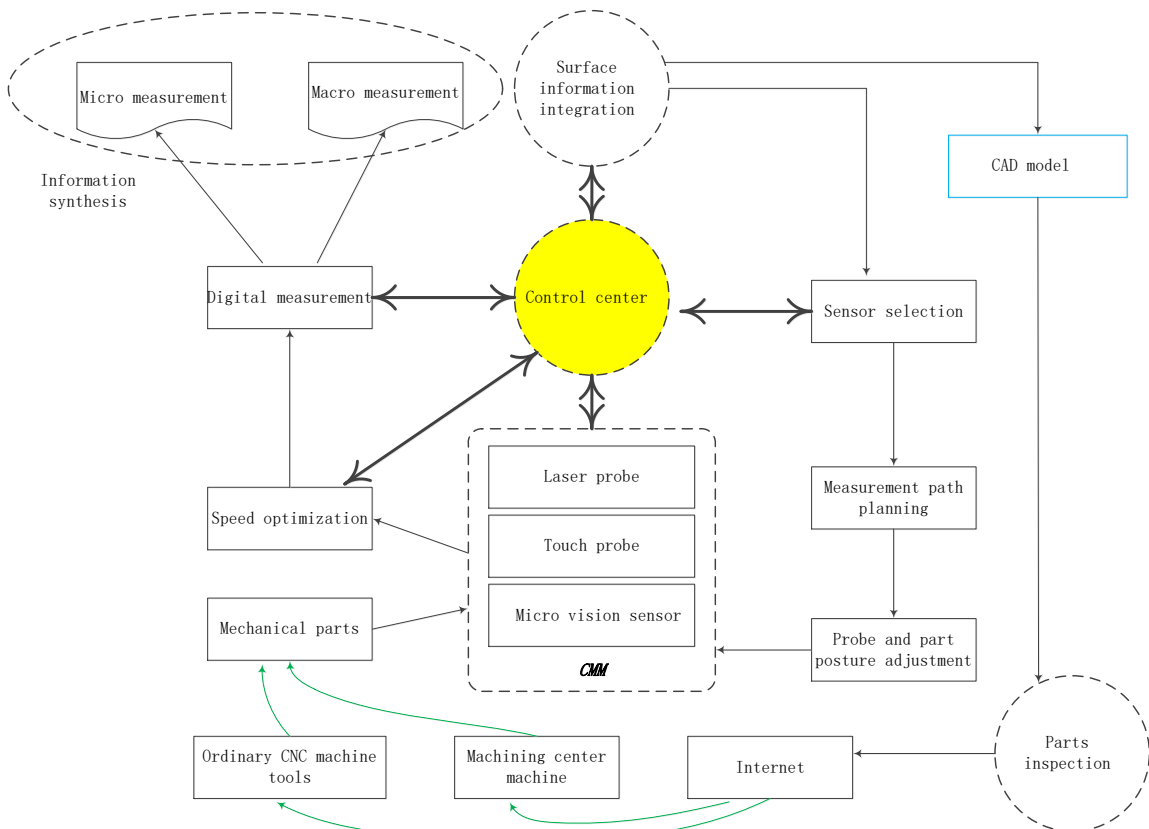


Figure 1: Multi-sensor integrated micro measurement system

2.2 Using Machine Vision to Obtain Three-dimensional Information

Traditionally, when a three-dimensional measuring machine is used to detect a workpiece, a three-dimensional coordinate of a partial point of the measured workpiece is usually obtained manually using a touch probe, and a machine coordinate system of the workpiece in the three-dimensional measuring machine is established, and the machine coordinate system of the workpiece is fitted to the CAD coordinate system, so that the coordinates of the workpiece are used to guide the high-precision measurement of the measuring machine. In actual work, the work of fitting the two coordinate systems is very unintelligent, and it needs to be done manually. The experience of the inspectors and errors in the inspection process will greatly affect the results of the inspection.

On the other hand, due to the characteristics of contact measurement, the probe needs to be lifted point by point during measurement. This results in a slow measurement speed and low efficiency, but its measurement accuracy is the highest compared to other measurement methods. Therefore, it is necessary to use it to make high-precision measurements, but it is obviously a little "big material and small use" for just positioning the parts and fitting the coordinates.

By using machine vision to obtain three-dimensional information, fast and intelligent measurement results can be obtained. This is because compared with contact measurement, the machine vision method can make low-precision and fast measurement of the measurement object. For parts with high accuracy requirements, in order to speed up the measurement and modeling time, firstly you use the machine vision system to quickly obtain the geometric features of the surface. Through the multi-sensor measurement information intelligent fusion and other technologies, the touch sensor is measured and guided to achieve fast and high-precision intelligent measurement. Multi-agent-based part process information model is shown in Figure 2.

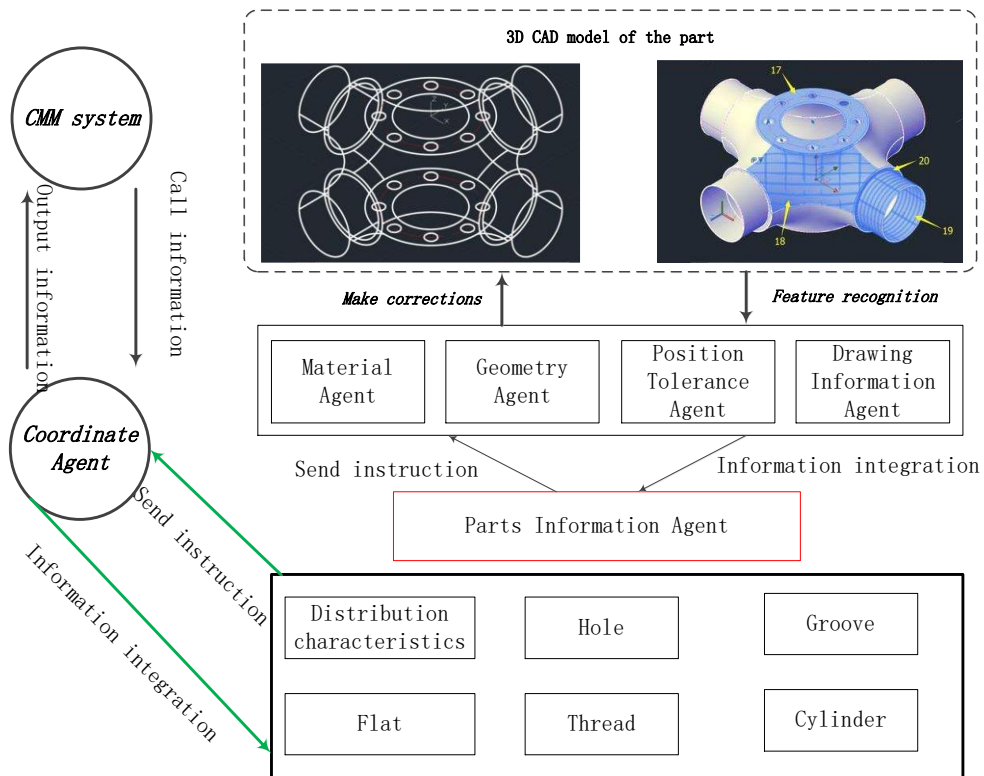


Figure 2: Multi-agent based part process information model

2.3 Coordinate System Alignment Technology

Integrating multiple sensors into an integrated multi-sensor measurement system is the basis for multi-sensor measurement. Accurate alignment of multi-sensor measurement data is an important part of subsequent reverse modeling. The unification of coordinate system is an important step in the planning of complex feature paths. In the measurement of complex parts, since one measurement device cannot complete the measurement at one time, the data after the two measurement devices are combined. At this time, the uniformity of the data coordinate system needs to be considered. The establishment of the coordinate system is directly related to the accuracy and completeness of the overall data during the process of assembling the data. If different internal coordinate systems are used to locate different point cloud data during the measurement, the point cloud data will not be processed and shaped during processing. The coordinate normalization data processing directly assembles them based on points, which will cause multiple pieces of measurement data errors. The larger the number of assemblies, the greater the overall model error.

When measuring a complex and large three-dimensional workpiece, the same sensor is usually required to measure data from different perspectives, and multi-sensor is used to measure different angles and mixed measurements. The same sensor measurement and multi-sensor measurement data are located in the coordinate system defined by themselves. In order to establish a unified and complete measurement data, it is often necessary to align the data measured by multi-vision or multi-sensors to the same coordinate system.

Alignment technology is a key factor that affects the quality of the final model during reverse modeling. If different measuring equipments are used to measure the same object, combining the two parts of the measurement data often requires establishing a common coordinate system to merge the two data into a complete physical model. The most commonly used method of establishing the workpiece coordinate system is the 3-2-1 method or using three or more standard balls to establish a spatial coordinate system before measurement.

After the two-part model is aligned by the common coordinate system, it is not a whole. At this time, you need to use the "Intersect" tool to combine the two parts into a whole or Boolean operation to shear or add.

Combining the advantages of two different measurement methods and the reverse reconstruction model using hybrid modeling technology, it fully demonstrates the advantages of integrated measurement of two types of equipment in collecting data and the characteristics of rapid and correct modeling. The quality of the CAD model and the flexibility of operation are improved through integrated measurement. This has certain reference role in reverse modeling.

2.4 CAD Model Interface

When using a coordinate measuring machine for a measurement task, the first step in the measurement process is to define the measurement task, that is, to define the detection elements and obtain the tolerance requirements related to them. When defining the testing elements, the commonly used method is to manually input the required testing information, such as tolerances, based on the engineering drawings in the measurement software dialog box. This will not only cause unnecessary repetitive labor, but also easily lead to errors. Therefore, according to the design data file of the part, the detection features are automatically extracted from the model, and the three-dimensional coordinate measuring machine can be automatically recognized, then the above problems are solved. CAD unified interface model structure is shown in Figure 3.

In order to realize the automation and intelligence of the measuring machine system, the integration of CAD must be realized first, which needs to build a bridge between them, so that the coordinate measuring machine can read out the items to be tested and the tolerance requirements.

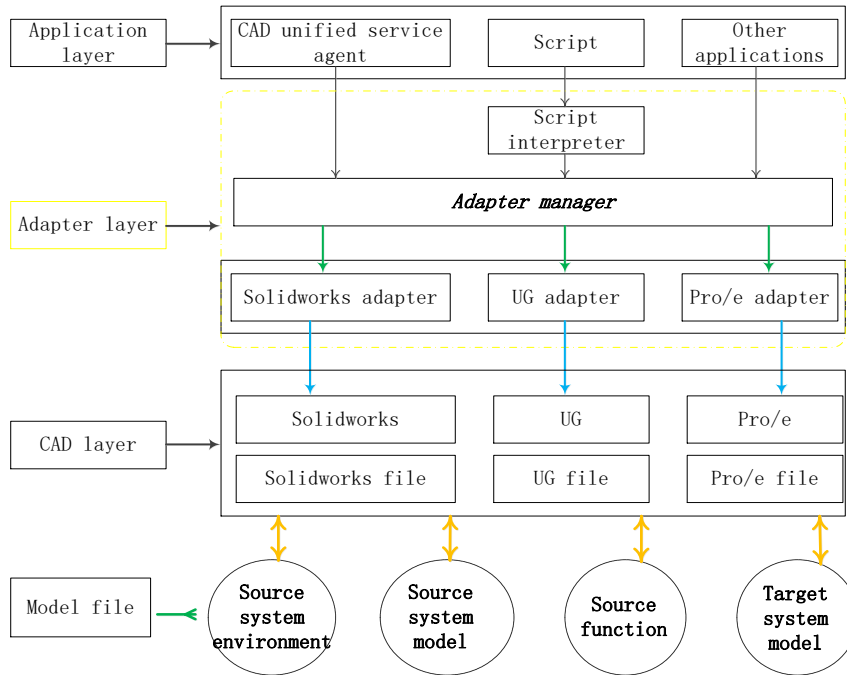


Figure 3: CAD unified interface model structure

2.5 Surface Recognition and Fitting

The main function of this part of work is to determine the geometric shape of the part, so as to determine the placement method, placement position, and placement direction on the workbench, and finally establish the mathematical relationship between the part coordinate system and the model coordinate system. In the current measurement machine, the part coordinate system is generally established by manually measuring several points, which is inconsistent with the purpose and task of the intelligent CMM system. If the automatic recognition function of the part pose and the automatic establishment of the part coordinate system cannot be achieved, the intelligent detection of the CMM cannot be realized. Therefore, the problem of surface identification and automatic fitting of the coordinate system is also a key issue for flexible coordinate measurement systems. In this paper, a new method for fitting CAD coordinates and CMM coordinates using part feature edges is proposed. The accuracy of fitting the CAD coordinates and CMM coordinates is shown in Figure 4.

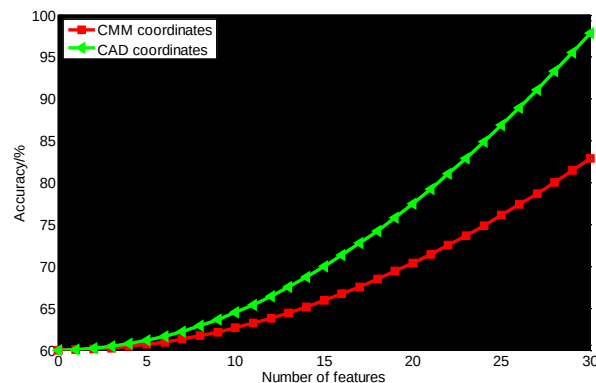


Figure 4: CAD coordinate and CMM coordinate fitting accuracy

3 HYBRID INVERSE MODELING BASED ON SURFACE AND SOLID FEATURES

Reconstruction of the inverse modeling method based on the characteristics of curves and surfaces yields a surface model, which can automatically fit complex free-form surfaces with high accuracy. However, when fitting and extracting a regular surface, it is impossible to extract the parameters of the characteristic surface (such as the radius value of a cylindrical surface) and the exact constraint relationship between the surfaces. Furthermore, the reconstructed surface model cannot be directly used for redesign. The solid surface model needs to be imported into the forward modeling software and the surface is cut and stitched to construct a solid model, and then the solid model is edited and modified. However, the process of importing the reconstructed surface model into the forward modeling software through parameter conversion is cumbersome and the steps of man-machine operation are complicated, which greatly increases the modeling time. The inverse modeling method based on solid feature recognition and extraction can identify and extract solid features from the mesh surface model, and can directly modify the solid features to realize the redesign based on the reconstructed CAD model. However, the result of this method for identifying and extracting complex free-form surface features is not ideal. Therefore, the accuracy of the modeling results is relatively low when the method is used to reconstruct a CAD model of a product with complex curved surfaces in the geometric features. For example, when extracting complex free-form surfaces, the error between the extracted surface results and the mesh surface model is large, as shown in Figure 5.

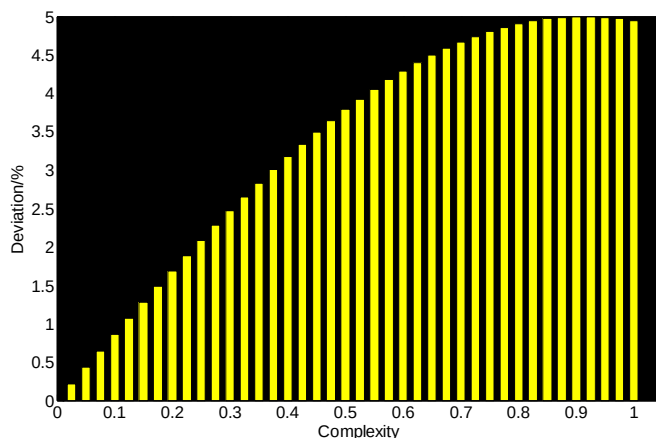


Figure 5: Extracting the deviation of complex free-form surfaces

3.1 Hybrid Modeling Method Based on Surface and Solid Features

With the development of modern manufacturing industry, the appearance characteristics of industrial products and components are no longer composed only of regular curved surfaces such as planes, quadric surfaces, or only complex free curved surfaces. Therefore, if you want to perform reverse modeling and reconstruction on product or component models with more and more diverse appearances, in the current situation where the modeling capabilities of various types of modeling methods are limited, you need to combine the advantages of different modeling methods to achieve reconstruction of complex models.

The hybrid inverse modeling method based on surface and solid features proposed in this paper combines the complex free-form surface fitting function in the inverse modeling method based on curve and surface features and the regular geometric features in the inverse modeling method based on solid feature recognition and extraction. Recognition, extraction and redesign

functions can effectively and quickly reconstruct a solid physical model of a product with complex and diverse appearance features. This method first preprocesses the original set data and obtains the mesh surface model, and then performs optimization processing such as denoising, streamlining, and smoothing on the mesh surface model, so as to be able to fit a complex free-form surface with high accuracy. Then you apply the inverse modeling method based on solid feature recognition and extraction to extract meta solid features from the processed mesh surface model.

When applying computer-aided detection technology to evaluate the accuracy of the reconstructed model, it is generally compared with the original CAD data of the real object, and it can quickly know that there is a large error failure area in the reconstructed model. Since the original CAD data of the impeller case used is not available, the accuracy analysis is based on the smoothing of the collected original mesh surface model as the reference object, and the reconstructed solid model is used as the test object for error analysis. The results of the analysis are shown in Figure 6.

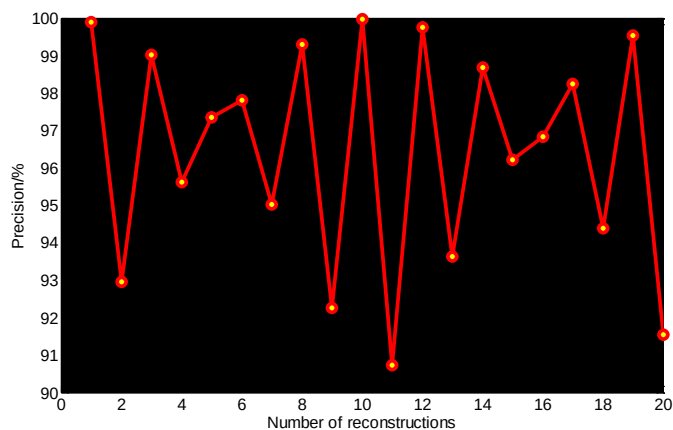


Figure 6: Precision analysis of solid model

3.2 Model Reconstruction Based on Curve and Surface Features

The traditional reverse modeling technology is to reconstruct a complete, smooth and continuous surface model based on discrete data points. Therefore, the surface reconstruction method has become a key method in reverse modeling technology. According to the classification of the geometric characteristics of the product's appearance structure, the appearance features can generally be divided into regular feature surfaces and freeform surfaces. For regular characteristic surfaces, you can use planes, quadrics, and extruded surfaces to perform fitting reconstruction. For the free-form surface, under the constraint of continuity, the parametric surface can be reconstructed to be closed, directed, and the surfaces can be connected strictly according to the topological relationship.

Reverse modeling to reconstruct a surface model usually requires three stages (some of the original measurement data is in the form of a triangular mesh surface and does not need to go through the point cloud stage): the point stage, the polygon stage, and the surface stage. The processing of the point phase is mainly to align, filter, and sample the scattered point clouds to obtain an orderly and easy-to-handle point cloud. The processing at the polygon stage is mainly to reduce noise, hole repair and smoothing on the triangular mesh surface obtained from the point cloud triangulation to obtain a complete and smooth triangular mesh surface. There are two processing modes in the surface stage, namely precise surface reconstruction and parametric surface reconstruction. Accurate surface reconstruction is suitable for models of handicrafts with

complex free surface features, and parametric surface reconstruction is suitable for mechanical product models with regular surface features. Figure 7 is a flow chart of reverse engineering.

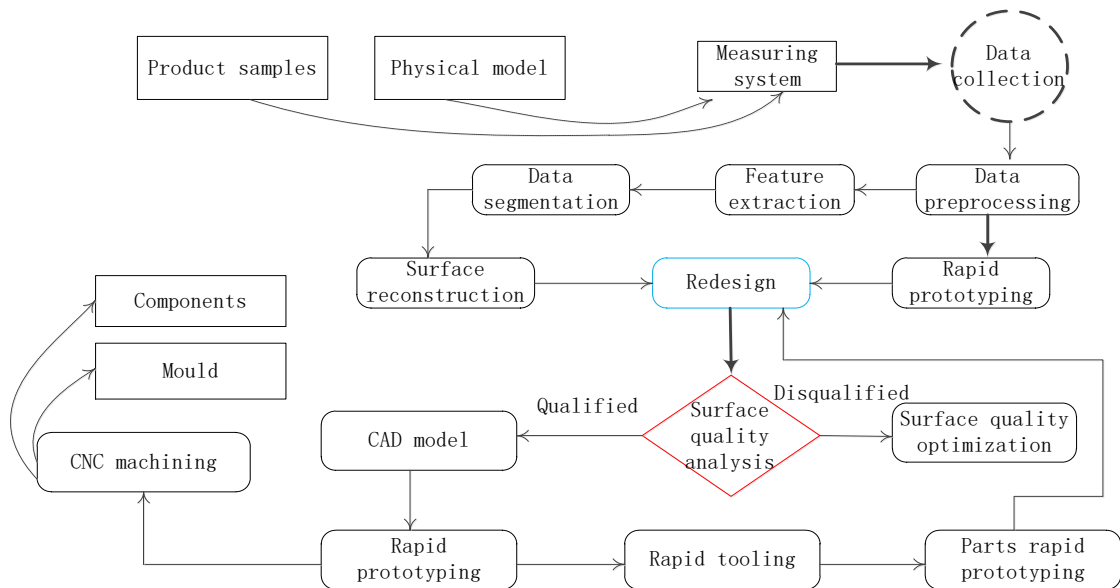


Figure 7: Reverse engineering flowchart

The surface model reconstructed in the parameter stage is fitted and assembled according to the geometric characteristics of the surface, which can reflect the original design intent to a certain extent. In addition, after fitting the surface and the connection between the surfaces, the fitted surface model can be output to the mainstream forward CAD software through the parameter conversion function of the software for redesign or innovation based on reverse modeling. The result of the combined surface is not very accurate. Moreover, the process of parameter conversion and redesign is tedious, and the steps of human-computer operation are complicated. Error analysis is generally performed after surface reconstruction in forward software. The mold takes a long time. The relationship between the difference between the surface reconstruction and the modeling time is shown in Figure 8.

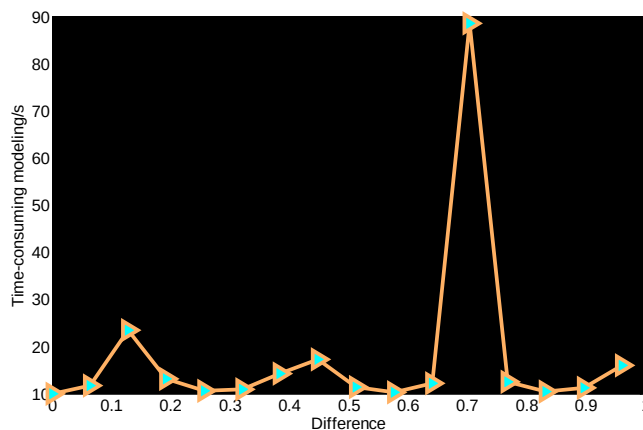


Figure 8: Relationship between the difference between surface reconstruction and modeling time

4 CONCLUSION

Realizing the flexible measurement of CMM is the development direction of the new generation of CMM. It can realize the automation of the measurement process and the intelligentization of measurement decision. This will bring a new and broad use space to the three-dimensional coordinate measuring machine. In this paper, the composition of the flexible coordinate measuring system with multi-sensor integration is the main line, and the components of the flexible coordinate measuring system with multi-sensor integration are introduced. A vision sensor-based camera and a line-scan laser triangulation sensor are installed next to the measuring head of the coordinate measuring machine, and together with the contact probe of the original coordinate measuring machine, a multi-sensor integrated system is formed. The overall accuracy after installation on a CMM was verified. This paper studies the most widely used reverse modeling method based on surface model reconstruction and the reverse modeling method based on solid model reconstruction. A reconstruction method of solid model based on solid feature recognition and extraction was proposed. The principle and modeling process of the method are introduced in detail by reconstructing its complete solid model. The reconstructed solid model was edited and modified, and it was verified that the reconstructed solid model could be directly used for redesign.

5 ACKNOWLEDGEMENTS

HEBEI YOUTH FUND PROJECT: DEVELOPMENT AND RESEARCH OF PENSION ROBOT (NO. QN2019328).

6 ORCID

Jing Li, <https://orcid.org/0000-0003-3027-4355>

Jichao Liu, <https://orcid.org/0000-0001-5778-5417>

Wenhui Chang, <https://orcid.org/0000-0001-5960-6988>

REFERENCES

- [1] Real Ehrlich, C.; Blankenbach, J.: Indoor localization for pedestrians with real-time capability using multi-sensor smartphones, *Geo-spatial Information Science*, 22(2), 2019, 73-88. <https://doi.org/10.1080/10095020.2019.1613778>
- [2] Li, F.; Hiley, J.; Syed, T.-M.; Hitchens, C.; Garcia Lopez-Astilleros, M.: A region segmentation method to measure multiple features using a tactile scanning probe, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 32(6), 2019, 569-579. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2019.1599431>
- [3] Muftooh, U.-R.-S.; Winifred, L.-I.; Gordon, I.-D.; Mutahir H.; Gareth, P.; William, I.; Carmelo, M.; Charles, N.-M.: Low cost three-dimensional virtual model construction for remanufacturing industry, *Journal of Remanufacturing*, 9(2), 2019, 129-139. <https://doi.org/10.1007/s13243-018-0059-5>
- [4] Saini, R.; Kumar, P.; Kaur, B.; Roy, P.-P.; Dogra, D.-P.; Santosh, K.-C.: Kinect sensor-based interaction monitoring system using the BLSTM neural network in healthcare, *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*, 10(9), 2019, 2529-2540. <https://doi.org/10.1007/s13042-018-0887-5>
- [5] Buonamici, F.; Carfagni, M.; Furferi, R.; Governi, L.; Lapini, A.; Volpe, Y.: Reverse engineering modeling methods and tools: a survey, *Computer-Aided Design and Applications*, 15(3), 2018, 443-464. <https://doi.org/10.1080/16864360.2017.1397894>
- [6] Ingrassia, T.; Nalbone, L.; Nigrelli, V.; Ricotta, V.; Pisciotta, D.: Biomechanical analysis of the humeral tray positioning in reverse shoulder arthroplasty design, *International Journal on*

- Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM), 12(2), 2018, 651-661. <https://doi.org/10.1007/s12008-017-0418-8>
- [7] Cho, H.; Yang, S.; Yim, J.; Kim, S.; Chae, S.-W.: Feature-based CAD system buildup for passenger airbag design, International journal of automotive technology, 19(5), 2018, 845-852. <https://doi.org/10.1007/s12239-018-0081-5>
- [8] Kirkwood, R.; Sherwood, J. A.: Sustained CAD/CAE integration: integrating with successive versions of step or IGES files, Engineering with Computers, 34(1), 2018, 1-13. <https://doi.org/10.1007/s00366-017-0516-z>
- [9] Carfagni, M.; Facchini, F.; Furferi, R.: A semi-automatic computer-aided method for personalized Vacuum Bell design, Computer-Aided Design and Applications, 15(2), 2018, 247-255. <https://doi.org/10.1080/16864360.2017.1375676>
- [10] Vilmar, H.; Léon, J.-C.; Ulliana, F.: From CAD assemblies toward knowledge-based assemblies using an intrinsic knowledge-based assembly model, Computer-Aided Design and Applications, 15(3), 2018, 300-317. <https://doi.org/10.1080/16864360.2017.1397882>



Design and Implementation of Computer Aided Equipment Management Information System

Jichao Liu¹, Kun Li¹

¹Yanching Institute of Technology, Hebei Yanjiao, 065201, China, likun@yit.edu.cn

Corresponding Author: Kun Li, E-mail: likun@yit.edu.cn

Abstract. Enterprises can use information management systems and use computers as an aid to improve their management level. This paper takes the implementation and application of enterprise equipment management information system as the background, and combines the special equipment management situation of the enterprise unit with different user needs to complete the design and implementation of computer-aided equipment management information system. First, this article uses J2EE to implement various functions of the system, select a SQL Server database, and use it to store information. Secondly, in order to be able to manage the equipment online, this article chooses the B/S mode. Finally, the design of the system is completed and implemented through related technologies. Through computer-assisted information management of equipment management, equipment management level and work efficiency can be improved, equipment management can be scientific, standardized, and digitized, and ultimately the modern management level of the enterprise can be improved.

Keywords: Design and Implementation; Computer Aided; Equipment Management; Information System

1 INTRODUCTION

The traditional manual device management mode is inefficient and cannot meet the requirements for device management in practice, and its disadvantage is that it will easily cause confusion in device management. Therefore, the use of computer-aided management equipment can make up for the shortcomings of traditional manual management equipment, and is an inevitable trend of enterprise equipment management. To improve the efficiency of equipment management, to introduce information technology and computer-aided management into equipment management, and to build a reasonable and efficient management information system to improve the management level of enterprises, it has become an urgent need [1-2].

Equipment refers to the long-term use of the enterprise in the production. It is a general term for labor data and material data and can maintain its original physical form and function to the greatest extent [3]. Reasonable use of equipment technology and economic methods, integrated equipment management, engineering technology and financial management and other means to maximize the cost-effectiveness of equipment life cycle, and ultimately maximize the comprehensive benefits of equipment assets [4]. Sun et al. [5] based on the analysis of the basic

principles of the three-tier structure, according to the system requirements, given the applicable application components, and the design and implementation of the structure of the equipment management information system based on the three-tier model. Adela et al. [6] put forward the viewpoint of system, pointing out that business process and process innovation have become an important principle of modern enterprise MIS construction. At the same time, the process characteristics of enterprise equipment management are analyzed, and the basic functions of a process-based equipment management information system and its operating platform are introduced. Mehdi et al. [7] conducted a systematic analysis and innovative research on the current status of equipment management with a heavy machinery industry company as the background, proposed specific goals for equipment management information, and designed a hybrid structure based on B/S and C/S. This solution is not only a set of management software design, but also an innovation in equipment management. Li et al. [8] the medical equipment management information system is an indispensable part of hospital management now, and its reasonable development and application are embedded in the hospital information system to form a dynamic whole-process management.

Therefore, based on the above analysis, this article takes the implementation and application of the enterprise equipment management information system as the background, and combines the special equipment management situation of the enterprise unit with different user needs to design and implement a computer-aided equipment management information system. First, this article uses J2EE to implement various functions of the system, select a SQL Server database, and use it to store information. Secondly, in order to be able to manage the equipment online, this article chooses the B/S mode. Finally, the company's current business processes were combed to meet the needs of users. The system's logical design, interface design, functional module design, and database design were completed and implemented through related technologies. Through computer-assisted information management of equipment management, equipment management level and work efficiency can be improved, equipment management can be scientific, standardized, and digitized, and ultimately the modern management level of the enterprise can be improved.

2 RESEARCH ON RELATED TECHNOLOGIES

2.1 Choice of development mode

At present, there are two widely used development models: B/S and C/S [9]. However, the difference between the two is obvious. The main reason is that the former is responsible for creating the Web system, while the latter is mainly responsible for the creation of a stand-alone system. Among them, the structure of B/S mode is shown in Figure 1.

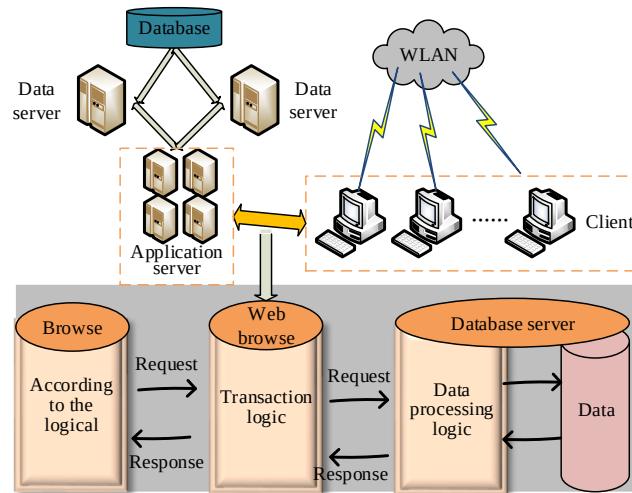


Figure 1: B/C three-tier architecture

From Figure 1, we can know that the B/S structure is mainly composed of three layers, which are the presentation, data, and function layers [10].

Compared with the C/S mode, the B/S mode has its own advantages. Specifically, we can summarize its main advantages as follows.

1) B/S mode is easier and more convenient to operate. Moreover, its scope of application is wider. A system created in C/S mode can only be applied in a local area network. Nevertheless, systems built in B/S mode do not have this limitation. When the server and the PC can be connected to each other, the system can be accessed smoothly. Not only that, you only need to install a browser in B/S mode. C/S is more complicated, and a client must be installed. In summary, B/S mode is more convenient and quick to use.

2) Low maintenance cost. In C/S mode, when updating the system, the client must be handled separately. As a result, the cost of maintaining the system has increased significantly. However, in the B/S mode, it is only necessary to update the server, which greatly reduces the maintenance cost of the system.

In summary, this thesis is a device management system created based on the B/S model. The purpose is to improve the quality of the system and better meet user needs.

2.2 Selection of development technology

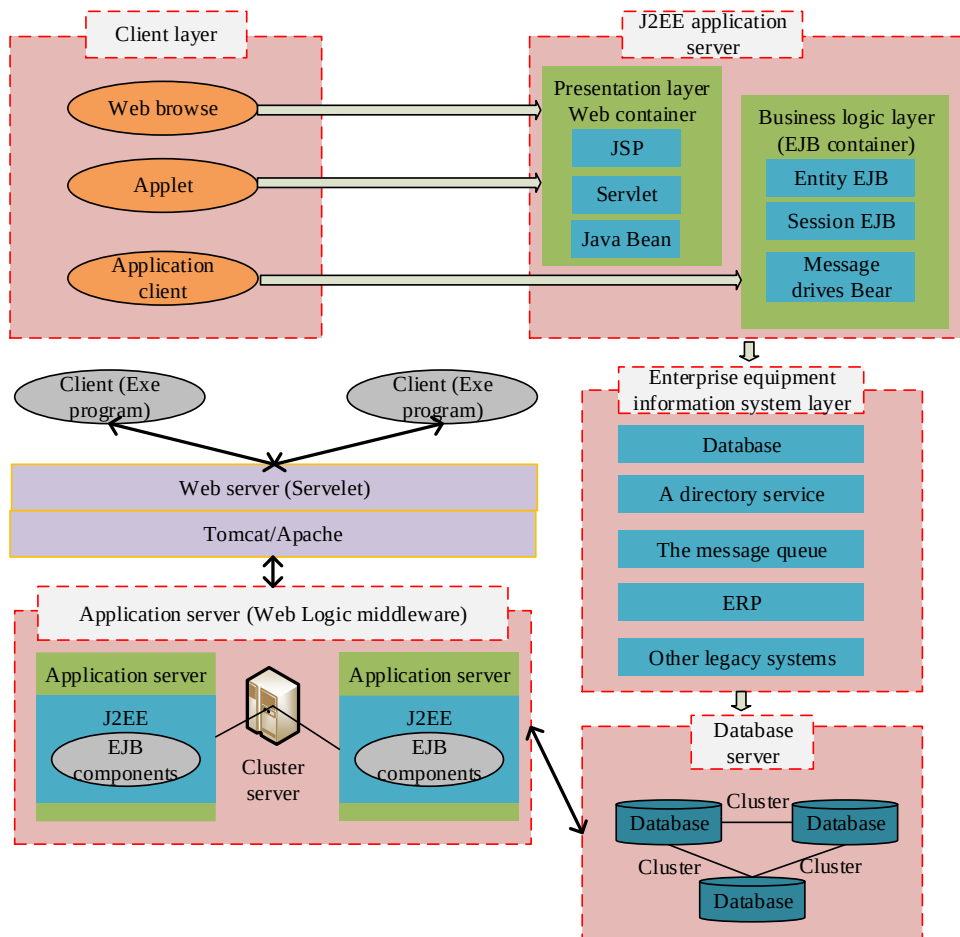


Figure 2: A four-tier structure diagram for J2EE

JAVA technology has high security, and secondly, it has good portability [11]. Therefore, this article is implemented through JAVA technology.

This platform is composed of four parts, which are the Web layer, customer layer, business layer, and EIS layer. In the system, the tasks undertaken by each layer are different. Specifically, the relationship between the four layers is shown in Figure 2.

3 DESIGN OF COMPUTER AIDED EQUIPMENT MANAGEMENT INFORMATION SYSTEM

3.1 System Architecture Diagram

A good system architecture can ensure the security and stability of the system. The system uses a three-tier architecture model based on B/S to provide services for users in different departments within the enterprise. The system uses JAVA language to develop the interactive interface and business processes. The business processes are published using the Tomcat application server. The database uses SQL Server to store data and completes access operations through JDBC. At the same time, the layered architecture can also meet the security requirements of the system. The three-layer architecture of the system is shown in Figure 3.

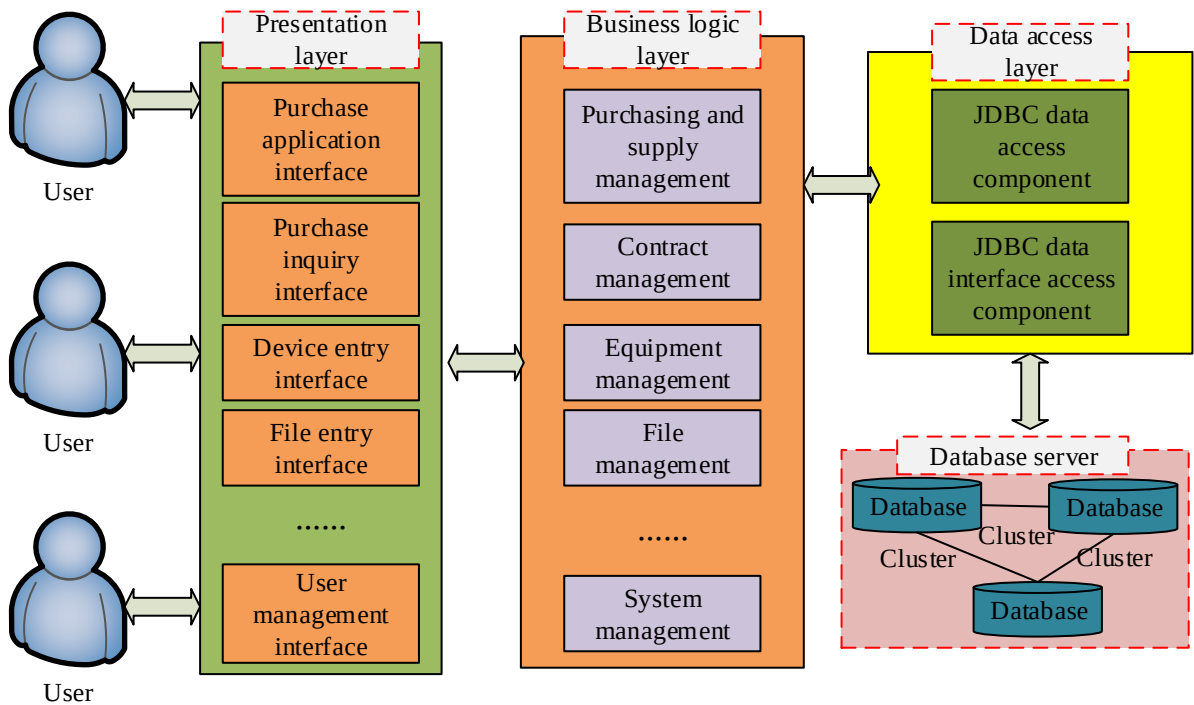


Figure 3: System architecture diagram

Under this system architecture, the device management system can not only meet the internal network access, but also meet the needs of external mobile office. The system topology is shown in Figure 4 below.

Place the device management information system server in the DMZ zone. The translation of NAT addresses is completed on the firewall, so that the system can guarantee internal access while also satisfying employees' access outside the unit. The firewall restricts the ports. Except for service ports, all other ports are closed, reducing the risk of network attacks and ensuring the security of network systems.

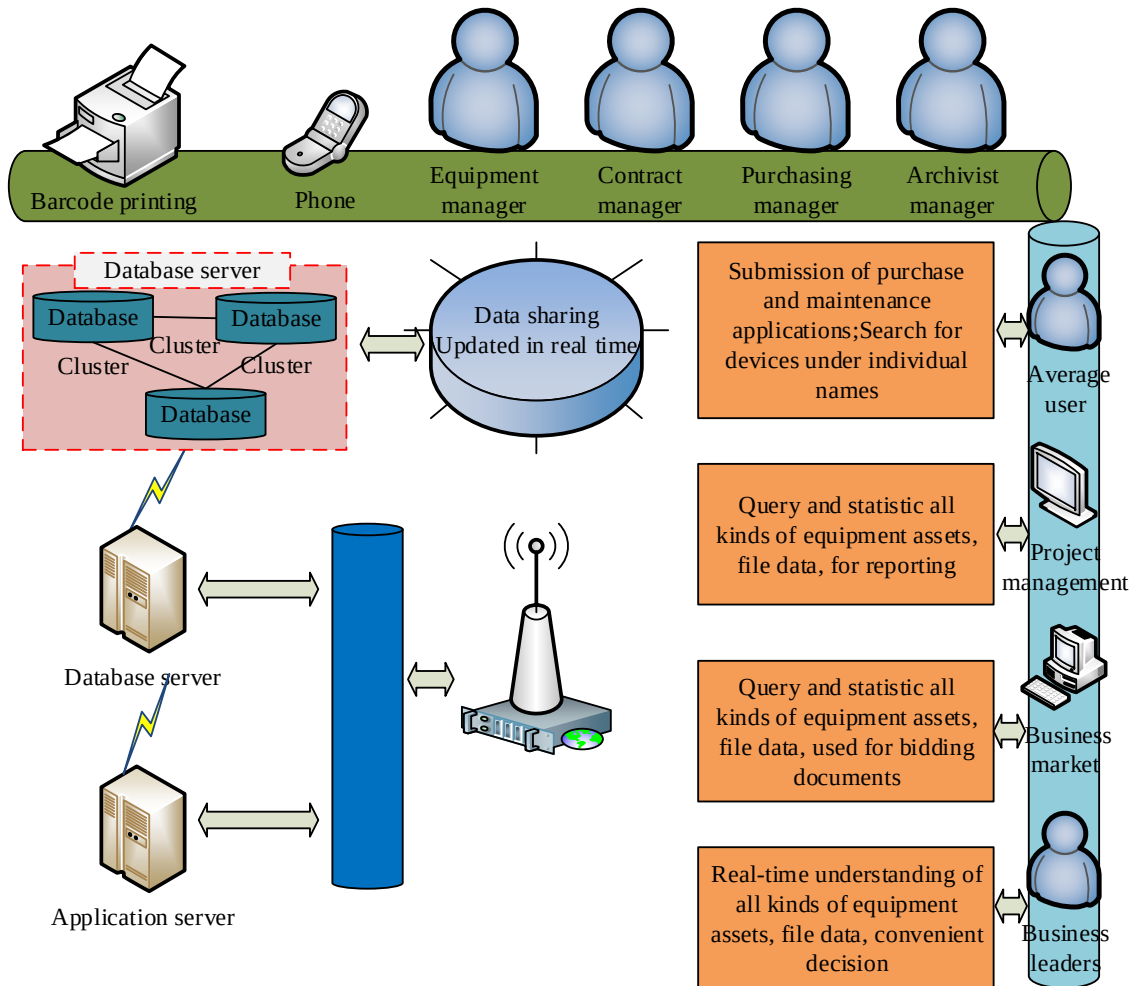


Figure 4: System complement diagram

3.2 System function design

The main work of system function design is to establish the system module structure. In order to ensure the accuracy of the system data and the uniqueness of the source, it is necessary to establish a unified portal for basic data to realize data sharing, which can provide basic guarantees for system data processing, thereby improving the overall system availability. The detailed functions of the seven functional modules of the system are shown in Table 1 below.

Table 1. System main modules

Module name	Features
Common management module	Display the equipment list under the personal name to ordinary users; meet the daily equipment purchase application and equipment maintenance application.
Purchasing Management Module	Provides the functions of adding, deleting, or modifying and viewing purchase requisitions to summarize and match purchase requirements.
Contract Management Module	Enter contract-related content and manage contract execution progress.
Asset Management	Add, delete, modify, and check assets, and manage the daily circulation of

Module	assets, including borrowing, receiving, transferring, and equipment status.
Archive management module	Add, delete, modify and check archive records, and manage borrowing and return of archives.
Query Management Module	Generate reports in a fixed format to meet daily needs, and provide custom conditions to generate reports.
System Management Module	Add, modify, and delete system users and device categories; back up system data.

(1) System login

As a security gateway to the application system, system login is indispensable. This layer of protection can ensure the normal users of the system and determine the use rights of logged-in users. System login is mainly used for identification, to ensure system security and to grant user permissions.

(2) Data interface design

System operation needs to input the original data of the equipment. If you rely on manual re-entry, the workload is too large to ensure the accuracy of the data. The new system provides a data import function to meet the import of external data.

(3) Data sharing design

The entered data flows in the system, and the data owner can perform operations such as adding, deleting, and modifying. Data users can reference these data as a source of processed data.

3.3 Database Design

Database storage is independent of its programs. Database systems organize data information in a certain data model for storage. Data flow diagram describes the transformation process of data flow from input to output from the perspective of data transmission and processing.

In the top-level data flow diagram, users need to submit applications and query information through the system. The administrator edits and maintains the basic data information of each post, and summarizes and prints the data that needs to be reviewed for leadership approval. Leaders complete the approval by offline means. The system administrator mainly implements the maintenance and backup of system and user data. The processing functions in the top-level data flow diagram of the system are further decomposed to obtain the first-level data flow diagram of the equipment management information system. The first layer of data flow diagram decomposes the system into six sub-functions: purchase management, contract management, asset management, file management, query management and system management.

4 SYSTEM TESTING

4.1 Function testing

As shown in Figure 5, the function display of each function of the system. User authentication is the first pass to protect system security. First, the user logs in to their account. Through the system's main interface to complete the authentication of user permissions, so that users get the corresponding operating functions and enter different user interfaces. The establishment of the common management module is to meet the user's easy operation, and combines the functions of equipment purchase application, equipment maintenance application, and asset query list under the user's personal name into one functional module. The list lists the device list by default, which meets the user's real-time query to understand the personal device ownership. You can also choose to view the book materials in your personal name through the asset category drop-down list. The contract manager manages all contracts, and the manual contract list is difficult to meet the retrieval needs. The contract management interface implements contract entry management

and execution progress management. Enter the contract for purchasing assets according to the system requirements, and monitor the progress of contract execution. The asset management module is the main part of the management system. This module mainly implements equipment information management, equipment circulation management, equipment maintenance management, and equipment inventory.

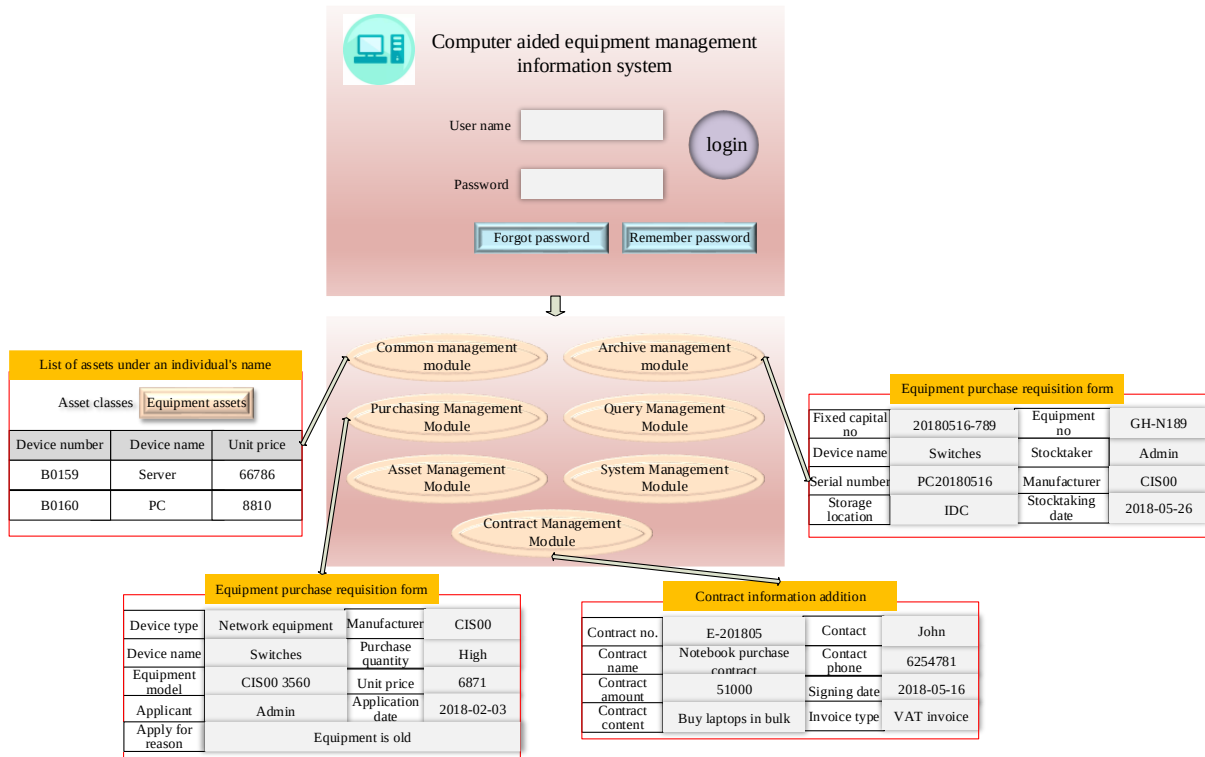


Figure 5: Function display of each function of the system

4.2 Performance testing

When the system is online with 200 users at the same time, the information query operation of device is performed to monitor the CPU, memory and other resources of the system. The performance test uses the HP Load Runner performance test tool to test and analyze the resource occupation of the system's 200 online users who complete information query operations of device.

The CPU and memory utilization of test results when 200 users are online are shown in Figure 6. Tests show that due to the Gigabit internal network environment, system access has little pressure on network bandwidth, and bandwidth utilization does not exceed 35%. The test scenario is that the query action mainly reads the disk, and the disk utilization is lower than 76.12%. When the system has 200 users, the CPU utilization is up to 28.3%, and the memory utilization is relatively stable. The test results performed well and met the requirements of the system design. The system function test is performed based on the test cases. The obtained results are consistent with the expected results. The performance indicators such as resource consumption pass the test within a reasonable range.

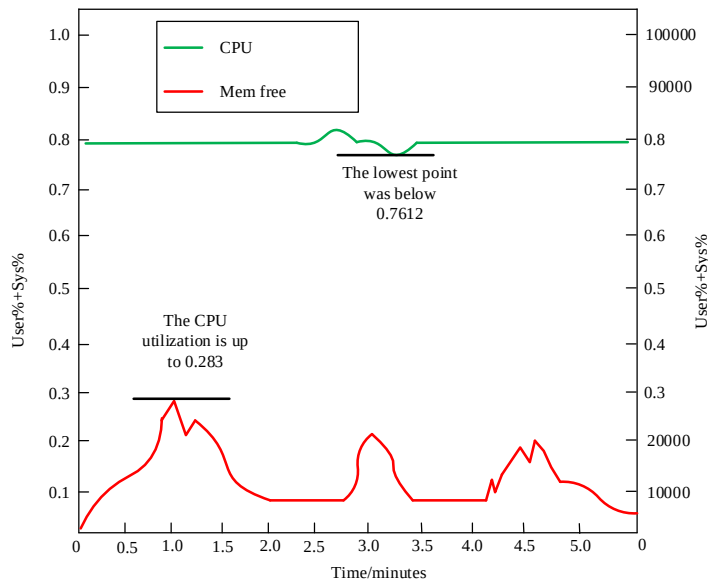


Figure 6: 200 User online test resource occupation

By setting different load amounts, the average response time, CPU utilization, and request success rate of queries under different conditions are recorded separately. It can be seen from the test results that increasing the think time (that is, considering the actual request time) can increase the success rate of requests, reduce the CPU utilization, and reduce the average response time. Nevertheless, at the same time it will increase the actual response time, so the impact of the setting and value of the thinking time on the performance test indicators is worth studying. The request success rate and CPU utilization trend under different load conditions are shown in Figure 7 and Figure 8.

It can be known from Figure 7 and Figure 8 that if the actual request time is considered, the success rate of the system request can be greatly improved. On this basis, we can continue to consider the impact of different think times on system performance. In addition, the actual request time is not only related to the number of concurrent users and throughput, but also to the number of iterations.

The purpose of system performance optimization is to improve the request success rate of user transactions. Considering only the average response time of the system, the load on the system is large, the success rate is low, and the CPU utilization is high. Although a larger load stress test can be performed on the system through simulation at this time, the user access characteristics that need to be considered when the system is actually running are ignored. Starting from the user's access characteristics, using the actual request time and user request success rate as the performance indicators of the optimized system can more accurately locate the optimization goal of the system, and reduce the cost of the optimized system to a certain extent. At the same time, in the process of analyzing user access characteristics, comprehensive consideration needs to be given to the system's average response time, think time, request success rate, and resource utilization to ensure the system is more stable and reliable.

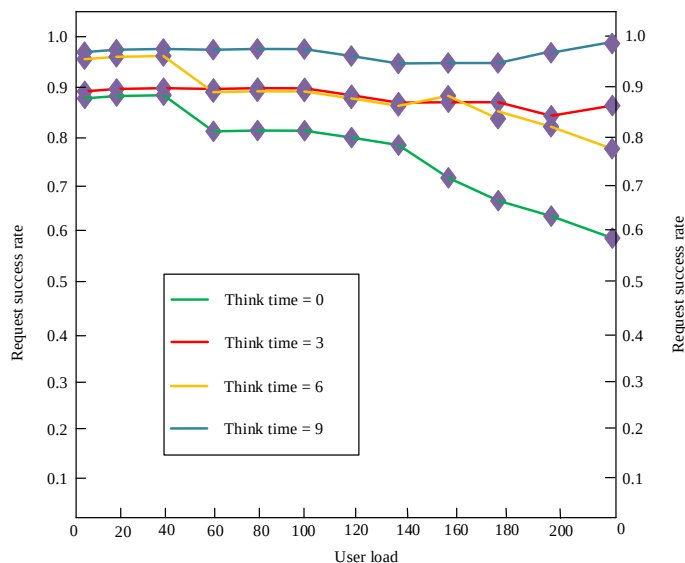


Figure 7: Relationship between load and request success rate at different think times

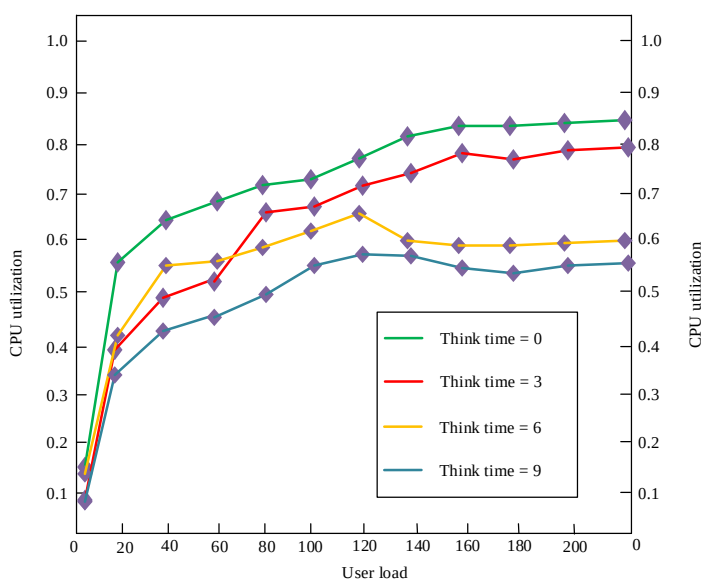


Figure 8: Relationship between load and CPU utilization at different think times

5 CONCLUSIONS

In order to improve the efficiency of equipment management in enterprises and institutions, the comprehensive utilization rate, strengthen the standardization, information of equipment management, and meet the needs of production and scientific research, this paper establishes a computer-aided equipment information management system to realize the automation of equipment management and provide a practical tool for enterprise equipment management. On the basis of fully understanding the needs of the unit, a set of equipment information management system based on JAVA technology B/S architecture was designed, which simplified a series of daily tasks such as equipment procurement, contract management, equipment management, and file

management, and improved work efficiency has brought obvious convenience to the unit's asset management. The development and application of equipment management information systems can greatly reduce the daily manual workload. Processing and processing of equipment data through information makes equipment asset management easier, and asset information data is more accurate and transparent. At the same time, it also ensures the correctness and uniqueness of the data, facilitates the data mining and processing of different departments, and provides important equipment data support for the production and decision-making of enterprises and institutions.

6 ACKNOWLEDGEMENTS

Hebei Youth Fund Project: Development and Research of Pension Robot (No. QN2019328).

7 ORCID

Jichao Liu, <https://orcid.org/0000-0001-5778-5417>

Kun Li, <https://orcid.org/0000-0002-2075-3523>

REFERENCES

- [1] Sudirman, I.; Siswanto, J.; Monang, J.: Competencies for effective public middle managers. *The Journal of Management Development*, 38(5), 2019, 421-439. <https://doi.org/10.1108/JMD-12-2018-0369>
- [2] Wu, Y.; Chen, J.: Collaborative Logistics Information Service Framework and Reference Model: Based on the Perspective of Service Ecosystem. *Journal of Service Science & Management*, 11(1), 2018, 1-12. <https://doi.org/10.4236/jssm.2018.111001>
- [3] Wang, D.; Liu, F.X.: Research on Social Responsibility Information Disclosure of Listed Dairy Companies in China. *Journal of Service Science and Management*, 11(3), 2018, 323-332. <https://doi.org/10.4236/jssm.2018.113022>
- [4] Pang, T.; Varga, K.: Portfolio Optimization for Assets with Stochastic Yields and Stochastic Volatility. *Journal of Optimization Theory & Applications*, 182(3), 2019, 691-729. <https://doi.org/10.1007/s10957-019-01513-y>
- [5] Sun, G.L.; Liu, Z.J.; Du, Y.W.: Design and Implementation of Agricultural Information Acquisition System Based on ZigBee and Qt. *Journal of Computer & Communications*, 06(2), 2018, 13-26. <https://doi.org/10.4236/jcc.2018.62002>
- [6] Adela, D.; Resinas, M.; Amador, D.: Visual ppinot : A Graphical Notation for Process Performance Indicators. *Business & Information Systems Engineering*, 61(2), 2019, 137-161. <https://doi.org/10.1007/s12599-017-0483-3>
- [7] Mehdi, T.; Soroosh, N.; Babak, S.: Selecting most efficient information system projects in presence of user subjective opinions: a DEA approach. *Central European Journal of Operations Research*, 26, 2018, 1027-1051. <https://doi.org/10.1007/s10100-018-0549-4>
- [8] Li, Y.: Monitoring Data Management Information System for Securities Market. *Wireless Personal Communications*, 103(2), 2018, 1-8. <https://doi.org/10.1007/s11277-018-5444-8>
- [9] Pytrik, R.; Sander, J.; Jacques, J.: On the development and use of farm models for policy impact assessment in the European Union – A review. *Agricultural Systems*, 159, 2018, 111-125. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.10.012>
- [10] Kandaswamy, R. ; Stock, P.G.; Gustafson, S.K.: OPTN/SRTR 2018 Annual Data Report: Pancreas. *American Journal of Transplantation*, 20(s1), 2020, 131-192. <https://doi.org/10.1111/ajt.15673>
- [11] Rastelli, S.: Neurolinguistics and second language teaching: A view from the crossroads. *Second language Research*, 34(1), 2018, 103-123. <https://doi.org/10.1177/0267658316681377>



Design and Implementation of Human-Computer Interaction Intelligent System Based on Speech Control

Jichao Liu¹, Wenhui Chang¹, Jing Li^{1*}, Ju Wang¹

¹Yanching Institute of Technology, Hebei Yanjiao, 065201, China, lijing@yit.edu.cn

Corresponding author: Jing Li, lijing@yit.edu.cn

Abstract. Introducing the voice control technology into the human-computer interaction of the mobile terminal can inject new vitality into the terminal device, simplify the operation difficulty, provide a brand-new experience for the user, and have a great market prospect. This paper discusses the sampling of speech signal and the method of frame windowing. Based on this, the method of extracting the characteristic coefficient of speech signal and its key parameters are discussed, including the concepts of short-term energy, power, zero-crossing mean in time domain and LPCC and MFCC parameters in the frequency domain. The DTW and HMM algorithms of speech recognition are studied. After describing their respective characteristics and solving methods, they are selected. Meanwhile, an embedded system software architecture was built. In order to verify the feasibility of the control system, the voice program was verified, including endpoint detection and DTW algorithm program. The verification results show that the voice control method of this paper is accurate and efficient for the control of human-computer interaction intelligent system.

Keywords: voice control; human-computer interaction; DTW; intelligent terminal.

DOI: <https://doi.org/>

1 INTRODUCTION

With the rapid development of information technology in the era, the wave of intelligence has swept the world. People's work, study and life have become more and more closely linked with intelligent products, and the requirements for smart terminal equipment are getting higher and higher, especially handheld terminal [1,2]. Since the size of the handheld portable terminal device is small, the available control devices (such as a keyboard) are not as much as ordinary PCs, so it is particularly important to design the control mode of the terminal [3]. A well-designed terminal control system should have the characteristics of simple operation, easy to get started, and complete and rich command functions [4]. This creates a contradiction with the compact interface of the terminal device. In order to solve this contradiction, it is necessary to get rid of the constraints of physical control, and transfer to a more high-end control mode, voice recognition control is one of the most advantageous solutions [5,6].

Speech recognition technology is very rich in theoretical construction and practical application. Developed by AT&T Bell Labs, the Audrey speech discrimination system is the world's first

computer-based speech recognition system [7]. This system can judge 10 English numbers based on voice, which has become the cornerstone of speech recognition technology research [8]. With the continuous maturity of computer science and technology, and also the advancement of speech recognition technology, scholars have scientifically dealt with various model problems caused by people's speech by constructing and applying linear prediction profiling techniques and dynamic regularization ideas [9,10]. Both have brought new ideas to the development of speech recognition. Some scholars have solved the problem of the establishment of the speech template library by using the academic theory of signal information estimation and decoding [11,12]. In view of the problem that the length of the sound emitted by the template matching in speech recognition is not uniform, the relevant scholars have constructed a dynamic time warping (DTW) technical framework to solve the problem [13,14]. In addition to the dynamic time warping algorithm, vector quantization (VQ) technology and hidden Markov model (HMM) were also proposed during this period, which brought a richer operation scheme to speech recognition. Some researchers have combined artificial neural network technology (ANN) with hidden Markov algorithm model, and applied to the development of long sentence continuous word discrimination system [15,16]. Some scholars have proposed a normalized scoring mechanism that solves the problem of non-uniform speech duration [17,18]. This scoring mechanism greatly reduces the influence of speech duration on recognition scores. Some scholars have introduced linear predictive coding into speech recognition, which reduces the impact of speech frequency response changes on recognition [19]. Some studies have found that deep learning is applied to speech recognition, which is more than 20% better than the traditional GMM-HMM speech recognition system [20]. Some studies have shown that acoustic models based on convolutional neural networks can achieve better performance than DNNs, achieving relatively 3%-5% performance improvement in large vocabulary continuous speech recognition tasks [21]. By using a very deep CNN structure, better recognition results can be obtained on some speech recognition tasks. In order to better model the dynamic correlation of speech timing, many researchers currently use the recursive structure based on long and short memory cells to model acoustic models and succeed in some large databases [22]. However, the LSTM training is time-consuming and unstable. In order to make the feedforward neural network have the advantage of LSTM in temporal dynamic correlation, the delay neural network is a feedforward neural network that can be used for long-order dynamic correlation modeling. Re-applied to speech recognition, it has achieved good modeling effects in long-term context speech recognition tasks. However, the more mature deep learning-based acoustic modeling technology still relies on the traditional GMM-HMM for training, which leads to the training of the whole model into multiple stages. In order to solve this problem, how to carry out end-to-end speech recognition control has become a hot spot of research.

This paper implements a human-computer interaction intelligent terminal system with voice control. The instruction is a basic instruction, which is an identification of isolated words in the category of phonetics. Therefore, the choice to use the DTW algorithm allows for a better compromise between effectiveness and reduced system resource consumption. Therefore, the language programs in this paper are designed around the DTW algorithm. By researching the software at the bottom of the system, according to the needs of speech recognition, the overall software architecture of the system is established, and the device driver part is studied. Finally, the simulation of the written speech program is carried out, and the important parameter settings and methods of the program are discussed. The endpoint detection algorithm is optimized.

The rest of this article is organized as follows. Section 2 discusses the design of the voice control module, followed by the construction of the system software platform in Section 3 and the key driver design of the voice control intelligent terminal. Section 4 carries out simulation verification of the voice control human-computer interaction intelligent system. Section 5 summarizes the full paper and gives the future research directions.

2 DESIGN OF VOICE CONTROL MODULE

2.1 Speech recognition system architecture

The system for identifying sound mainly consists of the following components: a preprocessing module, a characteristic parameter extraction module, and an identification module, as shown in Figure 1.

The task of the endpoint detection module is to divide the starting point and the ending point for the speech segment to be identified; the task of the characteristic parameter extraction module is to convert the sampled speech into the frequency domain or the frequency domain or the scrambling domain, and save the result vector. First, the endpoint detection module detects the start and end points of the speech segment and completes the framing, and then the characteristic parameter extraction unit performs the calculation of the specified algorithm frame by frame, and then saves the result as the characteristic vector. For the isolated word authentication system, due to the scarcity of embedded system hardware resources, it is necessary to strictly control the operation and storage load of the system, which requires vector quantization of the feature vector. Of course, for a large-scale resource-rich form, the impact of these restrictions is negligible, and the result of the feature parameter extraction module is usually directly used as a speech recognition template. Then, the recognition algorithm unit performs a pairing calculation on the vector of the speech segment to be recognized and the vector of the template library, and sets the speech segment template with the largest degree of matching as the discrimination result output. Figure 2 shows the embedded system modules and architecture.

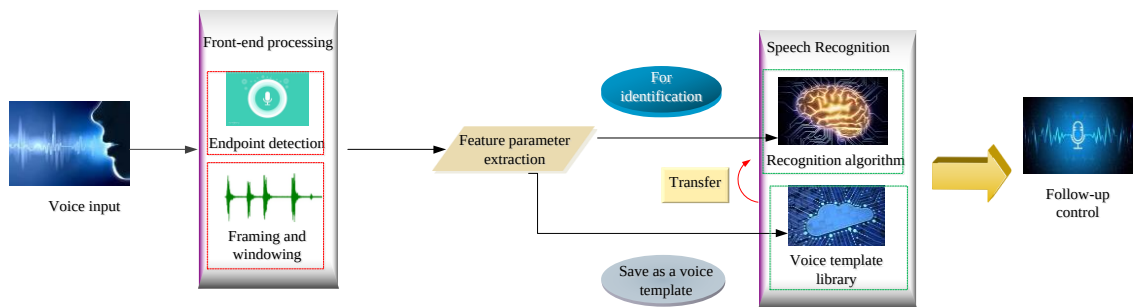


Figure 1: Speech recognition system block diagram

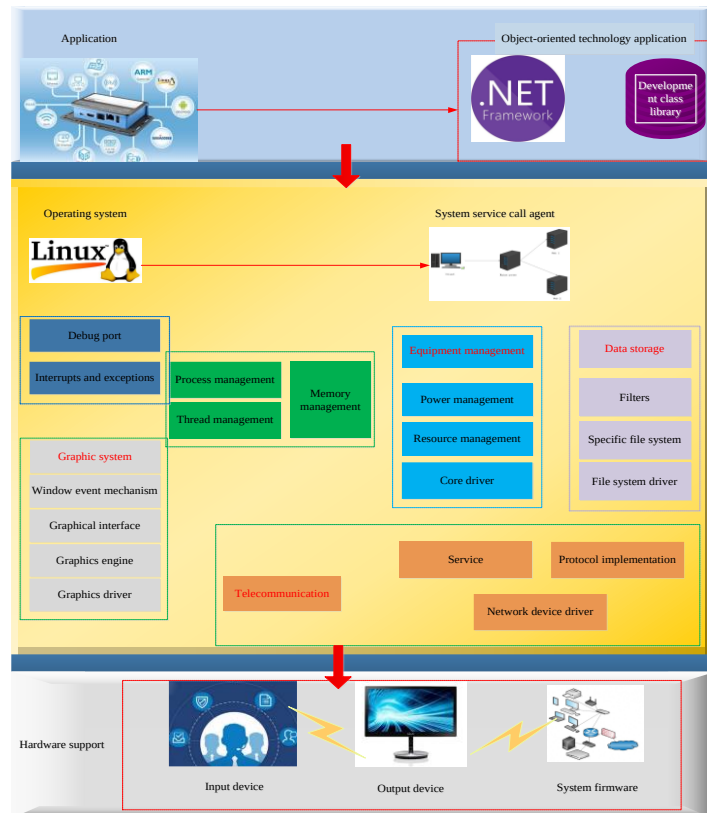


Figure 2: Embedded System Modules and Architecture

2.2 Voice signal front-end processing

1) Signal pre-strengthening

The speech signal will have a large loss in the high-frequency part, so it is necessary to make up for this part of the lost information by a means, so that the pre-emphasis processing comes into being. After the pre-emphasis process, the loss of the high-frequency part is recovered, and the signal quality of the entire spectrum is consistent, and can be processed in the same way. In addition, after pre-emphasis, the speech signal to be processed is only related to the utterance part, which is more in line with the conditions of frequency domain analysis and sound generation coefficient analysis.

Pre-emphasis can be achieved by processing the speech signal with the transfer function shown below:

$$G(z) = 1 - az^{-1} \quad (1)$$

The interval of a is $[0.4, 1.0]$. After processing the signal, the signal must be restored. The effect of the pre-emphasis function is removed.

2) Frame division and window function processing

The next step after the speech signal has been reinforced is to perform a "cut" process, using a window function to process the signal into speech micro-elements. Each of the micro-elements thus obtained is called a speech frame. Adjacent two micro-elements can be connected or overlapped. We generally use the latter because it can make the micro-elements too smooth. In order to make the interface between the frame and the frame good and the connection is stable, we generally adopt the overlapping framing method. The common area between the two frames is called frame shift, and the ratio of the frame shift to the length of the micro-element is $[0, 0.5]$.

Each 240 sampling points is set to one micro-frame, and 80 sampling points are set to the frame shift length, the ratio of which is 1:3. The method of dividing the frame is to integrate the speech signal $V(n)$ with the framed window $w(n)$ to obtain a "window processing" language signal function:

$$V_w(n) = V(n) * w(n) \quad (2)$$

Among the speech recognition processing, the most widely used window functions are rectangular window function, Hamming window function and Hanning window function. The expressions are:

$$w(n) = \begin{cases} 1 & 0 \leq n \leq K-1 \\ 0 & \text{other} \end{cases} \quad (3)$$

$$w(n) = \begin{cases} 0.54 - 0.46 \cos(2\pi n / (K-1)) & 0 \leq n \leq K-1 \\ 0 & \text{other} \end{cases} \quad (4)$$

$$w(n) = \begin{cases} 0.5[1 - \cos(2\pi n / K)] & 0 \leq n \leq K-1 \\ 0 & \text{other} \end{cases} \quad (5)$$

K denotes the number of frames contained in each window, and the selection of $w(n)$ is critical for the subsequent processing of the feature parameter extraction of the speech signal. Aiming at different application analysis environments and adopting a reasonable window model, the extracted feature parameters can be well matched with the actual language function waveform characteristics.

Comparing the above three kinds of window functions can be obtained: when the rectangular signal is used to frame the speech signal, the result will be the midpoint of the true frequency of the signal and the shape of the rectangular window spectrum. Spreading out, there is a phenomenon similar to "leakage", which is unfavorable for signal analysis. In addition, the low-pass waveform of the Hamming window is relatively flat, and the short-term nature of the signal can be described relatively completely, except that the resolution is not as high as the rectangular window function. Based on the above, the Hamming window can be used as the framing window.

3) Endpoint detection

The calculation steps of the time-based micro-energy zero-crossing mean two-threshold endpoint detection method are shown in Figure 3.

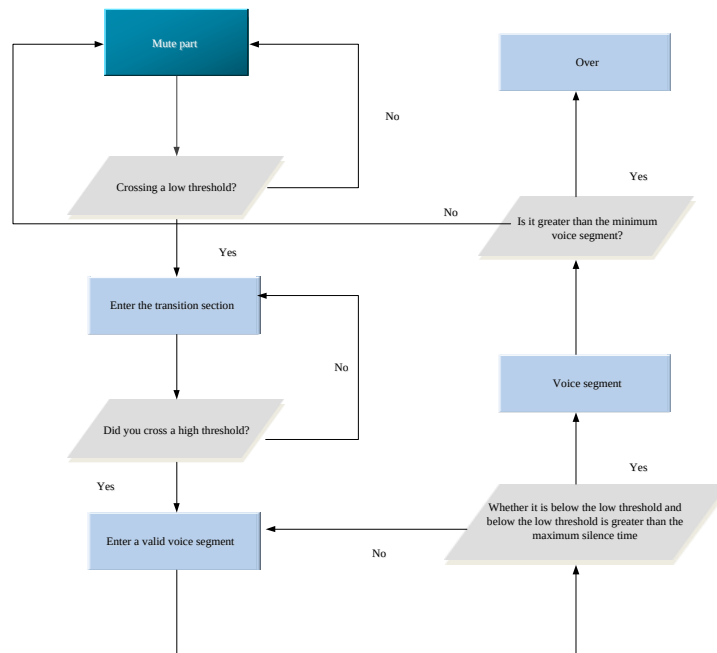


Figure 3: Flow chart of short-time energy short-time zero-crossing rate double threshold algorithm

The so-called two-threshold endpoint detection method refers to the idea of using "double check", that is, time micro-element energy detection, time micro-element zero-crossing mean detection. The first step is to use the time micro-element energy to make the initial judgment, and the second step is to use the time micro-zero mean value to make the second recognition.

At the beginning of the detection process, four reference values are defined, which are the high and low thresholds of the energy of the time micro-element, and the high and low thresholds of the zero-crossing mean of the time micro-element. In this way, all speech detection processes are subdivided into four steps: a mute part, a transition part, a valid part, and a part. If the energy in the mute section, the zero-crossing mean, has crossed the low threshold, then the decision signal belongs to the transition. In the transition part, because the absolute value of the reference value is low, it is not yet possible to accurately answer whether it belongs to the effective sound part. Only when one of the above two reference values breaks through the high threshold value can the determination signal enter the effective sound part. If the reference value becomes a low threshold then we consider the signal to be at the end.

2.3 Speech recognition module algorithm

1) The basic idea of the DTW algorithm

Dynamic time warping is a standard template matching comparison algorithm. This algorithm transplants the dynamic programming theory in operations research into sound recognition, and at the same time overcomes the problem of different sizes when comparing arrays of different speech function characteristic coefficients. Small vocabulary is widely used in the field of recognition and has achieved good results. The sound resolution program designed by the DTW method based on dynamic time planning not only has excellent performance, but also saves a lot of system resources and has good real-time performance. It is the preferred method for small vocabulary systems.

According to the dynamic programming algorithm, the unknown vector is uniformly extended or shortened to be equal to the length of the reference template of the template library. In such a

program, the time coordinates of the speech to be recognized are irregularly warped or curved so that the characteristic vector of the speech matches the reference vector.

2) Solution of dynamic time warping algorithm

Assume:

$$i(1) = j(1) = 1, g(1,1) = 2d(a_1, b_1) \quad (6)$$

$$Sum(i, j) = \begin{cases} 0 & (i, j) \in region \\ big & (i, j) \notin region \end{cases} \quad (7)$$

In the formula, we generally set the range of the region to two parallel vertices with (1,1), (i, j) and a parallelogram with a slope of 0.5 and 2.

Analogy for a small pair of distances:

$$Sum(i, j) = \min \begin{cases} Sum(i-1, j) + d(a_{i-1}, b_j) \cdot w_n(1) \\ Sum(i-1, j-1) + d(a_i, b_j) \cdot w_n(2) \\ Sum(i, j-1) + d(a_i, b_j) \cdot w_n(3) \end{cases}, (i = 2, 3, \dots, J, (i, j) \notin region) \quad (8)$$

The weights are set to:

$$w_k(1) = w_k(3) = 1, w_k(2) = 2 \quad (9)$$

The number of strokes of the adjustment function varies with the vector length of the template and the speech to be tested. It can be verified that if we define the weight function reasonably, the following formula will hold:

$$\sum w_n = I + J = Const \quad (10)$$

This way you can launch the pairing weights as:

$$L = Sum(I, J) / (I + J) \quad (11)$$

According to the laws of phonetics, we lock the range of the paired search route in a parallelogram with two opposite vertices at (1,1), (i, j), and the slopes of the two adjacent sides are 0.5 and 2, as shown in Figure 4.

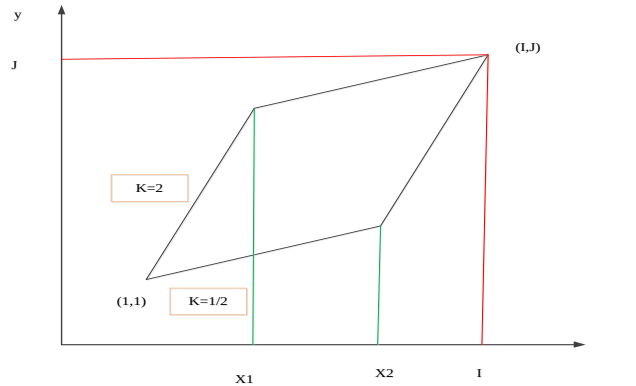


Figure 4: Schematic diagram of the DTW optimization algorithm

It can be seen from Figure 4 that the pairing distance represented by the pairing points outside the restricted area is not required to be obtained, and in addition, it is not necessary to record the pairing path and the accumulated path array of all the frames. The reason for this is that during the calculation, we actually only used 3 possible matching points on the forward path. Grasping this point can greatly reduce the amount of DTW calculations and the necessary storage capacity of the system.

The accumulated route array can be expressed as:

$$D(x, y) = d(x, y) + \min[D(x-1, y), D(x-1, y-1), D(x-1, y-2)] \quad (12)$$

3 SYSTEM SOFTWARE PLATFORM CONSTRUCTION AND KEY CONTROL DESIGN OF VOICE CONTROL INTELLIGENT TERMINAL

3.1 Construction of the software platform

The system implementation mainly includes the following four levels: application, operating system, driver, and hardware device. The first step of the Linux system startup is the system homing of the central processor S3C2440 and the self-test of the structure. The second step is to perform the initial homing of the hardware devices related to the development board. The key point is to load the driver to the hardware.

In the operation of setting the kernel file, it is necessary to support the liquid crystal display, the support of the yaffs file format, the support of the UDA1341TS audio chip, the serial port and the support of the flash memory. After the setting is completed, we save the result of the setting as a file, and only need to load this setting file every time you want to call it.

The graphical user interface is also an important part of this article. In addition to the advantage of providing users with a friendly operator panel, the embedded QT system used in this article also has a development platform similar to VC: QT designer. This kind of tool brings great convenience to development. It can directly use the signal + slot mechanism that will be discussed later, and it is convenient to link functions and functions, functions and events.

The most distinctive feature of QT/Embedded is the programming of the signal + slot function. This mechanism connects the program event directly to the ideal response program, eliminating the difficulty of many program calls.

In this paper, QT is introduced in the speech recognition system. In the process of system startup, input of voice commands, output recognition results and control of the terminal, we have to present the results of the program to the user through the LCD.

When the voice program is written, we save it to the corresponding folder of the compiled QT. Finally, we compile this voice program in the QT directory. After successfully compiling, we use the command qvfb to realize the operation of the graphical user interface, then adjust some parameters, and finally run the voice program, you can see the visual voice program.

3.2 LCD driver design

The intelligent voice terminal uses the LCD as a display device, and the LCD can obtain strong support of the LINUX graphical user interface software, making the system design more user-friendly. The LCD driver directly serves the embedded QT. QT renders multiple pictures by calling various trace plotting functions in the driver.

The Linux operating system assigns a supported port to the graphical interface device. This port is the frame buffer device. This port virtualizes the buffer domain of the imaging device, ignoring the difference in hardware level of different types of imaging devices, and more advanced applications. The layer is capable of reading or writing data unobstructed in the imaging mode of operation to the imaging device buffer domain. Application programmers no longer have to study the specific orientation or save mode of the buffer domain of the underlying hardware layer imaging device, because these tasks have been done by the frame buffer startup program. From the perspective of the frame buffer component, by writing the color digitization value in the range of the image buffer domain to match the display, the corresponding color will appear on the LCD display. The organization structure of the frame buffer component driver is shown in Figure 5.

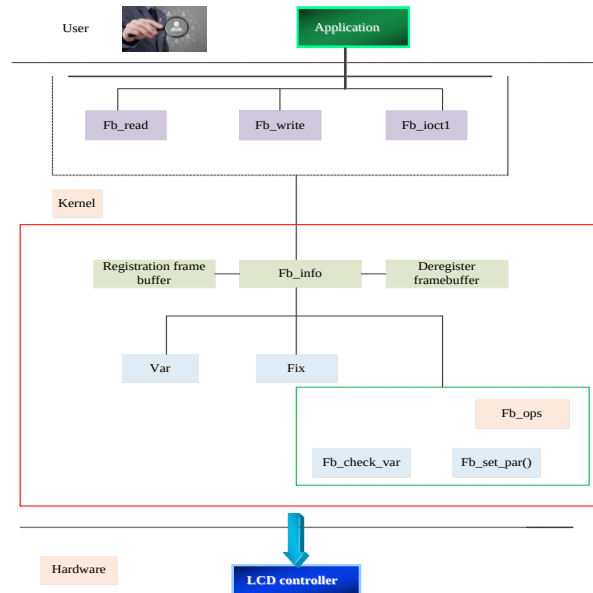


Figure 5: Organization of the frame buffer component driver

3.3 Audio chip UDA1341 driver design

The sound device startup program must operate the voice chip hardware in order to divert audio. After implementation, an audio mode port is connected to the application layer. Ports of the audio device face to the application layer, digital audio processing DSP and mixing device Mixer. The former function is to manage the transmission of the sound data stream, that is, the sound file in the digital format of the power amplifier, record the sound and save it as a digital format. The latter function is mainly for the sound release, that is, by mixing various sound frequencies. Controlling the sound quality is manifested by changing the loudness, frequency, etc. of the sound. The files describing these 2 ports are saved in the Linux device folder dev, the files dsp and mixer. The function of the audio driver we are designing mainly accomplishes the following tasks: the device returns to the default state, turns on the device, loads digital sound processing and mixing device drivers, and uninstalls the driver.

We create a UDA1341TS driver in the oss folder under the sound directory of the kernel file, mini2440_uda1341.C, then edit the code, and finally load the driver into these 2 files by modifying the settings reference files Makefile and Kconfig. When compiling the kernel, it will compile the written driver into the system. Once the audio device is turned on, the application can use the UDA1341 chip. When the program wants to change the sound size, the MADPLAY program will call the mixer in the driver to control the volume by modifying the function value.

4 VOICE-CONTROLLED HUMAN-COMPUTER INTERACTION INTELLIGENT SYSTEM SIMULATION VERIFICATION

4.1 Pre-processing verification

Simulation based on matlab programming are shown in Figure 6. The part of the two vertical lines is the effective voice part.

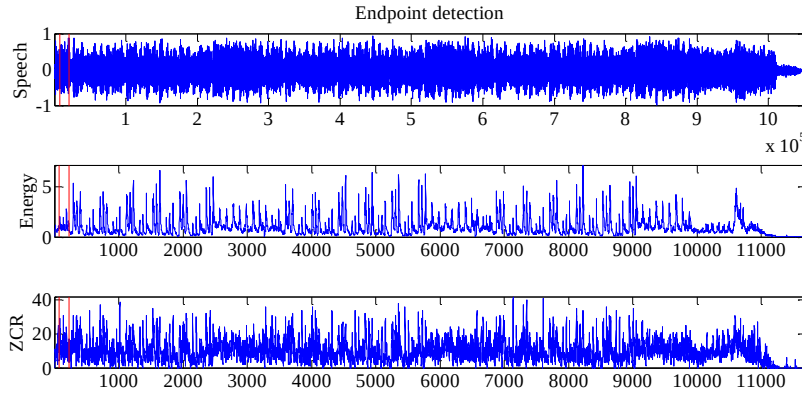
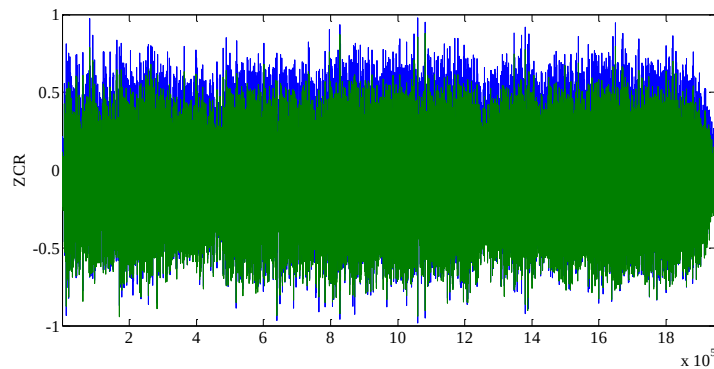


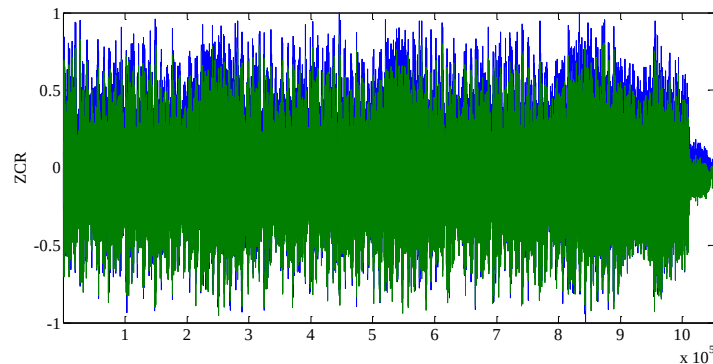
Figure 6: "Play" voice command endpoint detection simulation diagram

It can be seen from Figure 6 that the effective speech part can be intercepted from a speech signal by the endpoint detection algorithm program, but the range of interception is still large, the precision is not high, and the latter optimization is needed. It need type endpoint detection algorithm for further processing.

In addition, based on Matlab, the concept of time micro-zero mean value and time micro-element energy value is simulated, and the time micro-element energy value and time-micro-zero mean value are obtained. The results are shown in Figure 7(a) and 7(b).



(a) "Play" voice command time micro-element energy



(b) "Play" voice command time micro-element zero-crossing mean

Figure 7: Time micro-element energy and micro-zero zero mean simulation

As can be seen from the above figure, in the effective speech segment, both the energy and the ZCR value peak, are respectively in the appropriate numerical interval, which indicates that the result detected by the endpoint is satisfactory.

Before performing endpoint detection, the speech signal should be used to do the framing operation of the add window function. The window function should be selected appropriately. The selected window length is too wide. When the calculation processing speed is increased, the recognition accuracy will decrease. Correspondingly, assuming that the window length is too narrow, although the accuracy of the system can be improved, the calculation time load of the system is increased.

In view of the above situation, this topic uses the variable window function time micro-element endpoint detection method to apply a wider window function to the mute part. The narrower window function is applied to the transition part. The function is applied in the active segment.

The time micro-energy value has important significance for endpoint detection. It has many functions. Specifically: 1. The soft and turbid sounds contained in the speech signal have different bio-energy, and the unvoiced energy can be small and turbid. The sound energy is high, according to which it can identify the attribution of the speech segment; 2. On the basis of 1, the time micro-element energy can also help identify the valid speech segment and the silent segment in the algorithm; 3. In the Chinese character recognition, the time micro-element energy can distinguish between the initial and the final, and can effectively "cut" for long sentences. The following describes how to write the program:

(1) We declare the parameter int status, this variable can take 3 values, each value represents the stage of the speech segment, as follows: when status=0, indicating that the speech segment is in the silent position; when status=1, indicating the speech segment is in the transition part; when status=2, it indicates that the voice signal enters the valid part; when status=3, it indicates that the voice signal is in the end stage.

(2) When using the conventional endpoint detection method, the program should pre-process and set the state variable to zero. When the time micro-element energy exceeds the low threshold, the state variable is set to one. At this time, the voice becomes the transition zone, and then the wide window span is changed to a narrow span.

(3) When the time micro-element energy crosses the high threshold, the state variable is reset to 2, and the voice signal is declared to enter the effective area. At this time, the span of the window function is changed to an ordinary size.

(4) The time micro-element energy is gradually decreased. When it is less than the low threshold again, the window function span is changed again, and the process is completed when the speech signal is terminated.

In order to prevent the result of the error, the program also adds two variables, the narrowest speech width and the widest silent length. The improved Matlab simulation results of the speech signal endpoint detection calculated by the variable window function width method are shown in Figure 8.

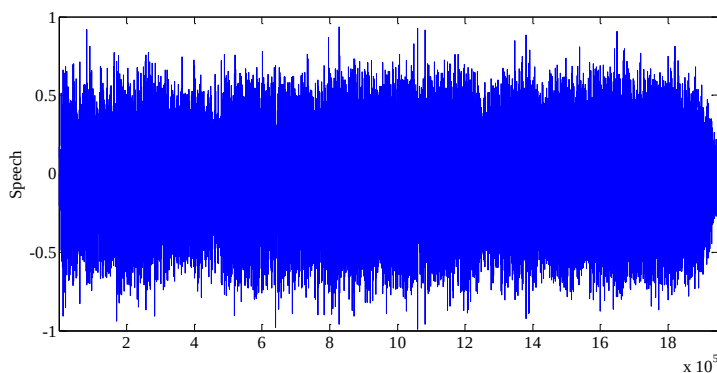


Figure 8: Variable window function width endpoint detection Matlab simulation

The effective part of the speech segment is limited between the two vertical lines. Comparing this figure with the common endpoint detection algorithm, the reliability and accuracy of this method are higher, and the division interval is more reduced, thus saving a lot of system storage resources, eliminating a lot of redundant solution process, provide a good voice material for subsequent processing.

4.2 DTW program verification

We set up five control command samples, which are: "Play", "Pause", "Previous", "Next", "Stop". Based on these instructions, we performed ten sample recognitions of the Play command. The pairing path as shown in Table 1 was calculated by the Matlab simulation software.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Play	3.32	3.21	3.01	3.03	2.97	2.88	2.66	3.56	3.41	3.01
Pause	8.99	8.56	8.99	7.98	9.32	9.86	9.66	8.55	9.20	8.97
Previous	8.45	8.11	8.51	8.36	8.63	9.63	9.32	9.24	9.44	9.11
Next	8.55	8.21	8.71	9.26	9.61	8.01	7.99	10.22	9.32	9.10
Stop	7.31	8.23	8.10	8.01	8.20	9.33	9.01	8.75	8.49	8.90

Table 1: Using matlab to simulate the normal DTW method pairing difference

After the above, this paper uses the DTW optimization algorithm to perform the sampling identification of ten "forward" instructions, and again uses the Matlab simulation software to obtain the pairing path results as shown in Table 2.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Play	1.21	2.02	1.99	1.55	3.42	1.62	2.81	2.52	1.37	1.44
Pause	8.21	9.13	8.01	8.72	8.51	9.01	9.22	9.45	8.23	9.31
Previous	9.23	8.66	8.32	9.56	9.14	9.00	8.01	9.04	8.55	7.99
Next	8.53	8.32	9.88	7.99	7.98	9.71	8.02	8.47	8.65	8.75
Stop	9.59	7.81	9.13	8.73	8.73	8.49	9.85	8.26	8.99	8.37

Table 2: Using Matlab simulation improved DTW method pairing difference

According to the above results, this paper averages the pairing difference of each group of instructions, and uses a certain range of this average value as the effective recognition range. When the error of the input command and the template is within this range, the system determines the input voice. The instruction corresponding to the template performs subsequent operations. Otherwise, the judgment is negative, and the sample is returned.

5 CONCLUSION

As an important way of human-computer interaction, voice control has the characteristics of interaction and convenience compared with other interaction methods, making human-computer interaction more natural and easy, liberating users' hands and improving the automation of the system, which will become the most natural way of human-computer interaction. In this paper, the method of speech recognition is studied in detail, and the front-end processing of signals, important parameters such as time-domain frequency domain and dynamic time warping algorithm are analyzed. On the basis of the above, a speech recognition program was written to recognize the speech and achieved good results. In order to apply the algorithm to practice, the embedded system platform was built and the visual GUI design was completed. The voice program was transplanted to QT, and the "play", "pause", "previous" and "last", The "stop" 5 basic control commands are implemented. However, the implementation of this article is carried out in a quiet and ideal environment. However, the actual application environment is very different, and the

noise interference is very serious. How to "filter" effective speech information from it, we need to study anti-noise algorithms, such as speech enhancement algorithm spectral subtraction, Wiener filtering and compensation techniques. These also require more in-depth research.

ORCID

Jichao Liu, <https://orcid.org/0000-0001-5778-5417>

Wenhui Chang, <https://orcid.org/0000-0001-5960-6988>

Jing Li, <https://orcid.org/0000-0003-3027-4355>

Ju Wang, <https://orcid.org/0000-0001-5928-0519>

ACKNOWLEDGEMENTS

Hebei Youth Fund Project: "Development and Research of Pension Robot" (No.QN2019328).

REFERENCES

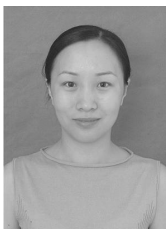
- [1] Devi N, Easwarakumar K S. A Clinical Evaluation of Human Computer Interaction Using Multi Modal Fusion Techniques. *Journal of Medical Imaging & Health Informatics*. 2017; 7(8):1759-1766.
- [2] Zhao X, Chu Y, Han J, et al. SSVEP-Based Brain - Computer Interface Controlled Functional Electrical Stimulation System for Upper Extremity Rehabilitation. *IEEE Transactions on Systems Man & Cybernetics Systems*. 2017; 46(7):947-956.
- [3] Fujiki R B, Chapleau A, Sundarajan A, et al. The Interaction of Surface Hydration and Vocal Loading on Voice Measures. *Journal of Voice Official Journal of the Voice Foundation*. 2017; 31(2):211.
- [4] Piccolo A D, Rocchesso D. Non-speech voice for sonic interaction: a catalogue. *Journal on Multimodal User Interfaces*. 2017; 11(1):1-17.
- [5] Coelho Y L, Salomao J M, Kulitz H R. Intelligent Hand Posture Recognition System Integrated to Process Control. *IEEE Latin America Transactions*. 2017; 15(6):1144-1153.
- [6] Leica P, Roberti F, Monllor M, et al. Control of bidirectional physical human - robot interaction based on the human intention. *Intelligent Service Robotics*. 2017; 10(1):31-40.
- [7] Liu Z, Min W, Cao W, et al. A facial expression emotion recognition based human-robot interaction system. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*. 2017; 4(4):668-676.
- [8] Long Y, Aleven V. Educational Game and Intelligent Tutoring System: A Classroom Study and Comparative Design Analysis. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*. 2017; 24(3):1-27.
- [9] Campos, J.C, Fayollas, et al. A "More Intelligent" Test Case Generation Approach through Task Models Manipulation. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction*. 2017; 1(1):9.
- [10] Ahmed A I A, Hong C, Zhang L, et al. On-line Walking Speed Control in Human-Powered Exoskeleton Systems Based on Dual Reaction Force Sensors. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*. 2017; 87(1):1-22.
- [11] Yi X, Yang X. A review on in-tire sensor systems for tire-road interaction studies. *Sensor Review*. 2018; 38(2):231-238.
- [12] Rubio-Drosdov E, Díaz-Sánchez D, Almenáez F, et al. Seamless human-device interaction in the internet of things. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*. 2018; 63(4):490-498.
- [13] Du G, Chen M, Liu C, et al. Online Robot Teaching With Natural Human - Robot Interaction. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. 2018; 65(12):9571-9581.
- [14] Yuan L, Wang M, Lian D, et al. Cross-regional driver - vehicle interaction design: an interview study on driving risk perceptions, decisions, and ADAS function preferences. *Iet Intelligent Transport Systems*. 2018; 12(8):801-808.

- [15] Rusko M, Marian T, Darjaa S, et al. Influence of noise on the speaker verification in the air traffic control voice communication. *Journal of the Acoustical Society of America*. 2017; 141(5):3469-3469.
- [16] Koss S L, Peter Baxter M D, Haig Panossian M D, et al. Serial in - office laser treatment of vocal fold leukoplakia: Disease control and voice outcomes. *Laryngoscope*. 2017; 127(7):1644.
- [17] Gibbs W W. Build your own Amazon Echo - Turn a PI into a voice controlled gadget [Resources_Hands on]. *IEEE Spectrum*. 2017; 54(5):20-21.
- [18] Ohta Y, Kawano A, Kawaguchi S, et al. Speech recognition in bilaterally cochlear implanted adults in Tokyo, Japan. *Acta Oto-Laryngologica*. 2017; 137(8):1.
- [19] Tsai W Y, Barch D, Narayanan V, et al. Always-on Speech Recognition using TrueNorth, a Reconfigurable, Neurosynaptic Processor. *IEEE Transactions on Computers*. 2017; 66(6):996-1007.
- [20] Yazdani R, Segura A, Arnau J M, et al. Low-Power Automatic Speech Recognition Through a Mobile GPU and a Viterbi Accelerator. *IEEE Micro*. 2017; 37(1):22-29.
- [21] Ihler F, Blum J, Steinmetz G, et al. Development of a home - based auditory training to improve speech recognition on the telephone for patients with cochlear implants: A randomised trial. *Clinical Otolaryngology*. 2017; 42(6):1303.
- [22] Pak C L, Katz W F. Recognition of emotional prosody in Mandarin: Evidence from a synthetic speech paradigm. *Journal of the Acoustical Society of America*. 2017; 141(5):3701-3701.

基于语义扩展的复合贝叶斯网络检索模型

白彦霞¹, 程杰^{1,2}, 莫德举^{1,2}

(1. 燕京理工学院 信息科学与技术学院, 河北 廊坊 065201; 2. 北京化工大学 信息科学与技术学院, 北京 100029)



摘要: 用户查询与文档之间语义相似或相关, 但是词法不匹配是影响信息检索性能的重要原因之一。挖掘术语间的同义词关系, 实现查询术语的语义扩展, 同时归并简单贝叶斯网络检索模型的检索结果, 构造一个复合的贝叶斯网络检索模型。给出复合模型的网络拓扑、检索流程以及相应的检索算法。实验结果表明该模型可以在实现语义检索的基础上, 进一步优化检索性能。

关键词: 用户查询; 查询术语; 相关文档; 贝叶斯网络; 归并; 同义词; 信息检索
中图分类号: TP39 **文献标识码:** A

Compound Bayesian Network Retrieval Model Based on Semantic Extension

BAI Yan-xia¹, CHENG Jie^{1,2}, MO De-ju^{1,2}

(1. College of Information Science and Technology, Yanching Institute of Technology, Langfang 065201, China; 2. College of Information Science and Technology, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: One of the most important reasons that affect the information retrieval result is the phenomenon of semantic match of user query and the document while syntactic mismatch. Capturing synonym relationships to extend the query term and combining the retrieval result of the simple Bayesian network retrieval model, a compound Bayesian network retrieval model is proposed. The internet topology of the compound model, the retrieval process and the corresponding retrieval algorithms are given. Experimental results show that the model can realize the semantic retrieval, and further optimize the retrieval performance.

Key words: User query; query term; related document; Bayesian network; combine; synonym; information retrieval

1 引言

近年来, 网络信息内容呈膨胀式增长, 用户对信息的获取方便而快捷。但是, 用户通过网络检索到的大部分信息并不能很好的满足用户需求。因为传统的基于关键字的信息检索服务只能根据用户的查询条件返回与关键字相匹配的结果, 检索机制较为简单, 遗漏掉很多内容相近但表达方式不同的信息^[1]。基于语义的查询扩展^[2-4]正是解决该问题的有效方法之一, 因为语义检索^[5-6]更加关注隐藏在检索词中的含义, 因此, 通过分析用户查询语义而扩展查询的各种智能检索模型和相应的检索算法应运而生。

贝叶斯网络作为人工智能领域处理概率问题的主要方法, 在过去十几年里已经通过不同的方式应用到了信息检索领域^[7]。因为术语间的相似

性、相关性、共现性等可以通过贝叶斯网络的拓扑结构来表示, 从而为检索与查询术语含义相同、相近的文档提供了理论基础。经典的基于贝叶斯网络的检索模型有简单贝叶斯网络检索模型(SBNR)^[8]、两层术语节点的贝叶斯网络检索模型(BNR-2)^[9]、多层的贝叶斯网络检索模型(BNR-4)^[10]、基于术语相似度的贝叶斯网络检索模型(EBNR)^[11,12]等。这些模型中除了SBNR模型是通过简单的关键词匹配进行检索外, 其他模型都对查询术语进行了不同程度的扩展, 扩大了检索范围, 但是检索质量都有待进一步提升, 以便更好的满足用户的检索需求。

本文在扩展用户查询的同时, 归并SBNR模型的检索结果, 提出一个基于语义扩展的复合贝

收稿日期: 2016-10-31; 修回日期: 2017-04-07

基金项目: 河北省教育厅项目(No.QN2017521); 廊坊市科技支撑计划项目(No.2016011022)。

作者简介: 白彦霞(1979-), 女, 河北晋州人, 研究生, 讲师, 主要从事信息检索、检测及仪表等方面的教学与科研工作(本文通讯作者); 程杰(1960-), 男, 北京人, 本科, 教授, 主要从事信息处理等方面的教学与科研工作; 莫德举(1945-), 男, 吉林榆树人, 本科, 教授, 院长。

叶斯网络检索模型(CBNR), 不仅扩展了查询, 解决了术语间语义关系的匹配问题, 而且相关文档的排序更加合理, 呈献给用户的检索结果更加精确。

2 查询术语的扩展

信息检索领域, 与查询术语相关的词有同义词、近义词、高度相关词等等, 包含这些术语的文档在一定程度上也反映了用户的查询意图, 而这些词与查询术语词法不匹配, 导致传统的检索方式无法检索到相应文档。查询扩展是解决词不匹配问题的主要方法之一^[13]。查询扩展就是以用户查询词为依据, 将与用户初始查询语义相似或相关的术语一起作为查询词以形成最终详细的查询词集合, 查询词集合在一定程度上细化了用户的检索需求, 丰富查询模型, 缓解词不匹配问题, 从而提升检索性能, 最大限度的满足用户查询需求。查询扩展的方式很多, 基于语义的扩展主要包括同义扩展、语义蕴涵、外延扩展及语义相关等一系列的推理方式。查询扩展作为查询优化的重要组成部分, 对改善信息检索系统的性能起到了至关重要的作用^[14]。

本文主要利用同义词、近义词并结合相似度进行扩展。当用户给出初始查询后, 通过术语子网来获取术语的同义词。术语子网中的同义词都是依据《同义词词林(扩展版)》而获取的, 这些同义词之间的相似程度存在着区别, 为了保证信息检索的查准率, 本文对用于扩展查询的同义词的个数进行了限制, 即利用术语相似度^[15]来进一步辨别这些同义词之间的近似程度, 选取相似度大于某一阈值的同义词进行扩展。实验结果表明, 该扩展方法能够有效提高用户查询的查准率和查全率。

3 复合模型的拓扑结构

复合模型 CBNR 的拓扑结构如图 1 所示。

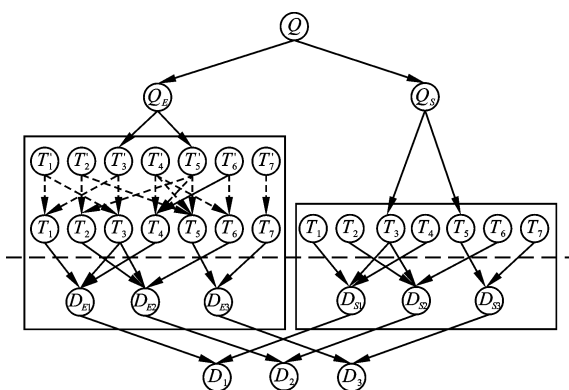


图1 CBNR模型的拓扑结构

Fig. 1 Topological structure of CBNR model

整个网络分为左右两部分。右侧实线框内为 SBNR 模型, 由一层术语和一层文档组成。文档层由 N 个文档节点构成, D_{Sj} ($j=1,2,3,\dots,N$) 表示文档, 也表示与其相关的变量和节点。左侧实线框内为 BNR-2 模型, 该网络是对 SBNR 模型的扩展, 包括两层术语和一层文档, 其中, 文档层与右侧网络中的文档层完全一样, 只是文档用 D_{Ej} ($j=1,2,3,\dots,N$) 表示, D_{Ej} 也表示与其相关的变量和节点。 D_{Sj} 和 D_{Ej} 是同一篇文档 D_j 的不同表示方式。文档变量 D_{Sj} 、 D_{Ej} 、 D_j 都是二进制变量, 取值集合分别为 $\{\bar{d}_{Sj}, d_{Sj}\}$ 、 $\{\bar{d}_{Ej}, d_{Ej}\}$ 、 $\{\bar{d}_j, d_j\}$ 。 $\bar{d}_j$ 和 d_j 分别表示文档 D_j 与给定的查询“不相关”和“相关”, $\bar{d}_{Sj}$ 、 $\bar{d}_{Ej}$ 和 d_{Sj} 、 d_{Ej} 所代表的含义分别与 $\bar{d}_j$ 和 d_j 类似。左右两部分网络最大的区别在于术语层, 在两层术语节点的贝叶斯网络 BNR-2 中, $T'_i = T_i$ ($i=1,2,3,\dots,M$), 术语变量 T'_i 和 T_i 都是二进制变量, 取值集合分别为 $\{\bar{t}_i, t_i\}$ 和 $\{\bar{t}_i, t_i\}$, $\bar{t}_i$ 和 t_i 分别表示术语 T_i “不相关”和“相关”, $\bar{t}_i$ 和 t_i 所代表的含义与 $\bar{t}_i$ 和 t_i 类似。

为了扩展查询, 将术语之间的关系通过弧的指向联系起来。术语之间的关系以同义词为基础, 相似度值为约束条件, 术语之间弧的指向包括:

① 相同术语 T'_i 和 T_i 之间的相似度 $Sim(T'_i, T_i)$ ^[15] 为 1.0, 则弧的指向由 T'_i 指向 T_i ; ② 若同义词 T_i 与 T_j 的相似度 $Sim(T_i, T_j)$ 大于某一个阈值, 则弧的指向由 T'_i 指向 T_j 和由 T'_j 指向 T_i ; ③ 若术语 T_i 只有一个同义词 T_j , 不再计算相似度 $Sim(T_i, T_j)$ 的值, 则 T'_i 和 T_j 之间、 T'_j 和 T_i 之间总存在表示同义词关系的弧。这样, 术语之间的语义关系通过弧有效的表示了出来, 而术语又被不同的文档所包含, 由此就可以检索到那些与查询术语语义相同或相似的文档, 检索性能必然提高。

CBNR 模型中 $Q=Q_E=Q_S$, Q 表示用户提供的初始查询, Q_E 表示在两层术语节点的贝叶斯网络 BNR-2 中的初始查询, 该查询中的术语可以通过两层术语节点进行扩展, Q_S 表示在简单贝叶斯网络 SBNR 中的初始查询, 该查询无法扩展。

CBNR 模型的最下面一层是归并的文档层, 其中, 任何一个文档节点 D_j 的父节点都是由 D_{Ej} 和 D_{Sj} 组成, 也就是说通过最终的文档层将整个网络左右两部分进行归并, 由此实现在扩大检索范围的同时, 提高与用户初始查询相关的文档的相

关度,使检索结果的排序更合理。

4 CBNR 模型的检索流程

CBNR模型的检索流程如图2所示。

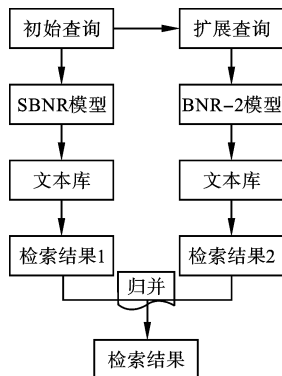


图2 CBNR模型的检索流程

Fig. 2 Retrieval process of CBNR model

具体如下:

第一步:根据用户提交的初始查询,通过SBNR模型对文本库进行检索,返回与初始查询最相关的前N篇文档,即检索结果1。

第二步:利用同义词和相似度对初始查询进行扩展,得到扩展查询,通过BNR-2模型对文本库进行二次检索,返回与扩展查询最相关的前N篇文档,即检索结果2。

第三步:将检索结果1和检索结果2进行归并,返回与用户直觉和用户需求相符合的前N篇文档。

5 基于 CBNR 模型的检索算法

根据检索流程,通过检索算法计算出文档与查询的相关度,检索文档以相关度递减的顺序提供给用户,完成整个检索过程。具体的基于CBNR模型的检索算法如下:

① 计算基于 SBNR 模型检索的文档相关度

在 SBNR 模型中,文档相关度的计算公式如下:

$$P(d_{sj} | Q_s) = \sum_{T_i \in Pa(D_{sj})} w_{ij} P(t_i | Q_s) \quad (1)$$

式中, $P(t_i | Q_s)$ 为术语 T_i 在给定查询 Q_s 下的条件概率,如果 $T_i \in Q_s$, 则 $P(t_i | Q_s) = 1$; 反之, $P(t_i | Q_s) = 1/M$, M 为术语的个数。 $Pa(D_{sj})$ 为文档 D_{sj} 的父节点,即文档 D_{sj} 的索引术语。 w_{ij} 为文档 D_{sj} 的索引术语 T_i 的权重,具体计算方法参考文献[11]。

如果一篇文档 D_{sj} 不包含查询 Q_s 中的任何术语,那么可以确定根据公式(1)所计算出来的文档相关度 $P(d_{sj} | Q_s)$ 值非常小,或者说按照相关度排

序的文档检索结果中这类文档的排序非常靠后,所以这类文档一般不会提供给用户;与之相反,如果文档 D_{sj} 包含查询 Q_s 中的全部或部分术语,文档相关度 $P(d_{sj} | Q_s)$ 值比较大,或者说在按照相关度排序的文档检索结果中这类文档的排序比较靠前,所以这类文档应该是最满足用户需要的文档,称之为最优文档。此外,还有一些包含查询 Q_s 术语同义词的文档,称之为相似文档,其在一定程度上也可能满足用户的需要,这些文档在排序的过程中应该紧紧排在最优文档之后。但是,基于 SBNR 模型计算的相关度无法实现这种合理的排序方式。

② 计算基于 BNR-2 模型检索的文档相关度

在 BNR-2 模型中,利用一般正则模型的概率函数^[11]估计两层术语节点的贝叶斯网络中任意术语 T_i 的后验概率 $P(t_i | Q_E)$:

$$P(t_i | Q_E) = \sum_{T_j' \in Pa(T_i)} v_{ij} P(t_j' | Q_E) \quad (2)$$

式中, $P(t_j' | Q_E)$ 为术语 T_j' 在给定查询 Q_E 下的条件概率,如果 $T_j' \in Q_E$, 则 $P(t_j' | Q_E) = 1.0$, 否则 $P(t_j' | Q_E) = 1/M$ 。 $Pa(T_i)$ 为术语 T_i 的父节点。 v_{ij} 为衡量每个术语 $T_j' \in Pa(T_i)$ 对术语 T_i 影响程度的权重,术语 T_j' 的权重 v_{ij} 定义如下:

$$v_{ij} = \frac{Sim(T_i, T_j')}{\sum_{T_j' \in Pa(T_i)} Sim(T_i, T_j')} \quad (3)$$

公式(3)中如果2个术语相同则相似度等于1,否则小于1。该权重定义公式保证用户查询术语本身在查询扩展中具有最强的作用,同义词具有相对较弱的作用,且相异同义词具有不同强度的作用,即对用户查询本身、用于扩展查询的相异同义词有一定的区分能力。将公式(3)带入公式(2),则 $P(t_i | Q_E)$ 为:

$$P(t_i | Q_E) = \sum_{T_j' \in Pa(T_i)} \frac{Sim(T_i, T_j')}{\sum_{T_j' \in Pa(T_i)} Sim(T_i, T_j')} P(t_j' | Q_E) \quad (4)$$

公式(4)考虑了 T_i 的所有父节点对其产生的不同影响,且 T_i 本身的影响最大。注意,对于只有一个父节点 T_j' 的术语 T_i 而言 $v_{ij} = 1.0$, 若 $T_j' \in Q_E$, 由(4)式可得 $P(t_i | Q_E) = P(t_j' | Q_E) = 1.0$, 否则 $P(t_i | Q_E) = P(t_j' | Q_E) = 1/M$ 。

基于以上计算, 在 BNR-2 模型中, 计算文档 D_{Ej} 的相关度 $P(d_{Ej} | Q_E)$:

$$P(d_{Ej} | Q_E) = \sum_{T_i \in Pa(D_{Ej})} w_{ij} P(t_i | Q_E) \quad (5)$$

单纯利用 BNR-2 模型虽然可以将最优文档和相似文档都检索出来, 但是检索结果的排序并不能很好的区分最优文档和相似文档。所以要将 $p(d_{Sj} | Q_S)$ 和 $p(d_{Ej} | Q_E)$ 归并之后的文档排序结果提供给用户。

③基于以上推理, 计算文档 D_j 最终的相关度 $P(d_j | Q)$:

$$P(d_j | Q) = u_{Sj} P(d_{Sj} | Q_S) + u_{Ej} P(d_{Ej} | Q_E) \quad (6)$$

式中, u_{Sj} 和 u_{Ej} 为衡量文档 D_{Sj} 和 D_{Ej} 分别在查询 Q 作用下对 D_j 相关度影响程度的权重, 分别定义为 $u_{Sj} = P(d_{Sj} | Q_S) / C_j$ 、 $u_{Ej} = P(d_{Ej} | Q_E) / C_j$, $C_j = P(d_{Sj} | Q_S) + P(d_{Ej} | Q_E)$, 该定义可以更进一步区分包含查询术语本身的文档和包含查询术语同义词的文档。

最后, 文档以概率递减的顺序呈现给用户, 此时用户看到的检索结果正是对查询扩展之后的结果, 检索范围不仅明显扩大, 且文档排序合理。

6 实验与结果分析

本文拟通过实验对不同类型的查询从 Recall (查全率) / Precision (查准率)、检索文档排序 2 个方面具体分析比较 SBNR 模型、BNR-2 模型和 CBNR 模型的检索性能。

6.1 实验数据库

实验数据有文档数据库、10 个查询实例以及与查询实例相关的文档, 具体情况如下。

文档数据库: 文档数据库包括 1 048 篇文档, 来源于知网, 包括三类文档:

① 最优文档, 即与 10 个查询实例高度相关的 136 篇文档; ② 相似文档, 即与 5 个查询实例的同义词、近义词相关的 100 篇文档; ③ 噪声文档, 即与查询实例相关度很小或者不相关的 812 篇文档。

文档数据库中的文档都是以特征术语的形式存储, 这些特征术语主要是文档标题中的术语和文档中的高频词汇, 代表了文档的主题思想。经统计文档数据库中共包含 2 543 个术语, 即术语库。

查询实例: 10 个查询实例分为普通查询和可

扩展性查询。具体情况见表 1。

表 1 查询实例表
Tab. 1 Query instance table

类别	查询实例	可用来扩展的同义词个数
普通查询	$Q_i (i=1-5)$	0
可展性查询	Q_6	2
	Q_7	3
	Q_8	4
	Q_9	5
	Q_{10}	6

① 普通查询 在本实验的术语库中没有与查询术语意思相近的同义词。

② 可扩展性查询 在本实验的术语库中存在与查询术语意思相近的同义词, 这些同义词用来进行扩展查询, 以便检索到更多的相关文档。

相关文档: 10 个查询实例 $Q_i (i=1-10)$ 的相关文档数分别为 10、12、15、16、25、35、26、30、37、30。相关文档存储于文档数据库。

6.2 实验分析

检索性能的评测标准采用该领域常用的 Recall (查全率) / Precision (查准率)。

通过两类查询比较 SBNR 模型、BNR-2 模型和 CBNR 模型在同一查全率条件下的查准率, 以及相关文档的排序变化情况。对于普通查询, 2 个检索模型检索到的所有相关或者不相关文档都一样, 而且所有文档的排序也一样, 或者说同一篇文章利用不同模型检索出的文档相关度一样, 即 SBNR 模型、BNR-2 模型和 CBNR 模型的检索性能一样。

所以, 对于普通查询而言, CBNR 模型并没有发挥其优势。但是, 对于可扩展性查询而言, 由于同义词的加入丰富了用户的初始查询, 在同一查全率的条件下, 查准率明显提高, 见表 2。

表 2 SBNR 模型、BNR-2 模型和 CBNR 模型的 P-R 对照表
Tab. 2 P-R contrast table of SBNR model, BNR-2 model and CBNR model

Recall	Precision		
	SBNR 模型	BNR-2 模型	CBNR 模型
0.1	0.721	0.890	0.963
0.2	0.657	0.852	0.938
0.3	0.573	0.791	0.874
0.4	0.483	0.743	0.839
0.5	0.433	0.672	0.773
0.6	0.391	0.631	0.735
0.7	0.362	0.556	0.674
0.8	0.332	0.481	0.606
0.9	0.305	0.410	0.541
1.0	0.285	0.352	0.481

表 2 说明:对于可扩展性查询,在同一查全率的条件下查准率明显提高。

其主要原因有:

① 通过查询扩展扩大检索范围,增加相关文档的数量,使包含查询术语同义词或近义词的文档的相关度被提高了,即 BNR-2 模型和 CBNR 模型的查准率提高了;

② 归并 SBNR 模型的检索结果,使与初始查询 Q 相关的文档的相关度相对提高,而与初始查询 Q 无关的文档的相关度相对降低,即 CBNR 模型的查准率比 BNR-2 模型进一步提高,而且最终呈现给用户的排序文档与用户的直觉比较符合,这正是归并 SBNR 模型检索结果的一个重要原因。

3 个模型在不同查全率下的检索性能的对比情况如图 3 至图 4 所示。

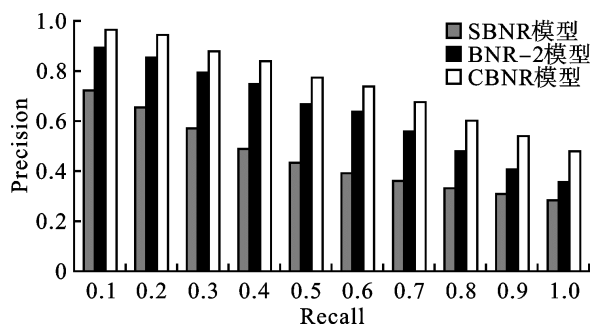


图3 SBNR模型、BNR-2模型和CBNR模型的P-R对照图
Fig. 3 P-R contrast charts of SBNR model, BNR-2 model and CBNR model

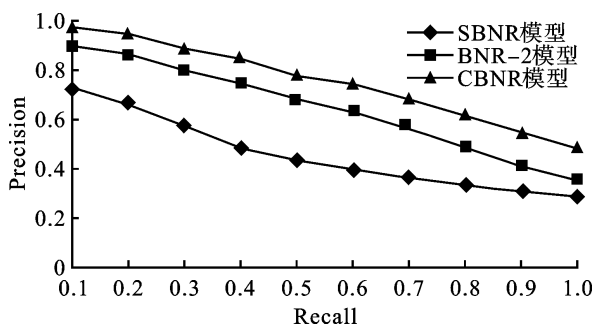


图4 SBNR模型、BNR-2模型和CBNR模型的P-R曲线图
Fig. 4 P-R curves of SBNR model, BNR-2 model and CBNR model

对于普通查询而言, SBNR 模型、BNR-2 模型和 CBNR 模型检索结果完全一样。

对于可扩展性查询,基于 BNR-2 模型和 CBNR 模型的检索算法所计算出来的文档相关度发生明显改变,由此导致相关文档的排序情况发生改变。

与 SBNR 模型相比,在查全率为 100 %的情况下, BNR-2 模型、CBNR 模型的检索结果中相关文

档排序的改变情况见表 3。

表 3 BNR-2 模型和 CBNR 模型的相关文档排序改变情况
Tab. 3 Change of document ranking in BNR-2 model and CBNR model

查询实例	BNR-2 模型	CBNR 模型
$Q_i (i=1-5)$	0.000	0.000
Q_6	0.325	0.550
Q_7	0.521	0.752
Q_8	0.542	0.781
Q_9	0.621	0.823
Q_{10}	0.714	0.886

表 3 说明:普通查询 $Q_i (i=1-5)$ 的排序情况没有变化,此时 SBNR 模型、BNR-2 模型和 CBNR 模型的检索结果完全相同。对于有一个或多个同义词的查询 $Q_i (i=6-10)$ 而言,部分相关文档的排序发生明显改变,尤其是查询术语有多个同义词的情况,并且随着同义词个数的增加,排序变化率不断提高。CBNR 模型的检索结果变化尤为明显,主要原因在于查询术语扩展的同时归并了 SBNR 模型的检索结果。

7 结 论

文章详细阐述了以查询扩展为目的的 CBNR 模型的拓扑结构、检索流程及相应的检索算法。通过实验详细比较了 SBNR 模型、BNR-2 模型和 CBNR 模型检索结果的质量,实验结果表明:CBNR 模型可以在不偏离用户检索目标的前提下扩大检索范围,在一定程度上实现语义检索,更重要的是 CBNR 模型对检索结果的排序更加合理,检索性能更加优越。

参考文献(References)

- [1] 李兴春.信息检索技术中基于语义的扩展查询研究 [J].重庆师范大学学报(自然科学版),2013,30(4):115-118.
Li X C. Research on the semantic query expansion of information retrieval technology [J].Journal of Chongqing Normal University (Natural Science), 2013,30(4):115-118.
- [2] 林智超.基于查询扩展的网络信息语义检索服务的研究与实现 [D].上海:华东师范大学, 2012.
Lin Z C. Research and implementation of the semantic retrieval of network information service based on query expansion [D].Shanghai: East China Normal University,2012.
- [3] C Carpineto,G Romano. A Survey of automatic query expansion in information retrieval[J]. ACM Computing Surveys,2012, 44(1):159-170.
- [4] J Gao, G Xu, J Xu .Query expansion using path-constrained random walks [Z]//Proceedings of the 36th international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval. Dublin, Ireland,2013: 563-572.

- [5] 王李冬,张慧熙.基于 HowNet 的微博文本语义检索研究 [J]. 情报科学,2016,34(9):134-137.
Wang L D, Zhang H X. Microblog text semantic retrieval based on HowNet[J]. Information Science,2016,34(9):134-137.
- [6] 孙志军,郑焱,袁婧,等. 基于浅层语义分析技术的语义检索 [J]. 计算机科学,2012,39(6):107-110.
Sun Z J, Zheng Q, Yuan J, et al. Semantic retrieval based on shallow semantic analysis technology[J]. Computer Science, 2012,39(6):107-110.
- [7] Luis M. De Campos, Juan M. Fernandez-Luna, Juan F. Huete. Bayesian networks and information retrieval: an introduction to the special issue [J]. Information Processing and Management. 2004, 40(5): 727-733.
- [8] Silvia Acid, Luis M. De Campos, Juan M. Fernandez-Luna, et al. An information retrieval model based on simple Bayesian networks [J]. International Journal of Intelligent Systems. 2003,18(2): 251-265.
- [9] Luis M. De Campos, Juan M. Fernandez-Luna, Juan F. Huete. Clustering terms in the Bayesian network retrieval model: a new approach with two term-layers [J]. Applied Soft Computing. 2004, 4(2): 149-158.
- [10] 白彦霞,云彩霞,李珊.多层的贝叶斯网络检索模型 [J]. 计算机工程与应用,2009,45(16):165-168.
Bai Y X, Yun C X, Li S. Multi-layered Bayesian network model for information retrieval [J]. Computer Engineering and Application, 2009,45(16):165-168.
- [11] 白彦霞.基于术语相似度的贝叶斯网络检索模型扩展研究[D]. 保定:河北大学, 2007.
Bai Y X. Research on extended Bayesian network retrieval model based on similarity of term [D]. Baoding: Hebei University, 2007.
- [12] 白彦霞,李珊,张秋菊,等.贝叶斯网络检索模型的性能评估 [J]. 计算机工程与应用,2011,47(31):112-115.
Bai Y X, Li S, Zhang Q J, et al. The evaluation for Bayesian network retrieval models' performance [J]. Computer Engineering and Application, 2011,47(31):112-115.
- [13] 韩中元,杨沐昀,孔蕾蕾,等.基于词汇时间分布的微博查询扩展[J]. 计算机学报,2016,39(21):1-14.
Han Z Y, Yang M Y, Kong L L, et al. Query expansion based on term time distribution for microblog retrieval[J]. Chinese Journal of Computers, 2016,39(21):1-14.
- [14] 李维银,石玉龙,陈杰,等. 基于分类模型的查询扩展方法[J]. 计算机科学,2015,42(6):18-22.
Li W Y, Shi Y L, Chen J, et al. Query expansion based on classification mode. Computer Science, 2015,42(6):18-22.
- [15] 刘群,李素建. 基于《知网》的词汇语义相似度计算. Computational Linguistics and Chinese Language Processing, 2002, 7(2): 59-76.
Liu Q, Li S J. Word similarity computing based on How-net. Computational Linguistics and Chinese Language Processing, 2002, 7(2): 59-76.

基于激光感知信息的智能家居监控系统

张伟娟, 常文慧, 刘继超

燕京理工学院信息科学与技术学院; 河北 廊坊 065201

摘 要: 为了解决智能家居监控存在通信盲区、流量大的缺点, 设计了一种基于激光感知信息的智能家居监控系统, 选取 STM32F103 单片机作为系统核心处理器, 该系统感知层利用由嵌入式控制板、传感器监控节点以及路由器组成的传感设备单元中所包含的激光传感器等传感器, 感知智能家居以及环境信息, 激光传感器利用谐波检测技术检测环境中气体浓度, 完成信息感知后, 利用传感网络组网以及协同信息处理单元的协同信息处理模块处理感知信息, 将完成处理的感知信息发送至网络层, 网络层利用蓝牙、无线通信网络等技术将感知结果传送至应用层, 应用层将监控结果显示至监控显示界面, 在智能家居存在异常情况时, 通过语音报警模块实时报警。实验结果表明, 所设计系统的峰值信噪比在 30 dB 以上, 且具有 270 kb/s 以上的传输速率, 只需检测大约 6 kbit 的数据量就可以对智能家居系统进行有效监控。该系统能有效地监控智能家居温度、湿度、气体浓度等指标, 没有通信盲区。

关键词: 激光; 感知; 信息; 智能; 家居; 监控系统

中图分类号: TN248 **文献标识码:** A **doi:** 10. 14016/j.cnki.jgzz. 2022. 02. 188

Smart home monitoring system based on laser sensing information

ZHANG Weijuan, CHANG Wenhui, LIU Jichao

School of Information Science and Technology, Yanching Institute of Technology, Langfang Hebei 065201, China

Abstract: In order to solve the problems of communication blind area and large flow in smart home monitoring, this paper designs a smart home monitoring system based on laser sensing information. STM32F103 is selected as the core processor of the system. The laser sensor and other sensors in the sensor equipment unit composed of sensor monitoring nodes and routers sense the smart home and environmental information. The laser sensor uses the harmonic detection technology to detect the gas concentration in the environment. After the information perception, the sensor network and the collaborative information processing module of the collaborative information processing unit are used to process the sensing information. The sensing information is sent to the network layer, the network layer uses Bluetooth, wireless communication network and other technologies to transmit the sensing results to the application layer, and the application layer displays the monitoring results to the monitoring display interface. When there is an abnormal situation in the smart home, the real-time alarm is given through the voice alarm module. The experimental results show that the peak signal-to-noise ratio of the system is more than 30 dB, and the transmission rate is more than 270 kb/s. The data volume of kbit can effectively monitor the smart home system. The system can effectively monitor the smart home temperature, humidity, gas concentration and other indicators, without communication blind area.

Key words: laser; perception; information; intelligence; home furnishing; monitoring system

1 引言

家居的舒适化与智能化是人们生活追求的重点, 许多公司已经开发出智能家居产品^[1-3]。智能家居监

控系统指将传感器技术、无线通信等技术与灯光照明设备、环境监控设备等设备有机结合的系统。应用在人们的日常生活中, 可以创建出高效、安全、舒适的生活环境^[3]。避免空气中污染物过多影响人们生活健康^[4-5]。智能家居监测系统应在智能家居以及环境为异常状态时及时报警, 提升智能家居使用安全性。国内研究学者高丽英以及王宗等人分别利用网联车辆以及树莓派远程监控智能家居^[6-7], 实现了对智能家居有效监控, 但存在着终端感知设备类型较少, 触发危险事件后通信延时较高、无法及时报警以及传感

收稿日期: 2021-08-17

基金项目: 河北省高等学校科学技术研究项目 (No. QN2019328)

作者简介: 张伟娟 (1985-), 女, 硕士, 讲师, 研究方向: 通信系统与信号处理, 交通信息工程及控制。

通信作者: 常文慧 (1985-), 女, 硕士, 讲师, 研究方向: 自动控制技术。

器功耗过大的缺陷。

针对上述研究存在的问题,设计一种基于激光感知信息的智能家居监控系统,利用激光传感器、温湿度传感器等传感器感知智能家居以及环境信息,具有报警功能。通过系统测试结果验证该系统具有运行稳定性高、拓展性高以及实时性高的优势,可应用于智能家居监控的推广中。

2 激光感知信息的智能家居监控系统

2.1 系统总体结构

基于物联网技术所设计系统总体结构如图 1 所示。



图 1 系统总体结构

所设计系统由感知层、网络层以及应用层所组成。系统通过感知层的激光传感器以及温湿度传感器等传感器采集智能家居监控相关数据,传感设备层中包含众多感知设备,利用感知层的传感网络组网与协同信息处理,实现信息协同处理以及传感组网^[8-10]。感知层传感设备层包括照明控制模块、光照控制模块等模块。系统将利用传感器所感知的信息,通过网络层中所包含的通信技术以及网关等信息传输技术传输至应用层,系统所采用主要通信技术包括 Wi-Fi、ZigBee、蓝牙等。系统利用应用层实现各项监控服务的支撑以及用户与系统间的交互。利用电脑、手机等设备中所包含的控制软件通过网络实现传感器控制,系统应用层实时显示感知层各传感器的状态以及智能家居的监控结果。

2.2 硬件设计

2.2.1 传感设备单元

嵌入式控制板、传感器监控节点以及路由器组成传感设备单元。通过所设置传感器监控节点感知智能家居以及环境的温度、湿度、气体浓度、光照强度等信息^[1]。利用 RJ45 以太网传感器所采集数据通过路由器以及嵌入式控制板传送至智能家居监控应用层。传感设备单元的硬件结构如图 2 所示。

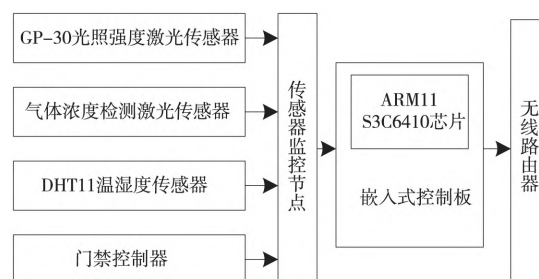


图 2 传感设备单元硬件结构图

该系统采用激光等传感器所感知的信息,利用无线网络等技术实现传输^[12],系统主要包括分布式协调以及集中式协调两种通信模式,扩展性较高。

2.2.2 微控制器

选取 STM32F103 单片机作为智能家居监控系统的核心处理器,工作频率可高达 73 MHz。该单片机具有处理速度快,集成性高的优势,可提升系统资源利用率。系统利用总线方式连接微处理器,通过 DAM 通道实现系统海量感知信息的传输与存储。STM32F103 芯片内部结构图如图 3 所示。

STM32 芯片与传感器设备层以及通信层利用 RS-232 接口以及 SPI 接口实现数据交互。

2.2.3 语音报警模块

系统的语音报警模块包含中文语音合成子模块、语音播报器、GPRS 模块。选取 SIM800A 芯片作为 GPRS 模块主要芯片,该芯片设置波特率为 116 500 bit/s,将 AT 指令传送至软串口发送报警信息。语音报警模块选取 ASCII 作为模块编码方式,可实现不同语言信息的有效发送^[13-15]。将 GBK 编码应用于语音报警文本格式设置中。系统预先设置固定阈值,传感器所接收信息监控值高于所设定阈值时,利用语音报警模块将报警信息利用文本方式传送至用户显示界面,同时利用语音播报器发送报警语音提示用户。

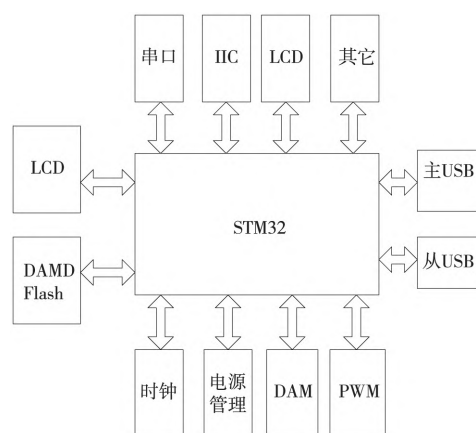


图 3 芯片内部结构图

2.3 系统软件设计

2.3.1 激光感知信息处理

利用激光传感器等传感器感知监控信息后,需预处理所感知数据。通过分类信息,学习信息样本,明

确所需采用监控手段,将监控手段推断结果传送至用户^[14]。选取组合处理方式预处理所采集信息。

智能家居具有较高的智能化,可依据时间参数处理信息,选取线性归一化函数处理信息。

用 $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ 表示所感知智能监控信息集,用 B 表示待监控智能家居信息元素,筛选出信息公式如下:

$$\sigma = \frac{c_1, c_2, \dots, c_n}{\otimes B} \quad (1)$$

利用公式(1)筛选信息,为了令用户接收有用的家居监控信息,需分析用户监控习惯,分析公式如下:

$$C_{\text{norm}} = \frac{C - C_{\min}}{C_{\max} - C_{\min}} \quad (2)$$

公式(2)中, C_{norm} 与 C 分别表示归一化信息数据以及接收信息; $C_{\max}$ 与 $C_{\min}$ 分别表示接收信息最大值以及接收信息最小值。

利用公式(2)分析完成归一化处理后信息样本误差,提升智能家居监控系统的监控安全性^[17]。当信息具有较高模糊性,无法有效处理时,选取神经运算方法估算监控信息,估算处理公式如下:

$$g = \sqrt{e+d} + \eta \quad (3)$$

公式(3)中, η 与 e 分别表示隐层神经元数量以及输入层神经元数量, d 表示输出层神经元数量。通过以上过程预判智能家居监控过程中的模糊信息,并将完成预判的信息输入公式(1)中,完成智能家居监控信息的有效分类,预判分类后信息。分类后信息为安全监控信息时,将智能家居监控信息推送至用户显示界面。

2.3.2 谐波检测技术

气体浓度检测激光传感器利用谐波检测技术检测气体浓度。谐波检测技术通常情况下需与波长调制技术结合,调制激光波长作为基础才可实现谐波有效检测^[18]。利用调制激光传感器驱动电流实现激光波长调制,将强度调制技术应用于谐波调制技术中。

将合适幅度以及频率的正弦信号加入激光器驱动电流信号中,可得激光传感器光强公式如下:

$$I(v) = I_0(v) \times (1 + \eta \sin \omega_t) \times \exp(-\alpha(v) CL) \quad (4)$$

公式(4)中, α 与 η 分别表示吸收系数以及电流调制幅度; $I(v)$ 与 $I_0(v)$ 分别表示探测光光强以及透射光强; C 与 L 分别表示待检测气体体积浓度以及待测气体被光所通过时的光程; v 与 ω_t 分别表示光频以及正弦信号。

激光传感器近红外区所吸收甲烷气体较少,因此,在浓度越低时 $\alpha(v) CL$ 越满足 $= 1$ 条件。智能家居监控过程中设置 $\alpha(v) CL \leq 0.1$,级数展开公式(4)的指数,可得表达式如下:

$$I(v) = I_0(v) \times (1 + \eta \sin \omega_t) \times (1 - \alpha(v) CL) \quad (5)$$

可得激光波长调制后表达式如下:

$$v = v + \Delta \sin \omega_t \quad (6)$$

设置气体吸收线中心处为激光波长所在位置,可得 $v = v_0$ 。设存在 $x = \Delta v / \gamma$,可将甲烷气体吸收系数转化如下:

$$\alpha(v) = \frac{\alpha_0}{1 + x^2 \sin \omega_t} \quad (7)$$

傅里叶级数展开处理公式(7),可得表达式如下:

$$\alpha(v) = \alpha_0 [k_0 - k_2 \sin(2\omega_t) + k_4 \sin(4\omega_t) - \dots] \quad (8)$$

$$k_0 = \frac{1}{1 + x^2} \quad (9)$$

$$k_2 = \frac{2 [x^2 - 2(1 + x^2)^{1/2}]}{x^2 (1 + x^2)^{1/2}} \quad (10)$$

以上过程可知,激光传感器传送信息时,仅包含直流含量,同时还存在偶次谐波。不同次数谐波中,二次谐波信号属于较强谐波。将一次谐波系数表达式转化如下:

$$I_f = I_0(v) (1 - \alpha_0 K_0 CL)^2 + \left(\frac{\alpha_0 K_2 CL}{2} \right)^2 = I_0(v) \eta \quad (11)$$

通过强度调制造成一次谐波情况,可得二次谐波系数表达式如下:

$$I_{2f} = I_0(v) \alpha_0 K_2 CL \quad (12)$$

对比以上公式,可得:

$$I_{2f}/I_f = (\alpha_0 CL / \eta) k_2 \quad (13)$$

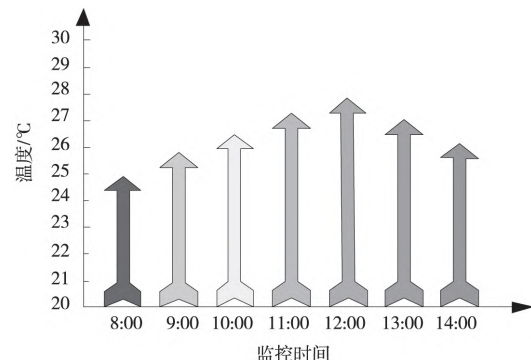
通过公式(13)可以看出,气体浓度与一、二次谐波幅值之比呈正态分布,利用以上过程可获取待监控气体浓度。

分析以上过程,将激光传感器波长固定在较强吸收峰的气体中,利用正弦调制获取与气体浓度相应的二次谐波信号^[19]。激光传感器应用于智能家居监控中时,需设置光源为窄带光源,激光线宽相对于气体吸收线宽可忽略。

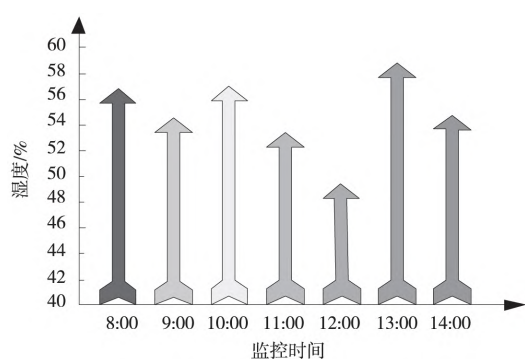
3 系统测试

通过对智能家居监控系统的实验,验证了所设计的激光感知信息监控系统的有效性。利用 C 语言搭建本系统,并选取某实验室作为监控场景,利用本系统中所设置的激光传感器、温湿度传感器等传感器感知智能家居以及环境信息。

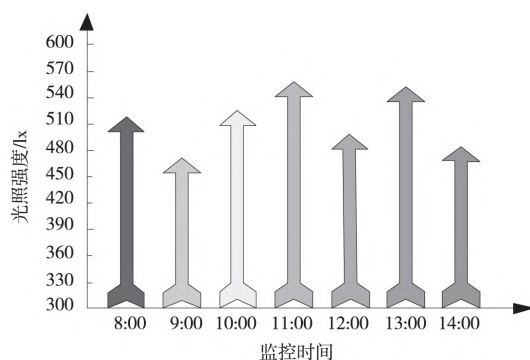
采用本系统监控智能家居温度、湿度、光照强度结果如图4所示。



(a) 温度监控结果



(b) 湿度监控结果



(c) 光照强度监控结果

图4 智能家居监控结果

根据图4实验结果可以看出,采用本系统可实现智能家居的有效监控。监测到12:00时温度最高,13:00时湿度大于58%,11:00时其光照强度大于540 lx,说明本系统可实现不同监控时间段温度、湿度以及光照强度监控,可直观地显示监控结果,利用计算机、移动终端以及平板就可实现不同监控指标变化结果。实验结果表明,本系统具有较高的监控性能。

实验设置不同气体标定浓度,本系统利用激光传感器采集家居环境中所包含的甲烷气体浓度进行测试,系统测试结果如表1所示。

表1 甲烷气体浓度测试结果

标定浓度/%	二次谐波幅值/mV	一次谐波幅值/mV	一、二次谐波比	计算浓度/%	检测误差/%
0.000 0	192.546	3 752.64	0.000 000	0.000 8	0.000 8
0.125 6	456.835	3 735.52	0.015 645	0.126 5	0.004 5
0.354 6	715.644	3 684.52	0.035 264	0.384 5	0.005 3
0.568 4	965.54	3 576.52	0.051 324	0.657 4	0.006 7
0.678 4	1 123.52	3 495.25	0.067 852	0.826 4	0.004 8
0.856 4	1 342.64	3 394.52	0.075 641	0.935 4	0.003 5
0.951 3	1 485.64	3 375.25	0.086 524	1.095 4	0.006 4
1.125 6	1 605.21	3 284.64	0.098 465	1.365 2	0.003 8
1.235 4	1 846.52	3 258.64	0.108 564	1.475 2	0.004 2
1.564 8	1 952.64	3 184.52	0.126 485	1.548 5	0.003 6
1.758 4	2 145.85	3 158.64	0.135 484	1.865 1	0.002 9

根据表1实验结果可以看出,采用本系统家居环境中的甲烷气体浓度进行测试,当标定浓度为0时,

系统未检测到甲烷气体的二次谐波为非零状态。由于激光传感器波长调制以及电路和光路中所存在的非线性因素造成系统存在二次谐波状态。当标定浓度为1.758 4%时,采用谐波检测技术可有效采集家居环境中的气体信息,计算出的甲烷浓度为1.865 1%,所采集的甲烷气体浓度与实际甲烷气体浓度极为接近,可提升系统对甲烷气体感知浓度,提升智能家居应用安全性。

从智能家居监控视频中随机截取10幅监控图像,统计采用本系统监控智能家居所采集目标图像数据的效果,统计结果如表2所示。

表2 监控图像效果

图像序号	整帧图像大小/kbit	检测图像大小/kbit	峰值信噪比/dB
1	47.8	5.64	30.52
2	47.5	5.85	31.52
3	46.9	5.46	32.46
4	48.5	5.37	33.25
5	48.3	5.64	31.52
6	48.2	5.85	30.25
7	48.6	5.94	34.25
8	48.4	5.73	31.25
9	47.8	5.16	32.64
10	47.9	5.35	33.85

根据表2实验结果可以看出,采用了对智能家居过程进行系统监控,仅需检测大小约为6 kbit的数据即可实现智能家居有效监控。与原始图像大小相比,本系统的待检测目标图像极小,仅需极少流量即可实现监控图像数据传输,验证了本系统对智能家居系统所需的流量很低。采用本系统监控智能家居监控图像中的峰值信噪比均高于30 dB,说明本系统对监控图像的采集质量较高。通过对监控结果的分析,进一步验证了本系统的监控效果,从而提高了家居监控的性能。

采用本系统监控不同时间门禁情况如表3所示。

表3 门禁监控结果

监控时间	识别率/%	误报率/%	人机交互性能
10:00	98.25	0.84	是
11:00	99.65	0.95	是
12:00	99.24	0.85	是
13:00	99.45	0.75	是
14:00	99.48	0.68	是
15:00	97.45	0.46	是
16:00	96.05	0.84	是
17:00	97.95	0.64	是
18:00	98.54	0.85	是
19:00	95.17	1.85	是
20:00	98.34	0.71	是

根据表 3 实验结果可以看出,采用该设计系统在不同时间段的门禁效果均较高。监控时间为 19:00 时,识别率为 95.17%,误报率则为 1.85%,与其他时间段相比,门禁监控效果较差,主要原因是此时间段的光照强度低,所采集的监控结果清晰度较低,因此,门禁的正确识别率较低。本系统可将门禁进行智能家居监控的人机交互。

测试所设计系统监控智能家居时的信息传输以及监控性能。为了直观地测试本系统的监控性能,将本系统与文献 [6] 系统以及文献 [7] 系统进行了对比,测试结果如表 4 所示。

表 4 传输性能测试结果

	本文系统	文献 [6] 系统	文献 [7] 系统
频谱资源	2 100 MHz	1 800 MHz	900 MHz
带宽	500 kHz	300 kHz	250 kHz
传输速率	大于 270 kb/s	130 kb/s~160 kb/s	170 kb/s~200 kb/s
链路预算	170 dB	130 dB	140 dB
安全性	高	高	中
拓展性	高	中	高
通信盲区	无	有	有
抗干扰性	高	中	高
实时性	高	中	中

根据表 4 实验结果可以看出,本系统用于智能家居的监控,文献 [6] 和文献 [7] 系统的传输速率分别为 130 kb/s~200 kb/s 之间,而本系统的传输速率均大于 270 kb/s。采用本系统监控智能家居具有较高的抗干扰性和安全性,可用于具有较高需求的智能家居监控中。利用本系统可实现不同监控功能的有效应用,具有成本低、拓展性高、运行稳定等优势,验证了本系统具有较高的总体监控性能。

4 结论

设计了一种基于激光感知信息设计智能家居监控系统,该系统利用激光传感器等多个传感器单元采集智能家居信息,利用无线通信技术实现了系统不同模块间的通信。不同监控信息在智能家居中的传输以及处理可利用该系统高速实现。通过实验验证,所设计的智能家居监控系统运行稳定,采用本设计的监控智能家居监控图像的峰值信噪比达到 30 dB 以上,具有超过 270 kb/s 的传输速率,仅需检测约 6 kbit 的数据量就能有效地监控家居系统。该系统能对智能家居设备及使用环境进行有效的监控,提高了智能家居运行的可靠性和安全性。

参考文献

- [1] 江渝川. 基于远程物联网的智能家居图形控制系统的设计和实现 [J]. 电视技术, 2018, 42(10): 147-150.

- [2] 鲍毅, 戴波, 汪志华, 等. 基于灰狼算法的多目标智能家居负荷控制算法 [J]. 系统仿真学报, 2019, 31(06): 1216-1222.
- [3] 卢杨益, 卢春燕, 艾娇娇, 等. 基于边缘计算构建智能家居控制系统 [J]. 建筑技术, 2020, 51(05): 636-639.
- [4] 陈星, 黄志明, 叶心舒, 等. 智能家居情境感知服务的运行时建模与执行方法 [J]. 软件学报, 2019, 30(11): 3297-3312.
- [5] 虞文鹏, 罗招贤, 余顺琴, 等. 基于 ZigBee 无线网络的电源监控系统设计 [J]. 电源技术, 2018, 02(329): 126-128.
- [6] 高丽英. 融合网联车辆的智能家居协同监控系统 [J]. 电子技术应用, 2018, 44(01): 60-64.
- [7] 王宗, 陈德为, 蓝承燕, 等. 基于树莓派智能家居远程监控系统的设计与研究 [J]. 电视技术, 2020, 44(07): 76-80.
- [8] 丁飞, 吴飞, 艾成万, 等. 基于 OneNET 平台的环境监测系统设计与实现 [J]. 南京邮电大学学报: 自然科学版, 2018, 38(04): 24-29.
- [9] 张艳国, 李擎. 基于惯性测量单元的激光雷达点云融合方法 [J]. 系统仿真学报, 2018, 30(11): 311-316.
- [10] 牟海维, 王妙妙, 韩建, 等. 立体视觉感知中的深度敏感信息提取综述 [J]. 激光与光电子学进展, 2020, 57(12): 38-46.
- [11] 刘明明, 裴东, 刘举, 等. 基于时间正则化及背景感知的滤波器跟踪 [J]. 激光与光电子学进展, 2019, 56(23): 230-239.
- [12] 王书宇, 陶声祥, 杨钊, 等. 基于卷积神经网络的激光距离选通式成像目标识别 [J]. 激光与光电子学进展, 2019, 56(02): 40-46.
- [13] 蔡军, 赵原, 李宇豪, 等. 一种三维激光扫描系统的设计及参数标定 [J]. 北京航空航天大学学报, 2018, 44(10): 2208-2216.
- [14] 蔡云飞, 石庭敏, 唐振民. 基于双多线激光雷达的非结构化环境负障碍感知技术 [J]. 自动化学报, 2018, 44(03): 569-576.
- [15] Wang H C, Chang F Y, Tsai T M, et al. Design, fabrication, and feasibility analysis of a colorimetric detection system with a smartphone for self-monitoring blood glucose [J]. Journal of Biomedical Optics, 2019, 24(2): 027002.1-027002.7.
- [16] 邓健, 王立华. 基于 MicroPython 和 CC3200 的智能家居数据采集与控制系统设计 [J]. 电子器件, 2020, 43(01): 141-145.
- [17] 王磊, 何勇, 张宇, 等. 基于便携式语音的智能家居系统的设计与实现 [J]. 计算机工程与设计, 2018, 39(05): 98-103.
- [18] 孟岩, 李少锋, 张亦弛, 等. 面向智能家居平台的信息物理融合系统安全 [J]. 计算机研究与发展, 2019, 56(11): 2349-2364.
- [19] 芮海燕, 高长春, 汤兵勇. 基于大系统大数据的智能家居系统协调控制模型 [J]. 黑龙江大学自然科学学报, 2019, 36(01): 103-112.

基于游标效应的 FBG 阵列灵敏度增强研究

王 菊, 赵 燕, 刘继超

(燕京理工学院, 河北 廊坊 065201)

摘 要: 为了提高光纤布拉格光栅(Fiber Bragg grating, FBG)的温度和应变灵敏度,我们提出了一种基于游标效应的 FBG 阵列光纤传感器。该传感器由 Lyot 干涉仪(Lyot interferometer, LI)和 FBG 阵列级联而成,LI 作为游标效应的参考干涉仪,具有相同反射率和波长间隔的 FBG 阵列作为游标效应的传感部分。游标效应是由 LI 的 FSR(Free spectral range, FSR)和 FBG 阵列的等波长间隔之间的微小差异引起的。LI 由两个起偏器和一段熊猫型保偏光纤(Polarization-maintaining fiber, PMF)组成。我们通过仿真证明了 LI 和 FBG 阵列之间产生了游标效应。通过实验研究了不同保偏光纤长度情况下传感器的温度和应变响应,在 LI 的 FSR 为 1.76 nm 的情况下,该传感器的温度灵敏度为 $-241.60 \text{ pm}/^\circ\text{C}$,应变灵敏度为 $-13.42 \text{ pm}/^\circ\text{C}$ 。该混合级联结构最突出的优点是通过改变 LI 的 FSR 或是 FBG 阵列的波长间隔就可以轻易改变 FBG 传感器的温度灵敏度和应变灵敏度,具有较强的灵活性。该传感器为提高 FBG 传感能力提供了一个新思路。

关键词: 光纤光学; 光纤传感器; 光纤布拉格光栅; 游标效应

中图分类号: TN247 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-5078.2020.12.009

Research on sensitivity enhancement of FBGs array based on vernier-effect

WANG Ju, ZHAO Yan, LIU Ji-chao

(Yanching Institute of Technology, Langfang 065201, China)

Abstract: In order to improve the temperature and strain sensitivity of fiber Bragg grating (FBG), we propose a FBGs array fiber sensor based on Vernier-effect. The proposed sensor is composed of Lyot interferometer (LI) and FBGs array. LI is the reference interferometer of Vernier-effect, and FBGs array with the same reflectivity and wavelength interval is the sensing part of Vernier-effect. The Vernier-effect is caused by the small difference between the equal wavelength interval of the FBGs array and the FSR of the LI. LI consists of two polarizers and a section of panda polarization maintaining fiber (PMF). The simulation results show that there is a Vernier-effect between LI and FBGs array. The temperature and strain response of the sensor with different FSR of the LI were studied. When the FSR of LI is 1.76 nm, the temperature sensitivity and strain sensitivity of the proposed sensor are $-241.60 \text{ pm}/^\circ\text{C}$ and $-13.42 \text{ pm}/^\circ\text{C}$ respectively. The most outstanding advantage of the hybrid cascade structure is that it can easily change the temperature sensitivity and strain sensitivity of the proposed FBG sensor by changing the FSR of the LI or the wavelength interval of the FBGs array. This sensor provides a new way to improve the sensing ability of FBG.

Keywords: fiber optics; fiber sensor; fiber Bragg grating; vernier-effect

基金项目: 河北省青年科技基金项目(No. QN2019328)资助。

作者简介: 王 菊(1985-),女,硕士,讲师,主要从事传感信号解调方面,压缩传感方面的研究。E-mail: jubin-2006@163.com

通讯作者: 刘继超(1982-),男,硕士,副教授,研究方向为自动控制系统,光纤传感。E-mail: 495135251@qq.com

收稿日期: 2020-02-13

1 引言

应变和温度传感器是一类非常重要的物理量传感器,在大型建筑物健康结构安全监测、机器人、化学化工、食品安全、环境监测等领域具有非常广泛的应用^[1-3]。光纤传感器以其结构简单、体积小、抗腐蚀、易远程监控、不受电磁辐射干扰等优点引起了科研人员的广泛关注^[3-4]。因为及时监测温度和应变参数可以从侧面反映系统存在的安全隐患或是缺陷,以便及时采取补救措施,所以我们亟需一种有效监测光纤传感工具来实时监测温度和应变的变化。

FBG 作为技术成熟、商用化最广泛的光纤传感器之一,大量应用在大坝、道路、桥梁等大型建筑的应变和温度检测中^[5]。FBG 具有制备工艺成熟,成品率高、成本低、易于集成、能工作于严苛环境下等众多优点,成为近年来研究的热点。FBG 的温度灵敏度只有大约 $10 \text{ pm}/^\circ\text{C}$,应变灵敏度只有大约 $1.1 \text{ pm}/\text{me}$ ^[6]。因此,FBG 的温度和应变灵敏度需要改善。游标效应是提升光纤传感器灵敏度的一种有效的方法^[7-8],现在已经被广泛应用在光纤传感系统中^[9-10]。游标效应用于放大叠加的传感光谱和参考光谱产生的共振峰的漂移,通过提取叠加光谱包络中心波长的变化解调出传感量的变化。目前,在法布里-珀罗干涉仪^[11-12]、马赫-增德尔干涉仪^[13]、萨格纳克干涉仪^[14]、环形谐振器^[5]等级联结构上已经成功地实现了游标效应。

等波长间隔的 FBG 阵列在一定波长范围内可以看作是周期性梳状光谱,通过级联一个与 FBG 阵列的波长周期有轻微差异的干涉仪,就产生光谱叠加实现对原有 FBG 温度和应变灵敏度的放大作用。基于上述思路我们提出了基于游标效应的 FBG 温度、应变灵敏度增强方法。

在本文中,我们提出了一种 FBG 阵列增敏方法,利用定标的 LI 透射光谱和 FBG 阵列的反射光谱叠加产生游标效应实现了 FBG 传感器温度和应变灵敏度的大范围提升。理论计算和实验均表明可以通过控制 LI 的 FSR 来调控 FBG 阵列传感器的温度和应变灵敏度。采用同时监测叠加光谱高频分量和包络光谱的方法解决了 FBG 阵列的温度和应变交叉敏感问题。在 LI FSR 为 1.76 nm 的情况下,本

文提出的高灵敏度温度和应变传感器在温度和应变灵敏度方面与传统 FBG 传感器相比有较大提升。温度和应变分辨率分别为 $\pm 0.0816^\circ\text{C}$ 和 $\pm 0.0211 \text{ me}$ 。

2 基本原理及仿真

本文提出的基于 LI 和 FBG 阵列级联的高灵敏度温度、应变传感器结构示意图如图 1 所示。宽带自发辐射光源 (Amplified spontaneous emission, ASE) 发出的光经过 LI。LI 由两个起偏器和一段 PMF 组成,两个起偏器 PMF 的快轴和中间熔接的那段 PMF 快轴之间呈 45° ,ASE 光源发出的低偏光经过第一个起偏器后变成线偏振光,在第一个 PMF 45° 熔接处,一部分线偏振光在快轴传输,一部分线偏振光在慢轴传输,在第二个 PMF 45° 熔接处汇合。由于在 PMF 快慢轴传输的线偏振光存在光程差导致两束光之间存在相位差。两束光在第二个 PMF 45° 熔接处发生干涉后经过第二个起偏器重新变为线偏振光,然后通过环形器进入 FBG 阵列。FBG 阵列是由多个反射率相似,波长间隔相等的 FBG 组成。为了减小传感器尺寸,每个 FBG 的栅区长度为 1 cm ,且各个 FBG 紧挨在一起。FBG 阵列的反射光谱通过环形器后进入光谱分析仪 (Optical spectrum analyzer, OSA)。LI 透射光谱作为游标效应的“主尺”,FBG 阵列的反射光谱作为游标效应的“游标尺”,通过控制 LI 的 FSR,使之与 FBG 阵列的类周期性反射光谱在细微差别,即可实现对传感信号的放大增强。

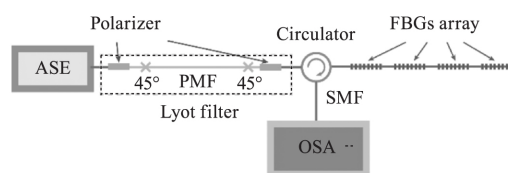


图 1 LI 与 FBG 阵列级联传感器示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the proposed sensor cascaded with Lyot interferometer and FBGs array

LI 的透射光谱可以表示为:

$$T_{\text{Lyot}} = \sin^2 \alpha \sin^2 \beta + \cos^2 \alpha \cos^2 \beta + \frac{1}{2} \sin 2\alpha \sin 2\beta \cos \Delta \phi \quad (1)$$

其中, α 和 β 分别是两个起偏器的 PMF 快轴与中间那段 PMF 快轴之间的角度, $\Delta \phi$ 是相对相位差。 $\Delta \phi$

可以表示为:

$$\Delta\phi = \frac{2\pi L_{\text{PMF}} B}{\lambda} \quad (2)$$

其中, L_{PMF} 是两个光纤熔接点之间的距离; B 是 PMF 的双折射系数; λ 是入射波长。LI 的 FSR 可以表示为:

$$\text{FSR}_{\text{Lyot}} = \frac{\lambda^2}{BL} \quad (3)$$

LI 的 FSR_{Lyot} 由 B 和 L_{PMF} 决定。使用的 PMF 有确定的 B 值, 所以通过改变 PMF 长度可以调节 LI FSR。

ASE 光源通过 LI 后会形成周期性干涉光谱, 保证 LI 不受外界扰动影响就可以将 LI 产生的干涉谱作为参考光谱, 即“主尺”。传输光通过 FBG 阵列后, 在参考光谱的基础上会叠加 FBG 阵列的反射光谱, FBG 阵列由多个等反射率等波长间隔的 FBG 组成, FBG 阵列反射光谱可以看做是在特定波长范围内的类周期光谱, 其 FSR 可以看作是 FBG 阵列的波长间隔。通过 FBG 阵列感受外界扰动, 就可以将 FBG 阵列反射光谱作为传感光谱, 即“游标尺”。

当 LI 光谱的第 i 级共振波峰的波长与 FBG 阵列第 j 个反射峰中心波长重合时, 就会在重合波长位置形成一个叠加光谱上包络波峰极大值和下包络波谷极小。当 LI 光谱的共振波谷与 FBG 反射谱的反射峰中心波长重合时就会产生一个叠加光谱上包络波谷极小值和下包络波峰极大值。由于 LI 光谱的 FSR 和 FBG 阵列的波长间隔存在轻微差别, 所以下一个叠加光谱包络极大值和极小值又会重复出现。最终在叠加光谱中产生周期性的光谱, 通过对周期性叠加光谱提取包络, 即可解调出外界的扰动。

在特定波长范围内, 包络光谱的 FSR 可以表示为:

$$\text{FSR}_{\text{env}} = \frac{\text{FSR}_{\text{Lyot}} \cdot D_{\text{FBGs}}}{|\text{FSR}_{\text{Lyot}} - D_{\text{FBGs}}|} \quad (4)$$

其中, FSR_{env} 是包络光谱的 FSR; D_{FBGs} 是 FBG 阵列的波长间隔。当对 FBG 阵列的各个 FBG 施加同样的温度或是应变的情况下, FBG 阵列反射光谱将会发生反射波长漂移, 但是 FBG 阵列的反射光谱波长间隔保持不变, 相当于“游标尺”发生变化, 而 LI 因为未受外界扰动, 其光谱不发生变化, 即“主尺”保持

不变。因此包络光谱的漂移相当于被放大, 包络光谱的放大倍数 M 可以表示为:

$$M = \frac{D_{\text{FBGs}}}{|\text{FSR}_{\text{Lyot}} - D_{\text{FBGs}}|} \quad (5)$$

从上式可以看出改变 LI 中 PMF 长度就可以改变 LI 的 FSR_{Lyot} , 进而改变包络光谱放大倍数。

LI 的透射光谱、FBG 阵列的反射光谱和叠加光谱的仿真结果如图 2 所示。LI 的 FSR 设置为 1.6 nm。LI 透射光谱如图 2(a) 所示。FBG 阵列的起始波长为 1532 nm, 截止波长为 1566 nm, FBG 数量为 18 个, 波长间隔为 2 nm。FBG 阵列的反射光谱如图 2(b) 所示。LI 的透射谱和 FBG 阵列反射谱相叠加, 叠加光谱如图 2(c) 所示。对叠加光谱提取包络, 从图 2(c) 中可以看出, 上下包络均呈类周期结构。

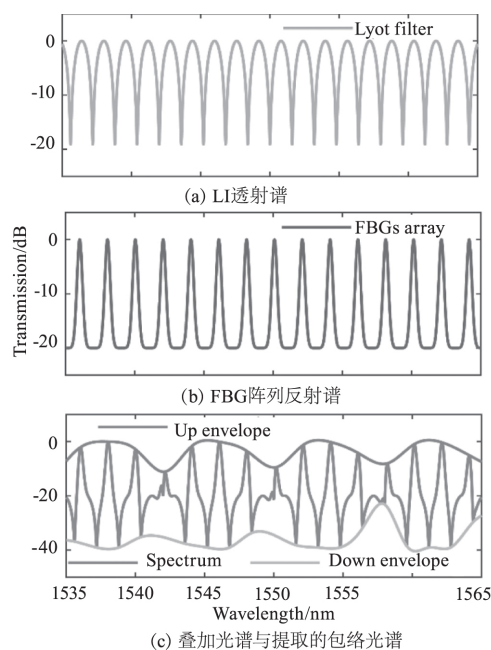


图 2 光谱的仿真结果

Fig. 2 Simulation results of the sensor spectrum

LI 的透射光谱、FBG 阵列的反射光谱和叠加光谱的实验结果如图 3 所示。LI 的 FSR 大约为 1.6 nm 左右。两个起偏器 PMF 快轴和中间那段 PMF 快轴的夹角均为 45° 。使用 248 nm 的 KrF 准分子激光器在 SMF 上制备 FBG 阵列, FBG 阵列的起始波长为 1533.4 nm, 截止波长为 1567.2 nm, FBG 数量为 18, 波长间隔为 2 nm 左右。FBG 阵列的反射光谱如图 3(b) 所示。LI 的透射谱和 FBG 阵列反射谱相叠加, 叠加光谱如图 2(c) 所示。对叠加

光谱提取包络,从图 3(c) 中可以看出,上包络呈类周期结构,下包络较为杂散,这是因为 FBG 阵列反射光谱的底噪对叠加光谱产生影响。

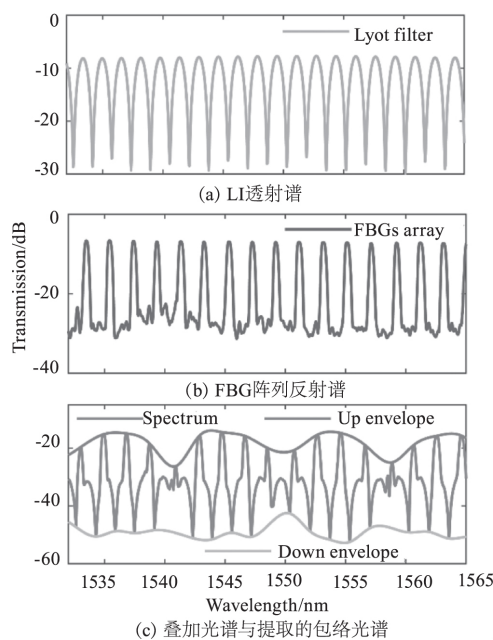


Fig. 3 Experimental results of the sensor spectrum

3 实验结果与分析

对本文提出的灵敏度增强型光纤 FBG 传感器进行温度和应变实验的实验装置如图 4 所示。

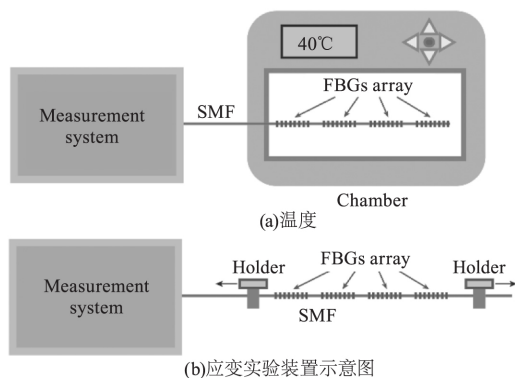


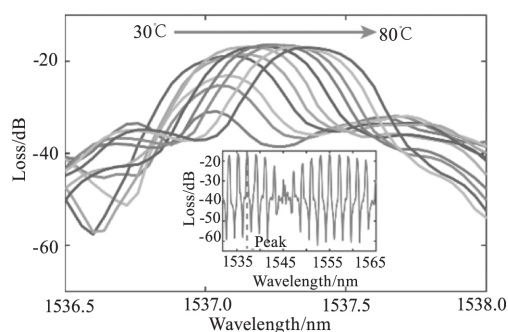
图 4 传感器实验装置示意图

Fig. 4 Schematic diagram of the proposed fiber-optic sensor test system

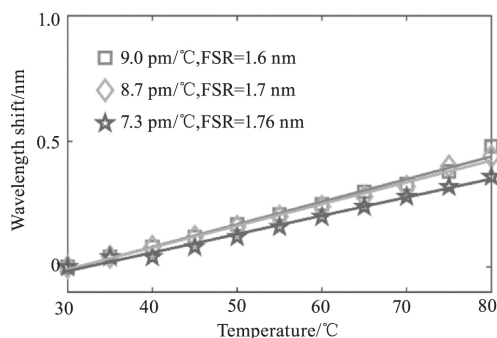
两个起偏器的输出 PMF 分别与一段 PMF 的头尾相接,两个起偏器输出 PMF 的快轴与这段 PMF 快轴的夹角为 45° 焊接,两个光纤熔接点之间的这段 PMF 的长度即为公式(3)中 PMF 的长度。首先将 FBG 阵列放入温箱进行温度实验,测量温度范围为 30°C 到 80°C ,温度的步长为 5°C 。然后将 FBG 阵列夹持在两个光纤夹具之间,两个光纤夹具的距

离是 1 m ,每次位移 $10\text{ }\mu\text{m}$,则施加在 FBG 阵列上的应变值为 $100\text{ }\mu\text{e}$ 。

我们首先测量了叠加光谱高频分量的温度响应。当 LI 的 FSR 为 1.76 nm 的时候,其中一个叠加光谱的高频分量光谱随温度变化如图 5(a) 所示。叠加光谱如 5(a) 插图所示。不同 LI FSR 情况下,叠加光谱高频分量共振峰中心波长随温度的变化如图 5(b) 所示。在 LI 的 FSR 分别为 1.60 nm 、 1.70 nm 、 1.76 nm 的情况下,叠加光谱中高频分量谐振峰的温度灵敏度分别为 $9.0\text{ pm}/^\circ\text{C}$ 、 $8.7\text{ pm}/^\circ\text{C}$ 、 $7.3\text{ pm}/^\circ\text{C}$ 。



(a)叠加光谱高频分量共振峰随温度变化



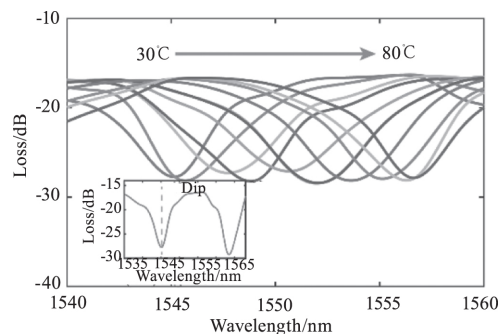
(b)不同LI FSR情况下共振峰中心波长与温度关系

图 5 温度变化过程中叠加光谱高频分量和共振峰中心波长的变化

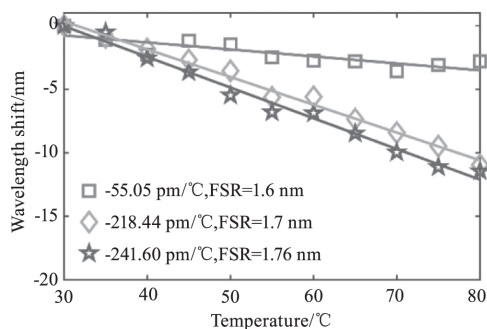
Fig. 5 Variation of high frequency component and central wavelength of resonance peak in the process of temperature change

我们对叠加光谱提取了上包络,当 LI 的 FSR 为 1.76 nm 的时候,上包络光谱的一个波谷随温度变化如图 6(a) 所示。上包络光谱和选取的波谷如图 6(a) 插图所示。不同 LI FSR 情况下,包络波谷中心波长随温度的变化如图 6(b) 所示。在 LI 的 FSR 分别为 1.60 nm 、 1.70 nm 、 1.76 nm 的情况下,波谷的温度灵敏度分别为 $-55.05\text{ pm}/^\circ\text{C}$ 、 $-218.44\text{ pm}/^\circ\text{C}$ 、 $-241.60\text{ pm}/^\circ\text{C}$ 。根据公式(3),温度灵敏度放大倍

数的理论计算值/实验值分别为 5.0/5.5, 6.7/21.8, 8.3/24.2。温度灵敏度放大倍数的理论和实验值相对较为吻合。理论和实验值有些差异的主要原因是 LI 的透射光谱可能发生波动或是叠加光谱包络的提取算法可能需要继续改进。



(a) 上包络光谱的波谷随温度变化



(b) 不同 LI FSR 情况下波谷中心波长与温度关系

图 6 温度变化过程中叠加光谱包络和共振峰中心波长的变化

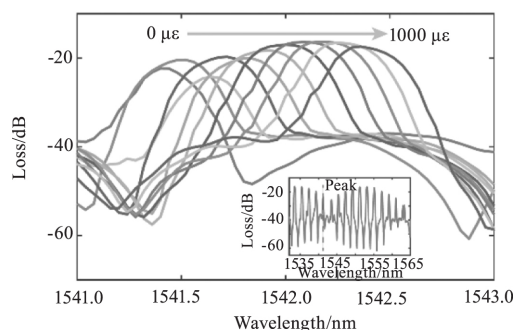
Fig. 6 The change of the superposition spectrum envelope and the center wavelength of the resonance peak in the process of temperature change

之后测量了叠加光谱高频分量的应变响应。当 LI 的 FSR 为 1.76 nm 的时候,其中一个高频分量共振峰光谱随应变变化如图 7(a) 所示。叠加光谱如图 7(a) 插图所示。我们选择其中一个共振峰监测其中心波长。不同 LI FSR 情况下,共振峰中心波长随应变的变化如图 7(b) 所示。在 LI 的 FSR 分别为 1.60 nm、1.70 nm、1.76 nm 的情况下,叠加峰中共振峰的应变灵敏度分别为 0.80 pm/ $\mu\epsilon$ 、0.77 pm/ $\mu\epsilon$ 、0.91 pm/ $\mu\epsilon$ 。

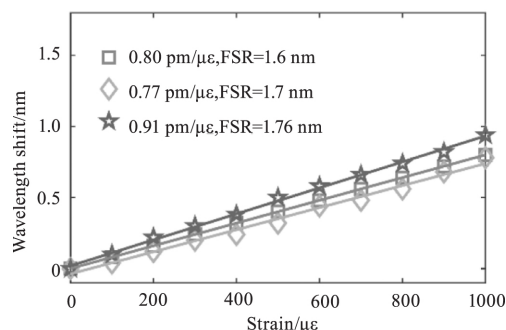
对叠加光谱提取了上包络,当 LI 的为 1.76 nm 的时候,上包络光谱的一个波谷随应变变化如图 8(a) 所示。上包络光谱和选取的波谷如图 8(a) 插图所示。不同 LI FSR 情况下,波谷中心波长随应变的变化如图 8(b) 所示。在 LI 的 FSR 分别为 1.60 nm、

1.70 nm、1.76 nm 的情况下,波谷的应变灵敏度分别为 -6.88 pm/ $\mu\epsilon$ 、-11.70 pm/ $\mu\epsilon$ 、-13.42 pm/ $\mu\epsilon$ 。根据公式(3),应变灵敏度放大倍数的理论计算值/实验值分别为 5.0/6.3, 6.7/10.6, 8.3/12.2。应变灵敏度放大倍数的理论和实验值较为吻合。

除了控制 PMF 的长度改变 LI 的 FSR,进而改变传感器的灵敏度外,还可以改变 FBG 阵列的间隔波长。相对于掩膜版法制备 FBG,飞秒激光刻写 FBG 除了能灵活控制 FBG 的反射波长还可以减小传感器的尺寸,使用飞秒激光刻写 FBG 不仅可以大大提高这种传感结构的灵活性,还能减小传感头尺寸。



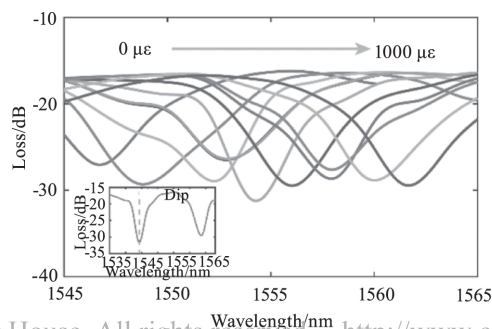
(a) 叠加光谱共振峰随应变变化



(b) 不同 LI FSR 情况下中心波长与应变关系

图 7 应变变化过程中叠加光谱高频分量和共振峰中心波长的变化

Fig. 7 Variation of high frequency component and central wavelength of resonance peak in the process of strain change



(a) 上包络光谱波谷随应变变化

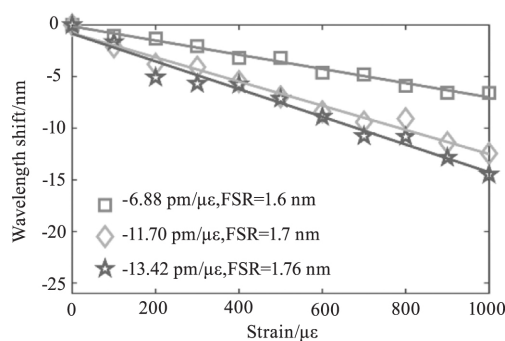


图8 应变变化过程中叠加光谱包络和共振峰中心波长的变化

Fig. 8 The change of the superposition spectrum envelope and the center wavelength of the resonance peak in the process of strain change

温度和应变的交叉敏感问题是一个亟需解决的问题,交叉敏感问题限制了FBG阵列识别不同的外部环境扰动。从上面实验可以看出,包络波谷和叠加光谱的高频分量对温度和应变呈现不同的灵敏度。基于上述本文提出的传感器的独特特性,我们采用同时监测包络光谱和叠加光谱的高频分量的中心波长,既可以同时测量温度和应变。包络光谱波谷和叠加光谱高频分量谐振峰的波长变化与温度和应变的变化可以写成矩阵形式,可以表示为:

$$\begin{Bmatrix} \Delta\lambda_{\text{env}} \\ \Delta\lambda_{\text{peak}} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} K_{\text{env},T} & K_{\text{env},\varepsilon} \\ K_{\text{peak},T} & K_{\text{peak},\varepsilon} \end{Bmatrix} \times \begin{Bmatrix} \Delta T \\ \Delta\varepsilon \end{Bmatrix} \quad (6)$$

其中, $\Delta\lambda_{\text{env}}$ 和 $\Delta\lambda_{\text{peak}}$ 是包络光谱波谷和叠加光谱高频分量的波长变化; $K_{\text{env},T}$ 和 $K_{\text{peak},T}$ 是光谱波谷和叠加光谱高频分量的温度灵敏度; $K_{\text{env},\varepsilon}$ 和 $K_{\text{peak},\varepsilon}$ 是光谱波谷和叠加光谱高频分量的应变灵敏度; ΔT 和 $\Delta\varepsilon$ 分别是温度和应变变化。温度和应变分辨率可以表示为:

$$\begin{Bmatrix} \xi(\Delta T) \\ \xi(\Delta\varepsilon) \end{Bmatrix} = \frac{1}{\begin{vmatrix} K_{\text{env},T} & K_{\text{env},\varepsilon} \\ K_{\text{peak},T} & K_{\text{peak},\varepsilon} \end{vmatrix}} \begin{Bmatrix} |K_{\text{peak},\varepsilon}| - |K_{\text{env},\varepsilon}| \\ |K_{\text{peak},T}| - |K_{\text{env},T}| \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \xi(\Delta\lambda_{\text{env}}) \\ \xi(\Delta\lambda_{\text{peak}}) \end{Bmatrix} \quad (7)$$

其中, $\xi(\Delta T)$ 和 $\xi(\Delta\varepsilon)$ 是包络光谱波谷和叠加光谱高频分量的波长分辨率。将当LI的FSR为1.76 nm时包络光谱波谷和叠加光谱高频分量的温度、应变灵敏度代入上式。我们使用的光谱仪

为日本横河公司生产的AQ8603C,波长最小分辨率为0.02 nm,所以本文提出的高灵敏度温度、应变传感器的温度和应变分辨率为 $\pm 0.0816^\circ\text{C}$ 和 $\pm 0.0211 \Delta\varepsilon$ 。

4 结论

本文提出了一种基于游标效应的高灵敏度FBG传感器,该传感器是通过将LI和FBG阵列级联而成,通过合理的设置LI的FSR和FBG阵列的波长间隔,使叠加光谱产生游标效应,通过解调叠加光谱的包络进而得到传感量的变化。本文通过仿真和实验证明了该光纤传感结构的游标效应。在LI FSR为1.76 nm、FBG阵列波长间隔为2 nm的情况下,本文提出的传感器温度灵敏度为 $-241.60 \text{ pm}/^\circ\text{C}$,应变灵敏度为 $-13.42 \text{ pm}/\mu\varepsilon$ 。为了减小传感器的尺寸,可以采用飞秒激光刻写FBG阵列。为提高FBG传感器的灵敏度提供了一种新思路。

参考文献:

- [1] Kondner R L. Hyperbolic stress-strain response: cohesive soils [J]. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, 1963, 89(1): 115-44.
- [2] Chen P, Chen C-C, Tsai C-C, et al. A time-to-digital-converter-based CMOS smart temperature sensor [J]. IEEE Journal of Solid-State Circuits, 2005, 40(8): 1642-1648.
- [3] Gander M, Macpherson W, McBride R, et al. Bend measurement using Bragg gratings in multicore fibre [J]. Electronics Letters, 2000, 36(2): 120-121.
- [4] Butter C D, Hocker G. Fiber optics strain gauge [J]. Applied optics, 1978, 17(18): 2867-2869.
- [5] Liu Y, Zhou A, Xia Q, et al. Quasi-distributed directional bending sensor based on fiber Bragg gratings array in triangle-four core fiber [J]. IEEE Sensors Journal, 2019, 19(22): 10728-10735.
- [6] Hill K O, Meltz G. Fiber Bragg grating technology fundamentals and overview [J]. Journal of Lightwave Technology, 1997, 15(8): 1263-1276.
- [7] XU Z, SHU X, FU H. Sensitivity enhanced fiber sensor based on a fiber ring microwave photonic filter with the Vernier effect [J]. Optics Express, 2017, 25(18): 21559-21566.

- [8] La Notte M, Troia B, Muciaccia T, et al. Recent advances in gas and chemical detection by Vernier effect-based photonic sensors [J]. *Sensors*, 2014, 14(3): 4831–4855.
- [9] Lang C, Qu S, WEI X, et al. Strain force sensor with ultra-high sensitivity based on fiber inline Fabry-Perot micro-cavity plugged by cantilever taper [J]. *Optics Express*, 2017, 25(7): 7797–7806.
- [10] Zhang P, Tang M, Gao F, et al. Simplified hollow-core fiber-based Fabry-Perot interferometer with modified vernier effect for highly sensitive high-temperature measurement [J]. *IEEE Photonics Journal*, 2015, 7(1): 1–10.
- [11] Zhao Y, Wang P, LV R, et al. Highly sensitive airflow sensor based on Fabry-Perot interferometer and Vernier effect [J]. *Journal of Lightwave Technology*, 2016, 34(23): 5351–5356.
- [12] Zhang P, Tang M, Gao F, et al. Cascaded fiber-optic Fabry-Perot interferometers with Vernier effect for highly sensitive measurement of axial strain and magnetic Field [J]. *Optics Express*, 2014, 22(16): 19581–19588.
- [13] Liao H, Lu P, Fu X, et al. Sensitivity amplification of fiber-optic in-line Mach-Zehnder Interferometer sensors with modified vernier-effect [J]. *Optics Express*, 2017, 25(22): 26898.
- [14] Shao L Y, Luo Y, Zhang Z, et al. Sensitivity-enhanced temperature sensor with cascaded fiber optic Sagnac interferometers based on Vernier-effect [J]. *Optics Communications*, 2015, 336: 73–76.



两电平 UPQC 自抗扰无源控制策略研究

刘金昌¹, 王久和^{1,*}, 常文慧², 陈东雪¹

(1. 北京信息科技大学 自动化学院, 北京 100192;
2. 燕京理工学院 信息科学与技术学院, 河北 三河 065201)

摘要:为改善统一电能质量调节器的电网电压和负载电流的补偿能力、抗干扰能力和稳态性能,提出了统一电能质量调节器自抗扰无源控制双闭环新型控制策略,即电压环和电流环分别采用自抗扰控制和无源控制。新型控制策略处理电网电压和负载电流变化时可以使直流侧电压快速恢复和稳定;并且通过自抗扰控制器产生更为精确的期望电流,使电网侧补偿电压的跟踪能力更强。MATLAB/Simulink 实验平台仿真结果表明,与 PI 无源控制策略相比,自抗扰无源控制策略在电网电压暂升、暂降、谐波和非线性负载的情况下,可使统一电能质量调节器获得更好的负载电压和电网电流。

关键词:无源控制;统一电能质量调节器;自抗扰;双闭环控制

中图分类号: TM76 **文献标识码:** A **DOI:**10.3969/j.issn.1007-791X.2022.05.005

0 引言

随着工业的发展,具有时变特性的负载和非线性负载在电力系统中的应用越来越广泛,在其投入使用的过程中会产生大量的电流谐波,当电网电压工作在暂升、暂降、谐波等非理想状态时,会造成电能质量的下降^[1-2]。统一电能质量调节器(Unified Power Quality Conditioner, UPQC)可以兼具有源滤波器和动态电压恢复器的功能,并且可处理电压电流在内的多重电能质量问题^[3]。由于 UPQC 具有处理复杂电能质量问题且兼具经济效益等优点被广大学者关注^[4]。

文献[5]对串并联逆变器采用 PI 双闭环控制策略,电流补偿结果谐波畸变率相对较高。为提高 UPQC 系统的补偿效果,文献[6]将无源控制(Passivity-Based Control, PBC)策略用于电流环,提高系统的补偿性能。无源控制从系统的结构和能量角度出发,根据能量平衡原理,利用注入虚拟阻尼和能量分配提高系统的可控性和鲁棒性^[7]。但 PI-PBC 控制同 PI 控制类似,没有克服超调量和快

速性之间的矛盾^[8]。由于 PI 控制器跟踪交流信号能力有限,文献[9]在 PI 控制器的基础上增加并联谐振环节,改进了补偿效果,但只能有针对性地提高对特定次谐波补偿能力,且需要依据经验设计。

采用非线性控制策略也可提高 UPQC 系统的补偿精度,但是使控制器设计变得复杂。文献[10]中,UPQC 采用反馈线性化和滑模控制相结合得到的控制效果较优,但控制律较复杂,需将非线性系统解耦成线性系统。非线性系统线性化解耦时要选定合适的非线性坐标和状态反馈量^[10]。滑模控制是一种有效的非线性控制方法,并且实现简单,适用于 UPQC 控制系统,但是传统的方法容易产生“抖振”问题而降低 UPQC 的性能,一般需要对控制器进行改进来削弱“抖振”^[11]。因为 UPQC 采用常规的双滞环控制策略存在误差电流在内环不受控制的问题,所以文献[12]对双滞环控制技术进行改进,在电流内环引入了自抗扰控制(Active Disturbance Rejection Control, ADRC),提高了补偿精度。自抗扰控制可以对系统状态和

收稿日期:2021-10-12

责任编辑:温茂森

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51777012);北京市自然科学基金-市教委联合资助项目(KZ201911232045)

作者简介:刘金昌(1996-),男,辽宁朝阳人,硕士研究生,主要研究方向为电能质量控制;*通信作者:王久和(1959-),男,辽宁辽阳人,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为电能变换器非线性控制,电能质量控制,微电网等,Email:wjhyhrwm@163.com。

未知扰动进行实时估计,并通过状态误差的非线性组合获得系统的自抗扰控制律^[13]。为克服上述控制策略的不足,本文将自抗扰和无源控制策略结合起来,提出 UPQC 自抗扰无源控制 (ADRC-PBC) 策略。ADRC-PBC 既可提高系统的快速跟踪和抗扰能力,又可保证系统在电网电压故障和负载突变状态下的稳定性能。仿真实验结果证明了 ADRC-PBC 控制策略的可行性。

1 UPQC 拓扑结构及数学模型

1.1 UPQC 拓扑结构

UPQC 的拓扑结构如图 1 所示,它是由串、并

联逆变器、直流储能环节和一个用于连接电网和串联逆变器的变压器构成。其中: u_{sa} 、 u_{sb} 、 u_{sc} 是交流电网每相的相电压; $VT_{11} \sim VT_{16}$ 为串联逆变器每相桥臂的开关管; R_1 、 L_1 为串联逆变器输出电感器的内阻和电感; i_{a1} 、 i_{b1} 、 i_{c1} 为串联逆变器输出电流; u_{ca} 、 u_{cb} 、 u_{cc} 串联逆变器补偿电压即变压器一次侧电压; R_1 、 L_1 为滤波电容器; u_{1a} 、 u_{1b} 、 u_{1c} 为补偿后的负载电压; i_{1a} 、 i_{1b} 、 i_{1c} 为流经非线性负载的电流; $VT_{21} \sim VT_{26}$ 为并联逆变器每相桥臂的开关管; R_2 、 L_2 为并联逆变器输出电感器的内阻和电感。 i_{a2} 、 i_{b2} 、 i_{c2} 为并联逆变器输出的补偿电流,用于谐波电流的抑制;共用的直流储能电容 C 通过并联逆变器与电网进行能量交换,维持电压稳定。

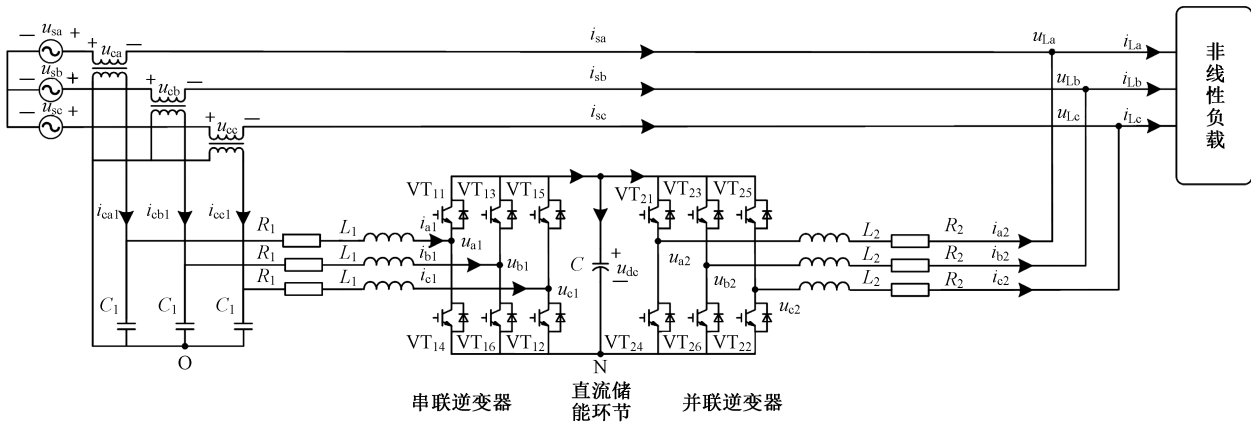


图 1 UPQC 拓扑结构

Fig. 1 UPQC topology

1.2 UPQC 数学模型

根据图 1 拓扑结构,可得 UPQC 串并联逆变器三相静止坐标系下的电路方程。

串联逆变器电路方程为

$$\begin{cases} u_{x1} + R_1 i_{x1} + L_1 \dot{i}_{x1} + u_{NO} = u_{cx} \\ C_1 \dot{u}_{cx1} = i_{cx1} - i_{x1} \end{cases}, \quad (1)$$

式中: $x=a, b, c$, 分别代表串联逆变器的三相; u_{x1} 表示串联逆变器输入点到 N 点电压; u_{cx} 为串联变压器原边侧电压; i_{x1} 为串联逆变器输出电流; u_{NO} 为节点 N 和 O 之间的电压值。

同理可得并联逆变器电路方程为

$$\begin{cases} u_{x2} - R_2 i_{x2} - L_2 \dot{i}_{x2} + u_{NO} = u_{1x} \\ C \dot{u}_{dc} = \sum_{x=a}^c S_{x1} i_{x1} - \sum_{x=a}^c S_{x2} i_{x2} \end{cases}, \quad (2)$$

式中: $x=a, b, c$ 分别代表并联逆变器的三相; u_{x2}

表示并联逆变器输入点到 N 点电压; u_{1x} 为补偿后的负载电压; i_{x2} 为并联逆变器输出的补偿电流; u_{dc} 为直流储能电容 C 两端电压; S_{x1} 、 S_{x2} 为串、并联逆变器三相桥臂的开关函数。采用同步旋转坐标矩阵将式(1)和(2)中的电压,电流和开关函数进行坐标变换,得到串并联逆变器在 $d-q$ 坐标系下的电路方程。等量同步旋转坐标矩阵 T_1 为

$$T_1 = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos \omega t & \cos \left(\omega t - \frac{\pi}{3} \right) & \cos \left(\omega t + \frac{\pi}{3} \right) \\ -\sin \omega t & -\sin \left(\omega t - \frac{\pi}{3} \right) & -\sin \left(\omega t + \frac{\pi}{3} \right) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix}. \quad (3)$$

由式(1)~(3)可得串、并联逆变器经坐标变换后的电路方程:

$$\begin{cases} L_1 \dot{i}_{d1} - \omega L_1 i_{q1} + R_1 i_{d1} + S_{d1} u_{dc} = u_{cd} \\ L_1 \dot{i}_{q1} + \omega L_1 i_{d1} + R_1 i_{q1} + S_{q1} u_{dc} = u_{cq} \\ C_1 \dot{u}_{cd} = i_{cd1} - i_{d1} + \omega C_1 u_{cq} \\ C_1 \dot{u}_{cq} = i_{cq1} - i_{q1} - \omega C_1 u_{cd} \end{cases}, \quad (4)$$

$$\begin{cases} L_2 \dot{i}_{d2} + R_2 i_{d2} - \omega L_2 i_{q2} - S_{d2} u_{dc} = -u_{ld} \\ L_2 \dot{i}_{q2} + R_2 i_{q2} - \omega L_2 i_{d2} - S_{q2} u_{dc} = -u_{lq} \\ C \dot{u}_{dc} = \frac{3}{2} (S_{d1} i_{d1} + S_{q1} i_{q1}) - \\ \frac{3}{2} (S_{d2} i_{d2} + S_{q2} i_{q2}) \end{cases}, \quad (5)$$

根据式(4)和(5),可得 UPQC 的欧拉-拉格朗日 (Euler-Lagrange, EL) 模型为

$$\dot{\mathbf{M}}\mathbf{x} + \mathbf{J}\mathbf{x} + \mathbf{R}\mathbf{x} = \mathbf{u}, \quad (6)$$

式中

$$\begin{aligned} \mathbf{M} &= \text{diag}\{L_1 \quad L_1 \quad L_2 \quad L_2 \quad 2C/3\}, \\ \mathbf{J} &= \begin{bmatrix} 0 & -\omega L_1 & 0 & 0 & S_{d1} \\ \omega L_1 & 0 & 0 & 0 & S_{q1} \\ 0 & 0 & 0 & -\omega L_2 & -S_{d2} \\ 0 & 0 & \omega L_2 & 0 & -S_{q2} \\ -S_{d1} & -S_{q1} & S_{d2} & S_{q2} & 0 \end{bmatrix}, \\ \mathbf{R} &= \text{diag}\{R_1 \quad R_1 \quad R_2 \quad R_2 \quad 0\}, \\ \mathbf{u} &= [u_{cd} \quad u_{cq} \quad u_{ld} \quad u_{lq} \quad 0]^T, \\ \mathbf{x} &= [i_{d1} \quad i_{q1} \quad i_{d2} \quad i_{q2} \quad u_{dc}]^T. \end{aligned}$$

$\mathbf{M}$ 为正定矩阵, 即 $\mathbf{M} = \mathbf{M}^T$; $\mathbf{J} = -\mathbf{J}^T$, 是一个反对称矩阵; $\mathbf{R} > 0$ 是一个表现系统耗散特性的正定矩阵; $\mathbf{u}$ 表示系统的输入。

假设能量存储函数为 $H(\mathbf{x}) = \frac{1}{2} \mathbf{x}^T \mathbf{M} \mathbf{x}$, 能量存储函数对时间的导数为

$$\dot{H}(\mathbf{x}) = \mathbf{x}^T \dot{\mathbf{M}} \mathbf{x} = \mathbf{x}^T (\mathbf{u} - \mathbf{R} \mathbf{x} - \mathbf{J} \mathbf{x}) = \mathbf{x}^T \mathbf{u} - \mathbf{x}^T \mathbf{R} \mathbf{x}, \quad (7)$$

式中, $\mathbf{x}^T \mathbf{R} \mathbf{x} > 0$, 对上式两边积分得

$$\underbrace{H(\mathbf{x})}_{\text{存储能量}} = \underbrace{\int_0^t \mathbf{x}^T \mathbf{u} dt}_{\text{供给能量}} - \underbrace{\int_0^t \mathbf{x}^T \mathbf{R} \mathbf{x} dt}_{\text{耗散能量}}, \quad (8)$$

根据式(8)及无源性控制原理可知, UPQC 是严格无源的。

2 控制器设计

2.1 电流内环控制器设计

无源控制期望的效果是 $\mathbf{x}$ 收敛到 $\mathbf{x}^*$, 即误差 $\mathbf{x}_e = \mathbf{x} - \mathbf{x}^*$ 收敛到 0。系统的误差能量函数可以设定为

$$H_e(\mathbf{x}_e) = \frac{1}{2} \mathbf{x}_e^T \mathbf{M} \mathbf{x}_e, \quad (9)$$

为得到无源控制律, 将式(6)两侧同时减去 $\mathbf{M} \dot{\mathbf{x}}^* + \mathbf{J} \mathbf{x}^* + \mathbf{R} \mathbf{x}^*$ 可得到以误差 $\mathbf{x}_e$ 为变量的 EL 模型:

$$\mathbf{M} \dot{\mathbf{x}}_e + \mathbf{J} \mathbf{x}_e + \mathbf{R} \mathbf{x}_e = \mathbf{u} - (\mathbf{M} \dot{\mathbf{x}}^* + \mathbf{J} \mathbf{x}^* + \mathbf{R} \mathbf{x}^*). \quad (10)$$

注入虚拟阻尼 $\mathbf{R}_a = \text{diag}\{r_{a1}, r_{a1}, r_{a2}, r_{a2}\}$, $r_{a1}, r_{a2} > 0$ 能够使 $H(\mathbf{x})$ 快速减小到 0。将式(10)两侧同时加上 $\mathbf{R}_a \mathbf{x}_e$ 并与式(9)中能量函数对时间的导数联立得到

$$\begin{aligned} \dot{H}_e(\mathbf{x}_e) &= \mathbf{x}_e^T \mathbf{M} \dot{\mathbf{x}}_e = \\ \mathbf{x}_e^T (\mathbf{u} - \mathbf{M} \dot{\mathbf{x}}^* - \mathbf{J} \mathbf{x}^* - \mathbf{R} \mathbf{x}^* + \mathbf{R}_a \mathbf{x}_e - \mathbf{J} \mathbf{x}_e - \mathbf{R}_d \mathbf{x}_e) &= \\ \mathbf{x}_e^T (\mathbf{u} - \mathbf{M} \dot{\mathbf{x}}^* - \mathbf{J} \mathbf{x}^* - \mathbf{R} \mathbf{x}^* + \mathbf{R}_a \mathbf{x}_e) - \mathbf{x}_e^T \mathbf{R}_d \mathbf{x}_e, \end{aligned} \quad (11)$$

式中, $\mathbf{R}_d \mathbf{x}_e = (\mathbf{R} + \mathbf{R}_a) \mathbf{x}_e$ 为注入阻尼的耗散项。

为了满足 $\dot{H}_e(\mathbf{x}_e) = -\mathbf{x}_e^T \mathbf{R}_d \mathbf{x}_e \leq 0$, 则选择无源控制器为

$$\mathbf{u} = \mathbf{M} \dot{\mathbf{x}}^* + \mathbf{J} \mathbf{x}^* + \mathbf{R} \mathbf{x}^* - \mathbf{R}_a \mathbf{x}_e, \quad (12)$$

将 UPQC 的无源控制器(12)展开可得到串并联逆变器对应的输出电压。

串、并联逆变器对应的输出电压:

$$\begin{cases} u_{d1} = S_{d1} u_{dc} = u_{cd} + L_1 \dot{i}_{d1}^* - \\ \omega L_1 i_{q1} + R_1 i_{d1}^* - r_{a1} (i_{d1} - i_{d1}^*) \\ u_{q1} = S_{q1} u_{dc} = u_{cq} + L_1 \dot{i}_{q1}^* + \\ \omega L_1 i_{d1} + R_1 i_{q1}^* - r_{a1} (i_{q2} - i_{q1}^*) \end{cases}, \quad (13)$$

$$\begin{cases} u_{d2} = S_{d2} u_{dc} = u_{ld} + L_2 \dot{i}_{d2}^* - \\ \omega L_2 i_{q2} + R_2 i_{d2}^* - r_{a2} (i_{d2} - i_{d2}^*) \\ u_{q2} = S_{q2} u_{dc} = u_{lq} + L_2 \dot{i}_{q2}^* + \\ \omega L_2 i_{d2} + R_2 i_{q2}^* - r_{a2} (i_{q2} - i_{q2}^*) \end{cases}. \quad (14)$$

2.2 电压外环 ADRC 自抗扰控制器的设计

为提高补偿精度, 外环电压环采用 ADRC 控制器来补偿系统的干扰。ADRC 控制器为无源控制器提供电流参考值和控制电压达到期望值, 以直流侧

电容电压控制为例,其控制原理图如图 2 所示。

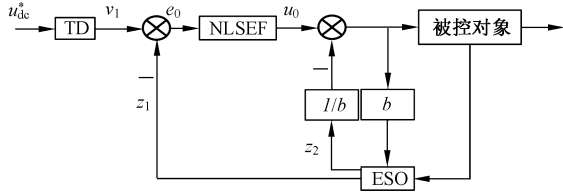


图 2 一阶 ADRC 直流侧电压控制框图

Fig. 2 The first order ADRC of dc voltage block control

跟踪微分器 (Tracking Differentiator, TD) 可以有效地提高响应速度和减小超调量,可采用 TD 模块来产生电压的参考值^[14],其形式如下:

$$\begin{cases} e_0 = u_{dc}^* - v_1 \\ \dot{v}_1 = -r_0 \cdot fal(e_0, \alpha_0, \delta_0) \end{cases}, \quad (15)$$

式中: u_{dc}^* 为电压期望值即 TD 的输入信号; v_1 为 u_{dc}^* 的跟踪信号; e_0 为电压期望值 u_{dc}^* 和跟踪信号 v_1 误差; 速度因子 r_0 影响跟踪信号 v_1 的跟踪速度, r_0 值越大,跟踪信号的跟踪速度越快,从而间接影响控制量的响应速度; $0 < \alpha_0 < 1$, δ_0 为常数,共同影响跟踪速度和滤波效果。

扩张状态观测器 (Extended State Observer, ESO) 可以实时估计直流储能环节的电压值和系统总扰动。ESO 的一个输入为直流储能环节电容电压的输出 u_{dc} , 另一个输入为维持直流电容稳定的有功电流值 Δi_d^* 。ESO 的输出为直流储能环节电容电压的估计值的和系统总扰动的估计, 观测器方程为

$$\begin{cases} e_1 = z_1 - u_{dc} \\ \dot{z}_1 = z_2 - \beta_1 \cdot fal(e_1, \alpha_1, \delta_1) + b_0 \Delta i_d^* \\ \dot{z}_2 = \beta_2 \cdot fal(e_1, \alpha_1, \delta_1) \end{cases}, \quad (16)$$

式中: u_{dc} 为直流储能环节电容电压输出值; z_1 为 u_{dc} 的估计值; e_1 为电压估计值 z_1 和直流储能环节电容实际电压 u_{dc} 误差; z_2 为系统总扰动的观测值; b_0 为反应系统误差补偿能力的因子, 参数选取值较大时, 可提高控制量的响应速度, 当选取过大时, 控制量会出现较大的波动; β_1 影响响应速度, 当控制量的输出响应速度较慢时, 可增大 β_1 的值, 但当其值选取过大时, 控制量相比于期望值会出现超调、振荡; β_2 影响静差, 增加其值, 控制量与期望值的误差越小^[15]。

非线性状态误差反馈 (Nonlinear State Error

Feedback, NLSEF) 的输出由 v_1 和 v_2 以及扰动的估计量确定, 控制律为

$$\begin{cases} e_2 = v_1 - z_1 \\ u_0(t) = k \cdot fal(e_2, \alpha_2, \delta_2) \\ \Delta i_d^* = u_0(t) - z_2/b_0 \end{cases} \quad (17)$$

式 (15) ~ (17) 中, 非线性函数 $fal(e, \alpha, \delta)$ 为

$$fal(e, \alpha, \delta) = \begin{cases} \frac{e}{\delta^{1-\alpha}} & |e| \leq \delta \\ |e|^\alpha \text{sign}(e) & |e| > \delta \end{cases} \quad (18)$$

综上, 通过 ADRC 控制器得到的有功电流 Δi_d^* , 将其叠加到基波正序电流 i_{1fd} 上再减掉负载有功电流 i_{ld} 得到 PBC 控制器所需的指令电流 i_{d2}^* , 原理图如图 3 所示。

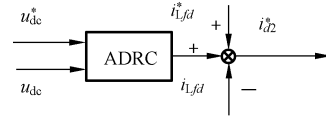


图 3 直流侧电压外环控制原理图

Fig. 3 DC side voltage control schematic diagram

同理, 串联逆变器电压环采用自抗扰控制, 其控制原理如图 4 所示。

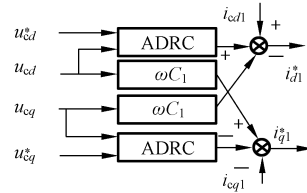


图 4 串联逆变器电压环控制原理图

Fig. 4 Voltage loop control schematic diagram of series inverter

根据图 4 可得串联逆变器 PBC 控制器的电流的期望值 i_{d1}^* , i_{q1}^* , 以提高负载电压质量。

通过对 ADRC-PBC 控制器进行分析, 得到 UPQC 的控制框图, 如图 5 所示。

3 仿真研究

将搭建好的电路模型在 MATLAB 仿真平台进行仿真, 验证 ADRC-PBC 控制的有效性。UPQC 主电路参数见表 1, 控制器参数见表 2。仿真模拟电网电压故障状态: $0 \sim 0.1$ s, 电网电压发生畸变, 基波电压中增加了 5 次和 7 次谐波。 $0.2 \sim 0.3$ s 基波电压幅值增加 0.25 倍, $0.3 \sim 0.4$ s 基波电压

幅值下降 0.25 倍。0~0.5 s 三相不控整流电路，负载。仿真得到电网电压和负载电流的波形图分别在 0.5~0.6 s 负载侧并联一个 $R=12\ \Omega,L=6\ \text{mH}$ 别如图 6(a) 和图 6(b) 所示。

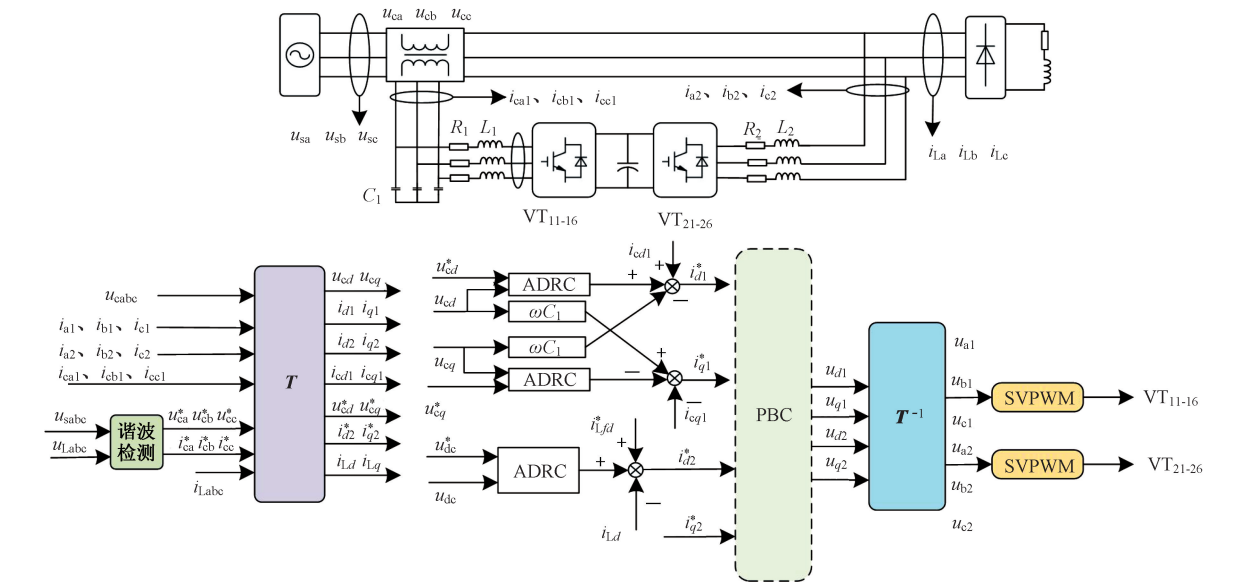


图 5 UPQC 控制原理图
Fig. 5 UPQC control schematic diagram

表 1 UPQC 仿真参数	
Tab. 1 UPQC simulation parameters	
电路参数	数值
A 相电网电压有效值 u_{sa}/V	220
变压器变比 $N_1:N_2$	1:1
串联逆变器输出电感 L_1/mH	1
串联逆变器等效内阻 R_1/Ω	0.1
串联逆变器滤波电容 $C_1/\mu F$	6.8
直流侧电容 $C/\mu F$	6 000
直流侧电容电压期望值 u_{dc}^*/V	800
并联逆变器输出电感 L_2/mH	1
并联逆变器输出电阻 R_2/Ω	0.1
开关频率 f/kHz	10
三相全桥不控整流电路 $R/\Omega, L/mH$	12, 6

表 2 控制器参数		
Tab. 2 Controller parameters		
参数	直流侧电压外环 ADRC 控制器	串联逆变器电压外环 ADRC 控制器
跟踪因子 $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$	0.95	0.95
滤波因子 $\delta_0, \delta_1, \delta_2$	0.01	0.01
速度因子 r_0	8 000	10 000
校正增益 β_1	1 000	6 000
校正增益 β_2	55	100
补偿增益 b_0	60	80
调节增益 K	1	1

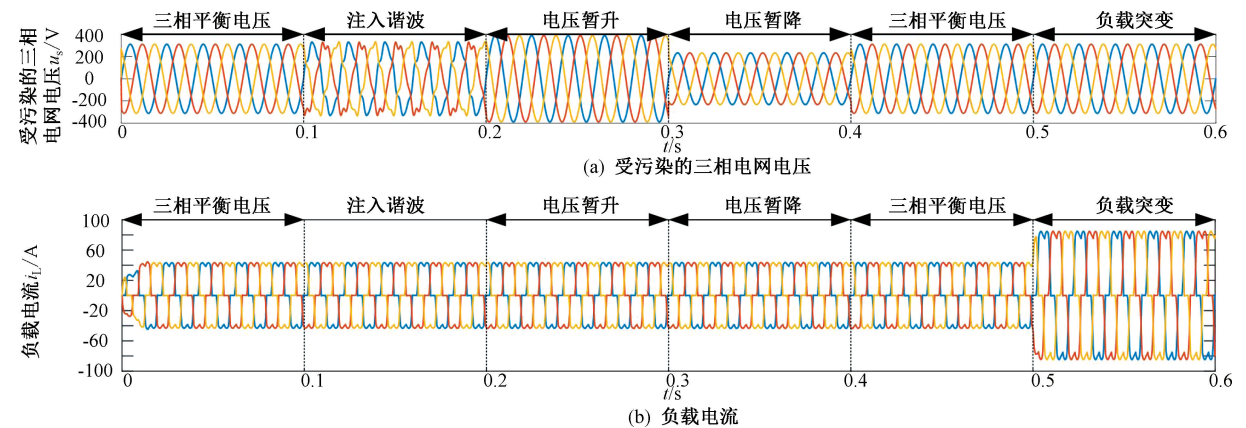


图 6 电网电压及负载电流波形图
Fig. 6 Waveform diagram of grid voltage and load current

3.1 直流侧电容电压的仿真

在电网受污染条件下,直流储能电容波形如图 7(b)所示。对比 PI-PBC 和 ADRC-PBC 控制策略,直流储能环节的电容电压都得到很好的控制,但是 PI-PBC 可使直流侧电容电压快速达到期望值,但电压有较大的超调量。采用 ADRC-PBC 控制策略,直流储能环节电容电压快速无超调达到期望值。当电网电压含有谐波时,仍然稳定在期望值,当电网电压暂升和暂降时,直流侧电容需要

通过并联逆变器同电网交换能量。电容电压产生了略微的升高和降低。ADRC-PBC 控制器,电容电压的波形范围小于 10 V,波动量在 2%以内,优于 PI-PBC 控制策略。此外 ADRC-PBC 控制器系统在系统发生扰动时,恢复时间更短,相较于 PI-PBC 控制器具有更强的鲁棒性。仿真结果表明,在电网电压含有谐波和暂升、暂降等故障状态,ADRC-PBC 控制器对直流侧电容电压的稳定效果更好。

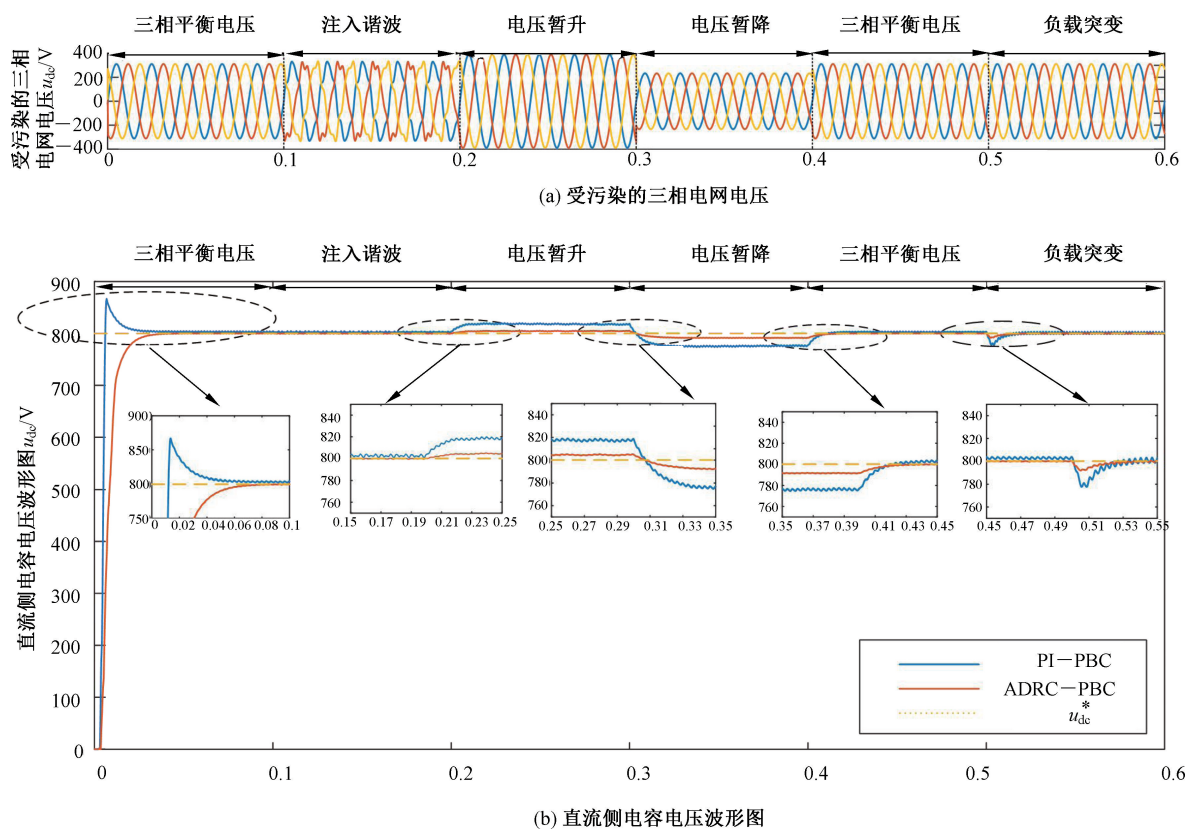


图 7 三相电网电压受污染和负载突变状态时的直流侧电容电压波形图

Fig. 7 DC side capacitor voltage waveform of three-phase power grid under voltage pollution and load mutation

3.2 电网电压补偿仿真

电网电压补偿结果如图 8、图 9 所示。图 8(a)和图 9(a)为故障状态下的三相电网电压波形图;图 8(b)和图 9(b)为故障状态时 a 相期望补偿的电压波形;图 8(c)和图 9(c)为采用 ADRC-PBC 和 PI-PBC 控制策略串联逆变器补偿的 a 相的电压波形。对比可知,不论采用 PI-PBC 还是 ADRC-PBC 控制策略,负载电压波形都接近于正弦。但采用 ADRC-PBC 控制策略,补偿后的负载电压更平顺,谐波更小。

3.3 负载电流补偿仿真

直流储能环节电容电压的稳定及串联逆变器的稳定运行保证了负载电压质量。三相电网受污染时,及非线性负载突变前后的电流波形如图(10),图(11)中的图(a),图(b)所示;图(c)为 a 相期望补偿的电流;图 10(d)、图 11(d)、图 10(e)和图 11(e)分别为采用 ADRC-PBC 和 PI-PBC 控制策略,a 相补偿电流波形和补偿后的电网电流波形。对比可知,采用 ADRC-PBC 控制策略,电网电流的波形更平滑,补偿性能更好。

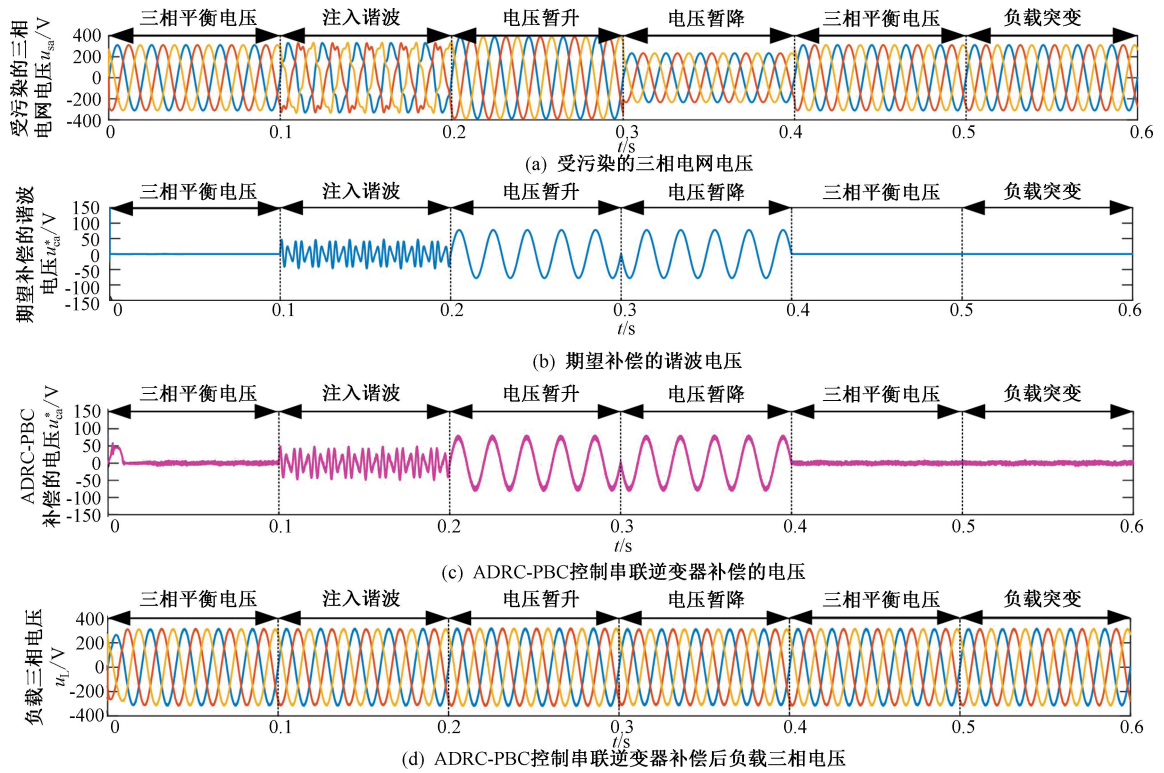


图8 ADRC-PBC控制,电压补偿波形图

Fig. 8 ADRC-PBC control, voltage compensation waveform diagram

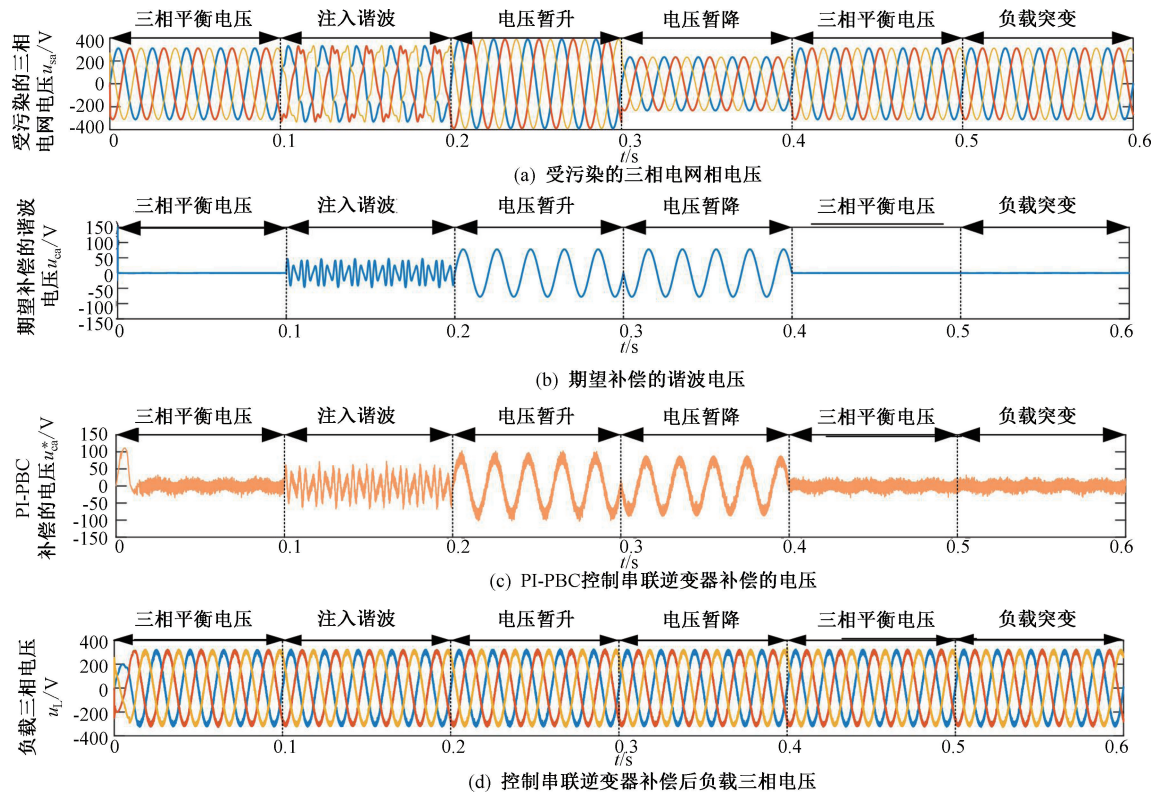


图9 PI-PBC控制,电压补偿波形图

Fig. 9 PI-PBC control, voltage compensation waveform diagram

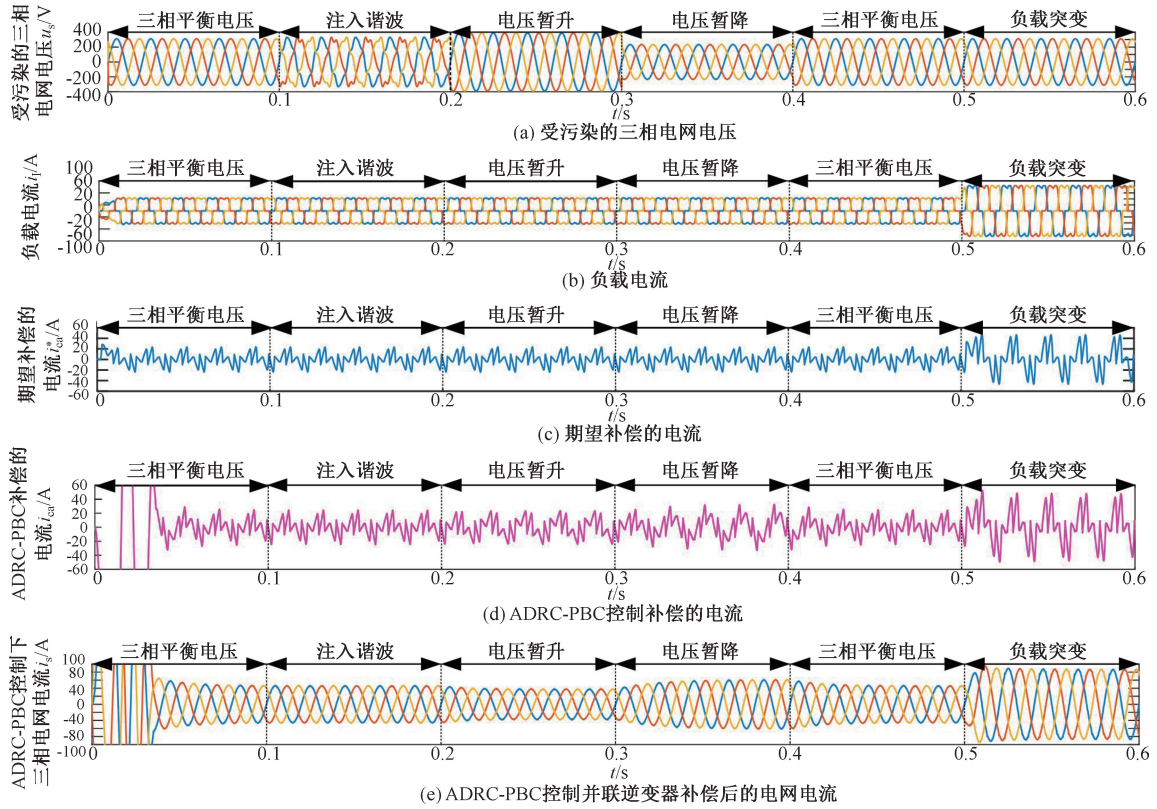


图 10 ADRC-PBC 控制, 电流补偿波形图

Fig. 10 ADRC-PBC control, current compensation waveform diagram

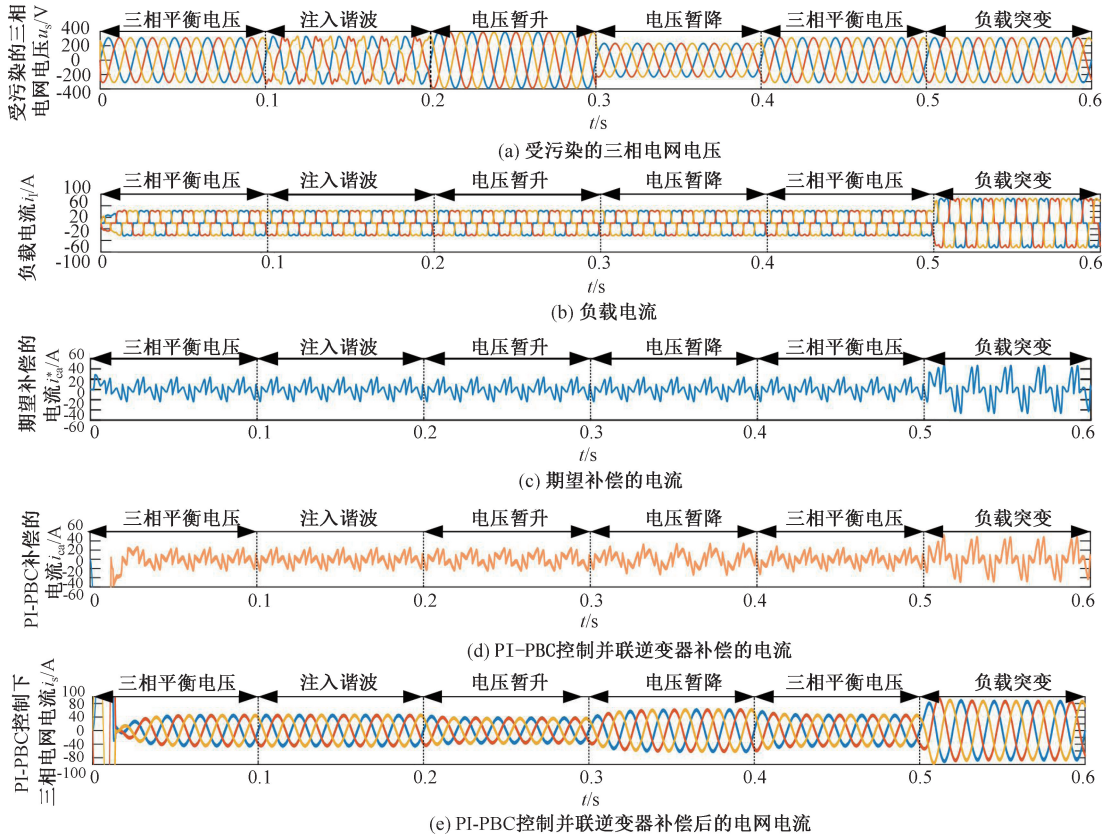


图 11 PI-PBC 控制, 电流补偿波形图

Fig. 11 PI-PBC control, current compensation waveform diagram

通过 FFT 分析补偿后的负载电压和电网电流,得到负载电压和电流的总畸变率 (Total Harmonic Distortion, THD) 如表 3 所示。对比表明,在负载电压故障和负载突变状态下,ADRC-PBC 控制策略的补偿效果优于 PI-PBC 控制策略。

表 3 两种控制策略补偿后的负载电压和电流总畸变率
Tab. 3 The THD of voltage and current compensated by two control strategies

		谐波电压	电压暂升	电压暂降	负载突变
ADRC-PBC	负载电压	0.9%	1.04%	0.96%	0.99%
	电网电流	0.91%	1.16%	0.68%	1.06%
PI-PBC	负载电压	3.99%	4.16%	3.77%	3.94%
	电网电流	4.59%	4.72%	3.32%	2.48%

4 结论

本文对电网电压故障状态和带非线性负载的 UPQC 系统进行了仿真验证,设计了 ADRC-PBC 控制器,可得到如下结论:

1) ADRC-PBC 控制策略能使直流侧电容电压快速无超调稳定到期望值。此外,在电网电压故障时,ADRC-PBC 控制器保证了直流环节的电压稳定。电压波动幅度更小,恢复速度更快,可见,ADRC-PBC 控制器具有更强的鲁棒性。

2) 相比于 PI-PBC 控制,本文所采用的控制策略使串联逆变器补偿后的负载电压和并联逆变器补偿后的负载电流畸变率更小,使负载得到优质可靠的供电,减小了谐波电流带来的危害。

参考文献

[1] 郇钰淇. 有源滤波在配网中的应用研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2020.
BING Y Q. Application research of active power filter in distribution system[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2020.

[2] 梁祖权, 束洪春, 刘志坚, 等. UPQC 完全解耦直接控制策略[J]. 电力自动化设备, 2009, 29(4): 27-31.
LIANG Z Q, SHU H C, LIU Z J, et al. Complete decoupling direct control strategy of UPQC [J]. Electric Power Automation Equipment, 2009, 29(4): 27-31.

[3] 黄晓明, 范志华, 苗世洪, 等. 含储能单元的统一电能质量调节器功率协调控制策略[J]. 高电压技术, 2018, 44 (10): 3390-3398.
HUANG X M, FAN Z H, MIAO S H, et al. Coordinated power

control strategy of unified power quality conditioner with energy storage unit [J]. High Voltage Engineering, 2018, 44 (10): 3390-3398.

[4] KHADKIKAR V. Enhancing electric power quality using UPQC: a comprehensive overview [J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2012, 27(10): 2284-2297.

[5] 朱鹏程, 李勋, 康勇, 等. 统一电能质量控制器控制策略研究[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(8): 67-73.
ZHU P C, LI X, KANG Y, et al. Study of control strategy for a unified power quality conditioner [J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(8): 67-73.

[6] ZHENG C J, WANG J H. The method of harmonic compensation of UPQC based on Euler-Lagrange model [C]// 2016 IEEE 8th International Power Electronics and Motion Control Conference, Hefei, China, 2016: 142-146.

[7] 王久和. 统一电能质量调节器及其无源控制[M]. 北京: 机械工业出版社, 2018.
WANG J H. Unified power quality conditioner and its passivity-based control[M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2018.

[8] 杨继鑫, 王久和, 孙石涛, 等. 带恒功率负载的 Boost 变换器非线性控制[J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版), 2020, 39 (4): 338-343.
YANG J X, WANG J H, SUN S T, et al. Nonlinear control of boost converter with constant power load [J]. Journal of Liaoning Technical University(Natural Science), 2020, 39(4): 338-343.

[9] 杨秋霞, 梁雄国, 郭小强, 等. 准谐振控制器在有源电力滤波器中的应用[J]. 电工技术学报, 2009, 24(7): 171-176.
YANG Q X, LIANG X G, GUO X Q, et al. Application of quasi resonant controller for active power filter[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2009, 24(7): 171-176.

[10] 常晓, 王奔, 王鹏, 等. 统一电能质量控制器的非线性控制策略研究[J]. 电气自动化, 2013, 35(5): 51-54.
CHANG X, WANG B, WANG P, et al. A study on nonlinear control strategy for unified power quality controller [J]. Power System and Automation, 2013, 35(5): 51-54.

[11] 马练哲, 司良群, 万健如. 基于输入输出反馈线性化的 UPQC 滑模控制[J]. 电力电子技术, 2015, 49(9): 48-51.
MA L Z, SI L Q, WAN J R. Sliding mode control of UPQC based on input-output feedback linearization [J]. Power Electronics, 2015, 49(9): 48-51.

[12] 程启明, 陈根, 程尹曼, 等. 统一电能质量控制器并联侧的改进双滞环电流控制策略研究[J]. 电机与控制学报, 2014, 18 (4): 102-110.
CHENG Q M, CHEN G, CHENG Y M, et al. Research of modified double hysteresis current control method on parallel side of UPQC [J]. Electric Machines and Control, 2014, 18(4): 102-110.

[13] 韩京清. 自抗扰控制技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2008.
HAN J Q. Active disturbance rejection control technique [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2008.

- [14] 廖自力, 赵其进, 刘春光. 基于自抗扰技术的 PMSM 无位置传感器优化控制[J]. 微电机, 2018, 51(7): 44-47.
LIAO Z L, ZHAO Q J, LIU C G. Sensorless optimal control for PMSM based on active disturbance rejection control [J]. Micromotors, 2018, 51 (7): 44-47.
- [15] 李萍, 王久和. 基于无源与自抗扰的 Vienna 整流器控制策略研究[J]. 电网技术, 2022, 46(4): 1575-1584.
LI P, WANG J H. Research on control strategy of Vienna rectifier based on passivity-based and active disturbance rejection controller [J]. Power System Technology, 2022, 46 (4): 1575-1584.

Research on active disturbance rejection passivity-based control strategy of two-level UPQC

LIU Jinchang¹, WANG Jiuhe¹, CHANG Wenhui², CHEN Dongxue¹

(1. School of Automation, Beijing Information Science and Technology University, Beijing 100192, China;

2. School of Information Science and Technology, Yanching Institute of Technology, Sanhe, Hebei 065201, China)

Abstract: In order to improve the compensation ability, anti-interference ability and steady-state performance of grid voltage and load current of unified power quality conditioner, a new double closed-loop control strategy of unified power quality conditioner active disturbance rejection passivity-based control is proposed, that is, active disturbance rejection control and passivity-based control are adopted for voltage loop and current loop respectively. The new control strategy can quickly restore and stabilize the DC side voltage when dealing with the changes of grid voltage and load current. Furthermore, the active disturbance rejection controller generates more accurate expected current, which makes the tracking ability of compensation voltage on the grid side stronger. The simulation results of the MATLAB/Simulink experimental platform show that, compared with the PI passive control strategy, the active disturbance rejection passivity-based control strategy can obtain better load voltage and grid current of unified power quality conditioner in the case of grid voltage sag, swell, harmonic and nonlinear load.

Keywords: passivity-based control; unified power quality conditioner; active disturbance rejection control; double closed-loop control

(上接第 416 页)

Dynamic path planning of robot based on distance suppression vector

SUN Jiaming^{1,2}, LIU Weipeng^{1,2}, GONG Xiangrui^{1,2}, SHAN Shengqi^{1,2}

(1. State Key Lab of Reliability and Intelligence of Electrical Equipment, Hebei University of Technology, Tianjin 300131, China;

2. School of Electrical Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300131, China)

Abstract: In the light of the problems of the planned path being too long and moving to obstacles with similar distance, the evaluation function will fail when using the traditional dynamic window approach (DWA) for local path planning of mobile robot. First, the concept of distance suppression vector is proposed and a new evaluation factor is defined. Then, the improved gray wolf algorithm with the traditional A* algorithm is combined with the global information. The turning point in the improved global path is retained as the intermediate guiding point of local path planning algorithm. Finally, a new evaluation function is obtained to realize the fusion of the two improved algorithms. The simulation result and the experimental result show that compared with the traditional DWA algorithm, the improved DWA algorithm that introduces global information and distance suppression vector can not only achieve the global optimization of the path, but also effectively avoid the dynamic obstacles that appear during the robot's travel, so as to meet the requirements of safe operation of the robot.

Keywords: mobile robot; dynamic window approach; distance suppression vector; evaluation function; fusion algorithm

基于动态切点调整的超冗余度机器人路径规划

赵鹏¹,李昆^{1*},程杰²

(1. 燕京理工学院信息科学与技术学院,河北 廊坊 065201;

2. 北京化工大学信息科学与技术学院,北京 100029)

摘要:超冗余度机器人具有大量自由度,且任务的多样性以及偏大的行动空间均导致其路径规划难度较高、耗时较长。为此,提出考虑障碍避让的超冗余度机器人路径规划方法。基于信息熵方法,建立超冗余度机器人工作环境栅格地图,获取环境中障碍物位置,确定目标栅格,生成初始路径;采用A*算法优化路径节点序列,结合动态切点调整算法对节点平滑处理,根据建立的代价函数,规划出全局路径;引入人工势场方法,将机器人、目标与障碍物三者之间相对速度关系作为优化路径的指标,实时优化机器人行进路径,规划局部路径。实验结果表明,利用上述方法规划机器人路径时,规划时间短且路径较短。

关键词:超冗余度机器人;路径规划方法;环境地图建立;人工势场方法

中图分类号:TP242 **文献标识码:**B

Path Planning for Super Redundant Robots Based on Dynamic Tangent Adjustment

ZHAO Peng¹, LI Kun^{1*}, CHENG Jie²

(1. College of Information Science and Technology, Yanching Institute of Technology,

Langfang Hebei 065201, China;

2. College of Information Science and Technology, Beijing University of Chemical

Technology, Beijing 100029, China)

ABSTRACT: Super redundant robots have a large number of degrees of freedom, and the diversity of tasks and large action space make their path planning difficult and time-consuming. Therefore, a path planning method for a hyper-redundant robot considering obstacle avoidance was proposed. Based on the information entropy, the grid map of the working environment of hyper-redundant robot was established, so that the location of obstacles in the environment can be obtained. The target grid was determined, whereupon the initial path was generated. Moreover, A* algorithm was used to optimize the sequence of path nodes, and the dynamic point cut adjustment algorithm was used to smooth the nodes. According to the cost function, the global path was planned. Finally, the artificial potential field method was introduced, and the relative velocity relationship among robot, target and obstacle was taken as the index of path optimization to optimize the robot path in real time and plan the local path. The experimental results show that this method needs less robot path planning time and shorter path.

KEYWORDS: Hyper-redundant robot; Path planning method; Establishment of green-map; A* algorithm; Artificial potential field

1 引言

机器人技术作为高科技技术社会的主要体现形式,已经被广泛地应用到社会各个领域。超冗余度机器人是根据

核环境工作状态设计的专用于核受限环境的工作机器人。该机器人主要用于核电站探测、检修以及搜救等重要任务。超冗余度机器人工作环境在大部分情况下都较为复杂,但是由于该类机器人关节数量较多,导致其逆运动求解异常困难,因此针对机器人在复杂且受限环境中避障困难问题,能够简单便捷地规划出超冗余度机器人运行路径^[1-2],成为机

收稿日期:2023-04-18

机器人路径规划避障控制技术中亟待解决的问题。

现阶段,一些专家、学者在该领域已经取得了较好研究成果,如:陈虎^[3]等人提出了一种改进的蚁群算法,结合启发式状态转移函数,确定起点以及终点状态值;从8个方向展开迭代计算,生成移动路径并构建模型;通过蚁群算法对模型展开求解,获取机器人行走的最佳路径,实现路径规划。李艳生^[4]等人通过人工蜂群算法初始化种群,增强种群多样性;将机器人行走过程中的路径长度、转弯次数能耗作为评价指标,建立适应度函数;基于三角函数设计路径规划模型,通过遗传算法对模型展开求解,获取机器人移动时的最佳路径,完成路径规划。赵娜^[5]等人以目标区域栅格环境地图为基础,根据有效障碍物及中间目标点改进人工势场算法,以此优化蚁群算法,完成初始路径搜索;通过调整路径全局以及局部信息素,获取最佳移动路径,完成路径规划。上述方法中由于在机器人路径规划过程中,未能及时确定障碍物位置,导致机器人路径规划效果差。

为解决以上存在的问题,提出考虑障碍避让的超冗余度机器人路径规划方法。

2 初始路径生成

由于超冗余度机器人具有大量自由度,且工作环境较为复杂,因此其路径搜索空间非常大,导致可能陷入局部最优路径。为了简化路径搜索过程,利用信息熵方法^[6-7],建立超冗余度机器人工作环境地图,确定工作环境中的障碍物信息,基于构建的栅格地图,生成初始路径。

2.1 构建环境栅格地图

为提供给机器人感知和理解周围环境的能力,以此获取环境中障碍物的位置信息,从而确定机器人在规划路径时需要避开的障碍物位置。因此,在获取初始路径前,利用信息熵方法,构建环境栅格地图。信息熵实际上是信息的量化度量结果,主要通过观测更新超冗余度机器人栅格地图的每个栅格信息熵。由于超冗余度机器人工作环境中,栅格地图会分成空闲和障碍两种状态,所以,设定超冗余度机器人工作环境中的随机障碍变量为 C ,且取值范围为 $(C_1, C_2, \dots, C_i, \dots, C_m)$,其中障碍物概率为 $Q(C_i)$,以此获取栅格地图上某一栅格的状态信息熵 G_i ,结果如下式所示:

$$G_i = Q(C_i) \times \lg Q(C_i) - (1 - Q(C_i)) \times \lg(1 - Q(C_i)) \quad (1)$$

式中,对数函数表述成 $\lg Q(C_i)$ 形式。

超冗余度机器人通常需要依靠传感器采集工作环境数据,但由于传感器自身存在噪声干扰,因此会影响获取地图栅格信息熵的精度。因此,基于以上计算,为了实时更新状态,建立栅格信息熵状态更新方程 $Q_k(G_i)$,有效获取超冗余度机器人工作环境栅格的栅格状态,表达式如下所示:

$$\begin{cases} Q_k(G_i) = [\alpha_i \bar{Q}_k(G_i) + (1 - \alpha_i) Q_{k-1}(G_i)] \\ \bar{Q}_k(G_i) = \begin{cases} 0, \text{空闲栅格} \\ 1, \text{障碍物栅格} \end{cases} \end{cases} \quad (2)$$

式中,工作环境栅格在 $k-1$ 时刻的状态估计值表述成 $Q_{k-1}(G_i)$ 形式,更新系数表述成 α_i 形式, k 时刻的观测栅格状态表述成 $\bar{Q}_k$ 形式,确定的栅格状态值用 $\bar{Q}_k(G_i)$ 表述。

基于上述确定的栅格状态,建立超冗余度机器人工作环境栅格地图 N ,如下式所示:

$$N = [Q_k(G_i) \cdot \alpha_i]_{m \times n}; i \neq 0 \quad (3)$$

式中,地图大小表述成 $m \times n$ 形式,常数用 i 表述。

2.2 路径生成

由于实现路径规划需要将障碍物位置作为约束条件,以保证机器人在运动过程中不会与障碍物相撞。因此,根据上述确定的超冗余度机器人工作环境栅格地图,提取工作环境中障碍物信息,通过对障碍物信息的拟合,确定障碍物具体位置^[8-9]。

根据建立的超冗余度机器人工作环境栅格地图 N ,将障碍物有效数据设定成 (p_T, n_T) ,传感器在 T 时刻扫描到障碍物距离表述成 p_T ,该时刻传感器对应编号记作 n_T ,以此获取障碍物在机器人坐标系内的位置 $[X'_T, Y'_T]$,结果如下式所示:

$$\begin{cases} X'_T = p_T \cdot \cos(\beta_T) \\ Y'_T = p_T \cdot \sin(\beta_T) \end{cases} \quad (4)$$

式中,机器人旋转角度表述成 β_T 形式。

根据上述确定的障碍物位置,在建立的栅格地图上生成机器人工作过程中的初始路径 L_i ,结果如下式所示:

$$L_i = \frac{[X'_T, Y'_T]}{N} * \delta_i \quad (5)$$

式中,路径生成权值表述成 δ_i 形式。

3 路径规划

根据超冗余度机器人初始路径,利用 A^* 算法^[10-11],对路径节点全局路径规划,再利用人工势场算法进一步对路径实施局部避障规划,以此找出机器人最佳移动路径。

3.1 全局路径规划

通过全局路径规划,机器人能够在整个运动过程中避开障碍物,从而保证路径的连续性和平滑性。为快速地搜索出最短路径,利用 A^* 算法展开全局路径规划,提高搜索效率。

A^* 算法是一种搜索算法,根据估计函数大小确定最优路径。设定超冗余度机器人在移动过程中的当前节点为 m ,其实际代价值表述成 $u(m)$,到达移动目标节点的估计代价值设定成 $o(m)$,获取 A^* 算法在路径搜索时的代价函数 $f(m)$,以此实现全局路径规划,其表达式如下所示:

$$\begin{cases} f(m) = u(m) + o(m) \\ o(m) = \sqrt{(x_m - x_{goal})^2 + (y_m - y_{goal})^2} \end{cases} \quad (6)$$

式中,栅格地图中当前位置栅格中心坐标表述成 (x_m, y_m) ,目标栅格中心位置表述成 (x_{goal}, y_{goal}) 。

由于 A^* 算法在全局路径规划时,获取路径的冗余节点较多,且机器人移动时转折角过多,所以需要路径实施改

进优化,尽量缩减机器人行进过程中的转折角,从而达到路径平滑。利用A*算法,对路径节点序列优化过程如下:

1) 为有效缩短规划路径长度,引入二次A*搜索算法,将确定的代价函数作为初始值,将节点实施扩展,可选择与路径节点不相邻节点作为扩展点。

2) 以建立的代价函数作为辨识依据,确定节点之间是否存在新路径,辨识依据 b_{ij} 如下式所示:

$$b_{ij} = \begin{cases} \zeta_{\max \min} \sum_{i,j=0}^n f(m) & \text{穿过障碍,不存在新路径} \\ \zeta_{\max \min} \sum_{i,j=0}^n f(m) & \text{未穿过障碍,存在新路径} \end{cases} \quad (7)$$

式中,代价函数的大小和表述成 $\zeta_{\max \min} \sum_{i,j=0}^n f(m)$ 形式。

3) 通过辨识结果生成的路径节点,确定最短路径,完成路径节点的序列优化。但该条路径节点仅包括起始节点、转折点以及目标点。

由于机器人在运动过程中路径可能存在凹凸点,导致发生卡住或者碰撞的情况。因此,完成路径节点序列优化后,根据优化结果采用动态切点调整算法,去除路径凹凸点,以此获取具备曲率连续性以及几何特性的路径,实现路径的平滑处理^[12]。路径平滑示意图如图1所示。

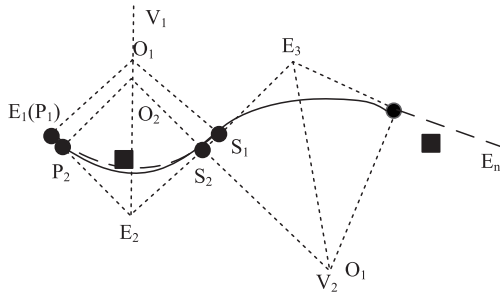


图1 路径平滑示意图

根据图1所示,路径平滑处理时,将机器人初始位置设定成 $E_1(x_1, y_1)$ 形式,终点位置设定成 $E_m(x_m, y_m)$ 形式,根据设定的位置按顺序对转折点实施平滑处理。在路径平滑过程中,固定切点会使机器人陷入障碍物死区,所以需要在平滑时结合动态切点调整算法辅助完成路径平滑,过程如下式所示:

1) 对 $E_{i-1}E_i$ 以及 E_iE_{i+1} 两条线段长度展开对比,将其中短边端点 $P(x_p, y_p)$ 作为初始切点,并过点 P 作垂线,与 $\angle E_{i-1}E_iE_{i+1}$ 平分线 E_iV_{i-1} ,最后相交于 $O_{i-1}(x_0, y_0)$ 。以此获取相切圆方程 R^2 ,结果如下式所示:

$$R^2 = (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 \quad (8)$$

2) 根据上述确定的相切圆方程,辨识相切圆是否与长边存在交点,若存在,可对圆弧 PS 上障碍物展开辨识,若不存在,则需要将相切圆切点沿线段移动到 $P_2(x_{p2}, y_{p2})$ 位置,实

现该路径节点的平滑。

3) 根据上述步骤遍历所有路径节点,完成路径节点的平滑处理。

利用建立的代价函数重新对节点优化平滑后的路径展开计算,找出超冗余度机器人全局行走路径。

3.2 局部路径规划

由于机器人移动过程中局部环境会发生变化,因此基于超冗余度机器人全局路径规划,还需要实时检测障碍物以及目标变化状态,根据人工势场方法^[13-14]及时作出局部路径规划,以此完成超冗余度机器人工作时的最佳行走路径的规划。

由于机器人工作环境较为复杂,为保障机器人能够避开障碍物,需要将机器人、目标与障碍物三者之间相对速度关系作为优化路径指标,在机器人行进过程中实时优化路径,从而提升超冗余度机器人的路径规划精度。

设定机器人与目标点之间相对速度为 $\rho(v, v_g)$,引力场的正常量表述成 n, k_{v1} 形式,以此建立引力势场函数 $U_{att}(q)$ 以及相应引力值 $F_{att}(q)$,结果如下式所示:

$$\begin{cases} U_{att}(q) = [n\rho(q, q_g) + k_{v1}\rho(v, v_g)]/2 \\ F_{att}(q) = n\rho(q, q_g) + k_{v1}\rho(v, v_g) \end{cases} \quad (9)$$

式中,机器人与目标位置之间的欧氏距离表述成 $\rho(q, q_g)$ 形式。

由于机器人移动时,若环境内势力场引力与斥力相等,说明该环境内存在一种影响运行的局部最小值陷阱,使机器人无法移动至目标点。所以需要建立虚拟子目标,借助虚拟外力令机器人摆脱陷阱,成功移动至目标点。具体过程如下:

1) 基于机器人状态信息以及上述确定的势力场引力与斥力值,辨识机器人当前状态,并将步长作为辨识依据,当总移动距离小于设定的步长范围时,说明机器人进入最小值陷阱。

2) 完成辨识后,跳转至虚拟目标,确定障碍物位置信息,建立障碍物群,确定虚拟子目标位置,从而使机器人能够在原目标与障碍物合力作用下向实际目标位置行进,实现局部路径的规划^[15]。过程如下式所示:

$$\begin{cases} x_{vir} = x_{ob} + f(m)/U_{att}(q) \cdot [\gamma_1 \text{sign}(x_g - x)] \\ y_{vir} = y_{ob} + f(m)/F_{att}(q) \cdot [\gamma_2 \text{sign}(y_g - y)] \end{cases} \quad (10)$$

式中,目标障碍物位置表述成 (x_{ob}, y_{ob}) 形式,原目标位置表述成 (x_g, y_g) 形式,机器人当前位置表述成 (x, y) 形式,调整系数表述成 γ 形式。

4 对比实验的设计与分析

4.1 结果及分析

测试过程中,根据MATLAB仿真软件生成一个复杂的工作环境,并确定超冗余度机器人起始点以及目标点,以此构建该环境栅格地图,分别采用考虑障碍避让的超冗余度机器

人路径规划方法(所提方法)、移动机器人复杂环境路径规划(文献[3]方法)、基于人工蜂群-自适应遗传算法的仓储机器人路径规划(文献[4]方法)开展路径规划,以规划时间、规划路径长度以及实际路径平滑度作为实验指标,验证上述3种方法的实际路径规划效果。

1) 路径规划时间测试

选取工作环境面积 100m^2 ,采用所提方法、文献[3]方法以及文献[4]方法开展路径规划,对路径规划时间展开测试,测试结果如表1所示。

表1 不同方法的路径规划时间测试结果

工作环境 面积/ m^2	路径规划时间/ms		
	所提方法	文献[3]方法	文献[4]方法
20	12	13	13
40	15	18	20
60	19	25	27
80	22	32	35
100	28	40	44

分析表1可知,随着机器人工作环境面积的不断增大,3种方法测试出的路径规划时间也呈现出不同程度的上升趋势。文献[3]方法利用蚁群算法寻找最佳路径时,由于算法复杂程度较高,导致路径规划时间高于所提方法测试结果;文献[4]方法由于在建立适应度函数时存在问题,所以该方法的路径规划时间是3种方法中最高的;而所提方法在路径规划过程中,优先提取了环境中障碍物信息,确定障碍物的具体位置,所以该方法在路径规划时,规划时间短。

2) 规划路径长度测试

选取工作环境面积 270m^2 ,采用所提方法、文献[3]方法以及文献[4]方法开展路径规划,对路径规划长度展开测试,测试结果如图2所示。

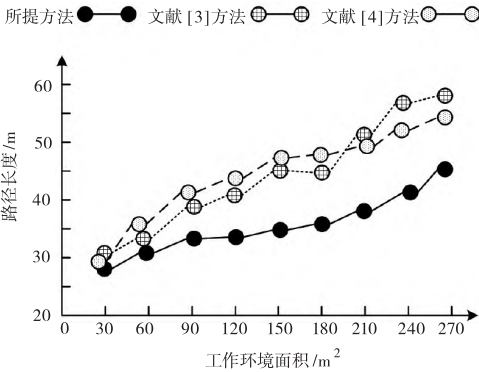


图2 不同方法的实际路径规划长度测试结果

分析图2可知,开展路径规划过程中,随着工作环境面积的不断增大,不同方法规划出的路径长度都相应有所增加。其中,当工作环境面积为 270m^2 时,文献[3]方法以及文献[4]方法均长达 50m 以上,而所提方法明显短于其它两种

方法,仅在 45m 以下。由于所提方法在路径规划时,提前对路径点序列实施了优化处理,所以该方法规划路径长度较短。由此可证明,利用所提方法规划超冗余度机器人行走路径时,规划方法的规划性能高。

3) 实际路径规划效果测试结果

基于上述测试结果,将所提方法、文献[3]方法以及文献[4]方法应用到实际环境中,测试在路径规划时的实际规划效果。结果如图3所示。

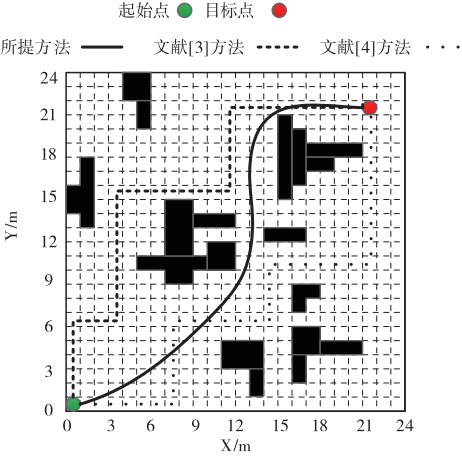


图3 不同方法的实际路径规划效果测试结果

分析图3可知,开展超冗余度机器人路径规划时,所提方法规划出的路径平滑度较高,不需要机器人工作过程中出现多次转折旋转,而文献[3]方法和文献[4]方法在实际路径规划过程中,规划出的行走路径存在较多的转折点,路径平滑程度远远不及所提方法路径规划结果,且规划出的路径行走时会增加机器人的磨损程度以及能耗。由此可知,所提方法的实际路径规划效果最好。

5 结束语

针对传统路径规划方法中存在的问题,提出考虑障碍避让的超冗余度机器人路径规划方法。根据建立的工作环境栅格地图,确定了障碍物位置,并以此生成初始路径;再将A*算法与人工势场方法结合,完成超冗余度机器人的实时路径规划。但是该方法在路径节点序列优化过程中还存在一些问题,今后会针对该项问题继续优化该路径规划方法。

参考文献:

[1] 沈斯杰,田昕,袁千贺. 融合改进A*和时间弹性带的移动机器人路径规划算法[J]. 智能计算机与应用, 2022,12(11):96-102.

[2] 周婷. 基于信息融合的移动机器人全局避障路径规划算法[J]. 宁夏师范学院学报, 2022,43(10):59-66.

[3] 陈虎,宋智超,光孟珂,等. 移动机器人复杂环境路径规划[J]. 广西大学学报(自然科学版), 2021,46(3):692-702.

- [4] 李艳生,万勇,张毅,等. 基于人工蜂群-自适应遗传算法的仓储机器人路径规划[J]. 仪器仪表学报, 2022,43(4):282-290.
- [5] 赵娜,陈越峰. 联合势场与蚁群算法的机器人路径规划[J]. 火力与指挥控制, 2021,46(7):39-44.
- [6] 杨挺,张璐,张亚健,等. 基于信息熵计算模型的电力信息物理系统融合控制方法[J]. 电力系统自动化, 2021,45(12):65-74.
- [7] 闫书法,朱元宸,陶磊,等. 基于信息熵的机械传动油液光谱监测数据选择方法[J]. 光谱学与光谱分析, 2022,42(8):2637-2641.
- [8] 胡文楠. 基于内容图像检索的机器人障碍物检测方法[J]. 计算机工程与设计, 2021,42(3):822-829.
- [9] 宣峰,张晓栋. 基于单目视觉的采摘机器人障碍物检测和路径规划[J]. 农机化研究, 2021,43(11):29-33.
- [10] 宣志玮,毛剑琳,张凯翔. CBS 框架下面向复杂地图的低拓展度 A* 算法[J]. 电子学报, 2022,50(8):1943-1950.
- [11] 张伟民,张月,张辉. 基于改进 A* 算法的煤矿救援机器人路径规划[J]. 煤田地质与勘探, 2022,50(12):185-193.

- [12] 齐尧,何滨兵,章永进,等. 考虑曲率变化率和起点曲率的智能车参考路径平滑方法[J]. 军事交通学报, 2022,1(7):41-46.
- [13] 刘云平,徐泽,赵中原,等. 基于改进人工势场方法的多无人机组队避障算法[J]. 高技术通讯, 2021,31(5):527-533.
- [14] 张志勇,邱国梁,黄彩霞,等. 基于改进人工势场的自动驾驶汽车弯道超车动态路径规划[J]. 中国公路学报, 2022,35(12):268-278.
- [15] 路永鑫,魏云冰,赵启承,等. 基于层次分析法和改进 A* 算法的电力应急机器人路径规划[J]. 电力系统保护与控制, 2021,49(9):82-89.

[作者简介]



赵 鹏(1981-),男(汉族),河北邯郸人,硕士,副教授,研究方向:计算机技术。

李 昆(1986-),男(汉族),河北廊坊人,硕士,副教授,研究方向:控制工程、人工智能(通讯作者)。

程 杰(1960-),男(汉族),北京人,高级工程师,研究方向:控制工程、人工智能。

(上接第 480 页)

通过结合模糊算法,有效抑制了抖颤现象,且鲁棒性较好,并对外界不确定干扰的抗扰动能力更强,有效提升了机械臂轨迹跟踪控制的性能。

5 总结

本文针对机械臂轨迹跟踪控制系统响应速度较慢和抖颤问题,设计了一种采用改进指数幂趋近律的模糊滑模控制方法,通过仿真对比实验表明:所设计的控制器可使机械臂在存在模型偏差和不确定扰动的复杂环境下实现末端执行器的轨迹精确跟踪,同时系统的抖颤也得到了有效抑制,验证了改进指数幂趋近律的可行性与有效性。

参考文献:

- [1] 刘金琨,孙富春. 滑模变结构控制理论及其算法研究与进展[J]. 控制理论与应用, 2007,(3):407-418.
- [2] 薛鹏,任鹏飞,卢金燕. 磁悬浮准滑模目标跟踪控制器设计[J]. 计算机仿真, 2021,38(10):275-279.
- [3] Ma Y, Zhang W, Qureshi W S, et al. Autonomous navigation for a wolfberry picking robot using visual cues and fuzzy control[J]. Information Processing in Agriculture, 8, 2021:15-26.
- [4] 张蕊,吴晓燕,马震,彭程. 基于趋近律的直线倒立摆滑模控制[J]. 计算机仿真, 2015,32(10):435-438.
- [5] 高为炳. 变结构控制的理论及设计方法[M]. 北京:科学出版社, 1996.
- [6] 李江峰,向凤红. 板球系统的最优组合趋近律滑模控制[J]. 电子测量与仪器学报, 2021,35(7):98-105.
- [7] 张瑶,马广富,郭延宁,曾添一. 一种多幂次滑模趋近律设计与分析[J]. 自动化学报, 2016,42(3):466-472.

- [8] 张晓光,赵克,孙力,安群涛. 永磁同步电机滑模变结构调速系统动态品质控制[J]. 中国电机工程学报, 2011,31(15):47-52.
- [9] 彭思齐,宋彦彦. 基于自适应模糊滑模观测器的永磁同步电机无传感器矢量控制[J]. 控制与决策, 2018,33(4).
- [10] Zhang R, Li G, Wang Q, et al. Adaptive friction compensation robust control for permanent magnet spherical actuator under compound disturbance[J]. Review of Scientific Instruments, 92, 2021:075006.
- [11] Chen Y, Ma G, Lin S, et al. Adaptive fuzzy computed-torque control for robot manipulator with uncertain dynamics[J]. International Journal of Advanced Robotic Systems, 9, 2012:237.
- [12] 崔鑫,姜宏,周建平,袁亮. 基于模糊切换增益消抖的机械臂滑模控制设计与仿真[J]. 机床与液压, 2020,48(3):1-4.
- [13] Soltanpour M R, Khalilpour J, Soltani M. Robust nonlinear control of robot manipulator with uncertainties in kinematics, dynamics and actuator models[J]. International Journal of Innovative Computing, Information and Control, 8, 2012:5487-5498.

[作者简介]



金之帆(1997-),男(汉族),浙江温州人,硕士研究生,主要研究领域为嵌入式计算机系统。

杨会军(1974-),女(汉族),山西万荣人,博士,副教授,主要研究领域为电子商务物流、农产品质量溯源。

张建锋(1964-),男(汉族),陕西兴平人,博士,副教授,主要研究领域为嵌入式计算机系统、智能化检测与控制技术、智能农业机器人等。

基于激光感知信息的智能家居监控系统

张伟娟, 常文慧, 刘继超

燕京理工学院信息科学与技术学院; 河北 廊坊 065201

摘 要: 为了解决智能家居监控存在通信盲区、流量大的缺点, 设计了一种基于激光感知信息的智能家居监控系统, 选取 STM32F103 单片机作为系统核心处理器, 该系统感知层利用由嵌入式控制板、传感器监控节点以及路由器组成的传感设备单元中所包含的激光传感器等传感器, 感知智能家居以及环境信息, 激光传感器利用谐波检测技术检测环境中气体浓度, 完成信息感知后, 利用传感网络组网以及协同信息处理单元的协同信息处理模块处理感知信息, 将完成处理的感知信息发送至网络层, 网络层利用蓝牙、无线通信网络等技术将感知结果传送至应用层, 应用层将监控结果显示至监控显示界面, 在智能家居存在异常情况时, 通过语音报警模块实时报警。实验结果表明, 所设计系统的峰值信噪比在 30 dB 以上, 且具有 270 kb/s 以上的传输速率, 只需检测大约 6 kbit 的数据量就可以对智能家居系统进行有效监控。该系统能有效地监控智能家居温度、湿度、气体浓度等指标, 没有通信盲区。

关键词: 激光; 感知; 信息; 智能; 家居; 监控系统

中图分类号: TN248 **文献标识码:** A **doi:** 10. 14016/j.cnki.jgzz. 2022. 02. 188

Smart home monitoring system based on laser sensing information

ZHANG Weijuan, CHANG Wenhui, LIU Jichao

School of Information Science and Technology, Yanching Institute of Technology, Langfang Hebei 065201, China

Abstract: In order to solve the problems of communication blind area and large flow in smart home monitoring, this paper designs a smart home monitoring system based on laser sensing information. STM32F103 is selected as the core processor of the system. The laser sensor and other sensors in the sensor equipment unit composed of sensor monitoring nodes and routers sense the smart home and environmental information. The laser sensor uses the harmonic detection technology to detect the gas concentration in the environment. After the information perception, the sensor network and the collaborative information processing module of the collaborative information processing unit are used to process the sensing information. The sensing information is sent to the network layer, the network layer uses Bluetooth, wireless communication network and other technologies to transmit the sensing results to the application layer, and the application layer displays the monitoring results to the monitoring display interface. When there is an abnormal situation in the smart home, the real-time alarm is given through the voice alarm module. The experimental results show that the peak signal-to-noise ratio of the system is more than 30 dB, and the transmission rate is more than 270 kb/s. The data volume of kbit can effectively monitor the smart home system. The system can effectively monitor the smart home temperature, humidity, gas concentration and other indicators, without communication blind area.

Key words: laser; perception; information; intelligence; home furnishing; monitoring system

1 引言

家居的舒适化与智能化是人们生活追求的重点, 许多公司已经开发出智能家居产品^[1-3]。智能家居监

控系统指将传感器技术、无线通信等技术与灯光照明设备、环境监控设备等设备有机结合的系统。应用在人们的日常生活中, 可以创建出高效、安全、舒适的生活环境^[3]。避免空气中污染物过多影响人们生活健康^[4-5]。智能家居监测系统应在智能家居以及环境为异常状态时及时报警, 提升智能家居使用安全性。国内研究学者高丽英以及王宗等人分别利用网联车辆以及树莓派远程监控智能家居^[6-7], 实现了对智能家居有效监控, 但存在着终端感知设备类型较少, 触发危险事件后通信延时较高、无法及时报警以及传感

收稿日期: 2021-08-17

基金项目: 河北省高等学校科学技术研究项目 (No.QN2019328)

作者简介: 张伟娟(1985-), 女, 硕士, 讲师, 研究方向: 通信系统与信号处理, 交通信息工程及控制。

通信作者: 常文慧(1985-), 女, 硕士, 讲师, 研究方向: 自动控制技术。

器功耗过大的缺陷。

针对上述研究存在的问题,设计一种基于激光感知信息的智能家居监控系统,利用激光传感器、温湿度传感器等传感器感知智能家居以及环境信息,具有报警功能。通过系统测试结果验证该系统具有运行稳定性高、拓展性高以及实时性高的优势,可应用于智能家居监控的推广中。

2 激光感知信息的智能家居监控系统

2.1 系统总体结构

基于物联网技术所设计系统总体结构如图 1 所示。



图 1 系统总体结构

所设计系统由感知层、网络层以及应用层所组成。系统通过感知层的激光传感器以及温湿度传感器等传感器采集智能家居监控相关数据,传感设备层中包含众多感知设备,利用感知层的传感网络组网与协同信息处理,实现信息协同处理以及传感组网^[8-10]。感知层传感设备层包括照明控制模块、光照控制模块等模块。系统将利用传感器所感知的信息,通过网络层中所包含的通信技术以及网关等信息传输技术传输至应用层,系统所采用主要通信技术包括Wi-Fi、ZigBee、蓝牙等。系统利用应用层实现各项监控服务的支撑以及用户与系统间的交互。利用电脑、手机等设备中所包含的控制软件通过网络实现传感器控制,系统应用层实时显示感知层各传感器的状态以及智能家居的监控结果。

2.2 硬件设计

2.2.1 传感设备单元

嵌入式控制板、传感器监控节点以及路由器组成传感设备单元。通过所设置传感器监控节点感知智能家居以及环境的温度、湿度、气体浓度、光照强度等信息^[1]。利用RJ45 以太网传感器所采集数据通过路由器以及嵌入式控制板传送至智能家居监控应用层。传感设备单元的硬件结构如图 2 所示。

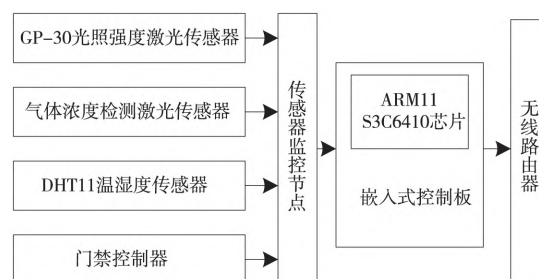


图 2 传感设备单元硬件结构图

该系统采用激光等传感器所感知的信息,利用无线通信网络等技术实现传输^[12],系统主要包括分布式协调以及集中式协调两种通信模式,扩展性较高。

2.2.2 微控制器

选取 STM32F103 单片机作为智能家居监控系统的核心处理器,工作频率可高达 73 MHz。该单片机具有处理速度快,集成性高的优势,可提升系统资源利用率。系统利用总线方式连接微处理器,通过DAM 通道实现系统海量感知信息的传输与存储。STM32F103 芯片内部结构图如图 3 所示。

STM32 芯片与传感器设备层以及通信层利用 RS-232 接口以及 SPI 接口实现数据交互。

2.2.3 语音报警模块

系统的语音报警模块包含中文语音合成子模块、语音播报器、GPRS 模块。选取 SIM800A 芯片作为 GPRS 模块主要芯片,该芯片设置波特率为 116 500 bit/s,将 AT 指令传送至软串口发送报警信息。语音报警模块选取 ASCII 作为模块编码方式,可实现不同语言信息的有效发送^[13-15]。将 GBK 编码应用于语音报警文本格式设置中。系统预先设置固定阈值,传感器所接收信息监控值高于所设定阈值时,利用语音报警模块将报警信息利用文本方式传送至用户显示界面,同时利用语音播报器发送报警语音提示用户。

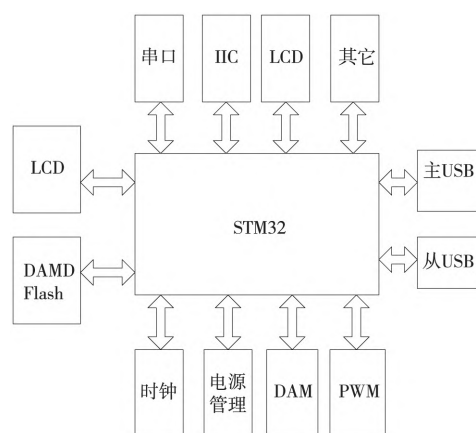


图 3 芯片内部结构图

2.3 系统软件设计

2.3.1 激光感知信息处理

利用激光传感器等传感器感知监控信息后,需预处理所感知数据。通过分类信息,学习信息样本,明

确所需采用监控手段,将监控手段推断结果传送至用户^[14]。选取组合处理方式预处理所采集信息。

智能家居具有较高的智能化,可依据时间参数处理信息,选取线性归一化函数处理信息。

用 $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ 表示所感知智能监控信息集,用 B 表示待监控智能家居信息元素,筛选出信息公式如下:

$$\sigma = \frac{c_1, c_2, \dots, c_n}{\otimes B} \quad (1)$$

利用公式(1)筛选信息,为了令用户接收有用的家居监控信息,需分析用户监控习惯,分析公式如下:

$$C_{\text{norm}} = \frac{C - C_{\min}}{C_{\max} - C_{\min}} \quad (2)$$

公式(2)中, C_{norm} 与 C 分别表示归一化信息数据以及接收信息; $C_{\max}$ 与 $C_{\min}$ 分别表示接收信息最大值以及接收信息最小值。

利用公式(2)分析完成归一化处理后信息样本误差,提升智能家居监控系统的监控安全性^[17]。当信息具有较高模糊性,无法有效处理时,选取神经运算方法估算监控信息,估算处理公式如下:

$$g = \sqrt{e+d} + \eta \quad (3)$$

公式(3)中, η 与 e 分别表示隐层神经元数量以及输入层神经元数量, d 表示输出层神经元数量。通过以上过程预判智能家居监控过程中的模糊信息,并将完成预判的信息输入公式(1)中,完成智能家居监控信息的有效分类,预判分类后信息。分类后信息为安全监控信息时,将智能家居监控信息推送至用户显示界面。

2.3.2 谐波检测技术

气体浓度检测激光传感器利用谐波检测技术检测气体浓度。谐波检测技术通常情况下需与波长调制技术结合,调制激光波长作为基础才可实现谐波有效检测^[18]。利用调制激光传感器驱动电流实现激光波长调制,将强度调制技术应用于谐波调制技术中。

将合适幅度以及频率的正弦信号加入激光器驱动电流信号中,可得激光传感器光强公式如下:

$$I(v) = I_0(v) \times (1 + \eta \sin \omega_t) \times \exp(-\alpha(v) CL) \quad (4)$$

公式(4)中, α 与 η 分别表示吸收系数以及电流调制幅度; $I(v)$ 与 $I_0(v)$ 分别表示探测光光强以及透射光强; C 与 L 分别表示待检测气体体积浓度以及待测气体被光所通过时的光程; v 与 ω_t 分别表示光频以及正弦信号。

激光传感器近红外区所吸收甲烷气体较少,因此,在浓度越低时 $\alpha(v) CL$ 越满足 $= 1$ 条件。智能家居监控过程中设置 $\alpha(v) CL \leq 0.1$,级数展开公式(4)的指数,可得表达式如下:

$$I(v) = I_0(v) \times (1 + \eta \sin \omega_t) \times (1 - \alpha(v) CL) \quad (5)$$

可得激光波长调制后表达式如下:

$$v = v_0 + \Delta v \sin \omega_t \quad (6)$$

设置气体吸收线中心处为激光波长所在位置,可得 $v = v_0$ 。设存在 $x = \Delta v / \gamma$,可将甲烷气体吸收系数转化如下:

$$\alpha(v) = \frac{\alpha_0}{1 + x^2 \sin^2 \omega_t} \quad (7)$$

傅里叶级数展开处理公式(7),可得表达式如下:

$$\alpha(v) = \alpha_0 [k_0 - k_2 \sin(2\omega_t) + k_4 \sin(4\omega_t) - \dots] \quad (8)$$

$$k_0 = \frac{1}{1 + x^2} \quad (9)$$

$$k_2 = \frac{2 [2 + x^2 - 2(1 + x^2)^{1/2}]}{x^2 (1 + x^2)^{1/2}} \quad (10)$$

以上过程可知,激光传感器传送信息时,仅包含直流含量,同时还存在偶次谐波。不同次数谐波中,二次谐波信号属于较强谐波。将一次谐波系数表达式转化如下:

$$I_f = I_0(v) (1 - \alpha_0 K_0 CL)^2 + \left(\frac{\alpha_0 K_2 CL}{2} \right)^2 = I_0(v) \eta \quad (11)$$

通过强度调制造成一次谐波情况,可得二次谐波系数表达式如下:

$$I_{2f} = I_0(v) \alpha_0 K_2 CL \quad (12)$$

对比以上公式,可得:

$$I_{2f}/I_f = (\alpha_0 CL / \eta) k_2 \quad (13)$$

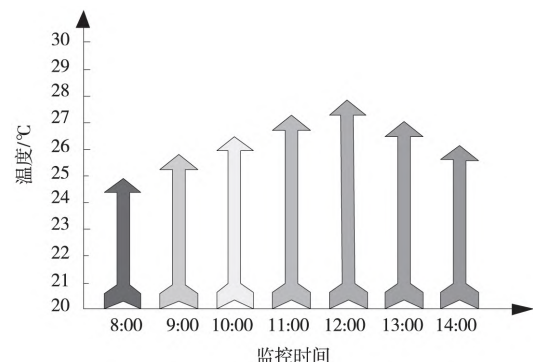
通过公式(13)可以看出,气体浓度与一、二次谐波幅值之比呈正态分布,利用以上过程可获取待监控气体浓度。

分析以上过程,将激光传感器波长固定在较强吸收峰的气体中,利用正弦调制获取与气体浓度相应的二次谐波信号^[19]。激光传感器应用于智能家居监控中时,需设置光源为窄带光源,激光线宽相对于气体吸收线宽可忽略。

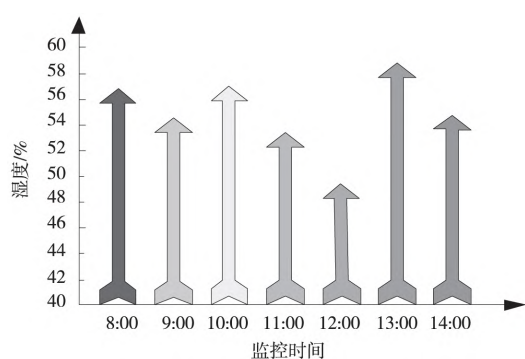
3 系统测试

通过对智能家居监控系统的实验,验证了所设计的激光感知信息监控系统的有效性。利用 C 语言搭建本系统,并选取某实验室作为监控场景,利用本系统中所设置的激光传感器、温湿度传感器等传感器感知智能家居以及环境信息。

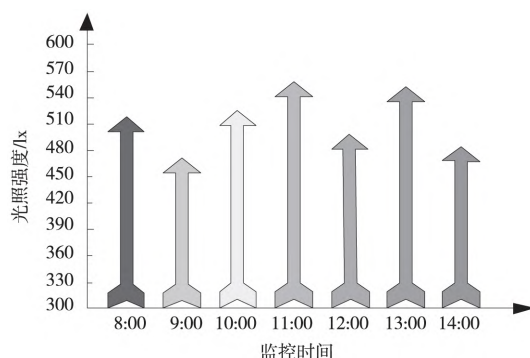
采用本系统监控智能家居温度、湿度、光照强度结果如图 4 所示。



(a) 温度监控结果



(b) 湿度监控结果



(c) 光照强度监控结果

图4 智能家居监控结果

根据图4实验结果可以看出,采用本系统可实现智能家居的有效监控。监测到12:00时温度最高,13:00时湿度大于58%,11:00时其光照强度大于540 lx,说明本系统可实现不同监控时间段温度、湿度以及光照强度监控,可直观地显示监控结果,利用计算机、移动终端以及平板就可实现不同监控指标变化结果。实验结果表明,本系统具有较高的监控性能。

实验设置不同气体标定浓度,本系统利用激光传感器采集家居环境中所包含的甲烷气体浓度进行测试,系统测试结果如表1所示。

表1 甲烷气体浓度测试结果

标定浓度/%	二次谐波幅值/mV	一次谐波幅值/mV	一、二次谐波比	计算浓度/%	检测误差/%
0.000 0	192.546	3 752.64	0.000 000	0.000 8	0.000 8
0.125 6	456.835	3 735.52	0.015 645	0.126 5	0.004 5
0.354 6	715.644	3 684.52	0.035 264	0.384 5	0.005 3
0.568 4	965.54	3 576.52	0.051 324	0.657 4	0.006 7
0.678 4	1 123.52	3 495.25	0.067 852	0.826 4	0.004 8
0.856 4	1 342.64	3 394.52	0.075 641	0.935 4	0.003 5
0.951 3	1 485.64	3 375.25	0.086 524	1.095 4	0.006 4
1.125 6	1 605.21	3 284.64	0.098 465	1.365 2	0.003 8
1.235 4	1 846.52	3 258.64	0.108 564	1.475 2	0.004 2
1.564 8	1 952.64	3 184.52	0.126 485	1.548 5	0.003 6
1.758 4	2 145.85	3 158.64	0.135 484	1.865 1	0.002 9

根据表1实验结果可以看出,采用本系统家居环境中的甲烷气体浓度进行测试,当标定浓度为0时,

系统未检测到甲烷气体的二次谐波为非零状态。由于激光传感器波长调制以及电路和光路中所存在的非线性因素造成系统存在二次谐波状态。当标定浓度为1.758 4%时,采用谐波检测技术可有效采集家居环境中的气体信息,计算出的甲烷浓度为1.865 1%,所采集的甲烷气体浓度与实际甲烷气体浓度极为接近,可提升系统对甲烷气体感知浓度,提升智能家居应用安全性。

从智能家居监控视频中随机截取10幅监控图像,统计采用本系统监控智能家居所采集目标图像数据的效果,统计结果如表2所示。

表2 监控图像效果

图像序号	整帧图像大小/kbit	检测图像大小/kbit	峰值信噪比/dB
1	47.8	5.64	30.52
2	47.5	5.85	31.52
3	46.9	5.46	32.46
4	48.5	5.37	33.25
5	48.3	5.64	31.52
6	48.2	5.85	30.25
7	48.6	5.94	34.25
8	48.4	5.73	31.25
9	47.8	5.16	32.64
10	47.9	5.35	33.85

根据表2实验结果可以看出,采用了对智能家居过程进行系统监控,仅需检测大小约为6 kbit的数据即可实现智能家居有效监控。与原始图像大小相比,本系统的待检测目标图像极小,仅需极少流量即可实现监控图像数据传输,验证了本系统对智能家居系统所需的流量很低。采用本系统监控智能家居监控图像中的峰值信噪比均高于30 dB,说明本系统对监控图像的采集质量较高。通过对监控结果的分析,进一步验证了本系统的监控效果,从而提高了家居监控的性能。

采用本系统监控不同时间门禁情况如表3所示。

表3 门禁监控结果

监控时间	识别率/%	误报率/%	人机交互性能
10:00	98.25	0.84	是
11:00	99.65	0.95	是
12:00	99.24	0.85	是
13:00	99.45	0.75	是
14:00	99.48	0.68	是
15:00	97.45	0.46	是
16:00	96.05	0.84	是
17:00	97.95	0.64	是
18:00	98.54	0.85	是
19:00	95.17	1.85	是
20:00	98.34	0.71	是

根据表 3 实验结果可以看出,采用该设计系统在不同时间段的门禁效果均较高。监控时间为 19:00 时,识别率为 95.17%,误报率则为 1.85%,与其他时间段相比,门禁监控效果较差,主要原因是此时间段的光照强度低,所采集的监控结果清晰度较低,因此,门禁的正确识别率较低。本系统可将门禁进行智能家居监控的人机交互。

测试所设计系统监控智能家居时的信息传输以及监控性能。为了直观地测试本系统的监控性能,将本系统与文献 [6] 系统以及文献 [7] 系统进行了对比,测试结果如表 4 所示。

表 4 传输性能测试结果

	本文系统	文献 [6] 系统	文献 [7] 系统
频谱资源	2 100 MHz	1 800 MHz	900 MHz
带宽	500 kHz	300 kHz	250 kHz
传输速率	大于 270 kb/s	130 kb/s~160 kb/s	170 kb/s~200 kb/s
链路预算	170 dB	130 dB	140 dB
安全性	高	高	中
拓展性	高	中	高
通信盲区	无	有	有
抗干扰性	高	中	高
实时性	高	中	中

根据表 4 实验结果可以看出,本系统用于智能家居的监控,文献 [6] 和文献 [7] 系统的传输速率分别为 130 kb/s~200 kb/s 之间,而本系统的传输速率均大于 270 kb/s。采用本系统监控智能家居具有较高的抗干扰性和安全性,可用于具有较高需求的智能家居监控中。利用本系统可实现不同监控功能的有效应用,具有成本低、拓展性高、运行稳定等优势,验证了本系统具有较高的总体监控性能。

4 结论

设计了一种基于激光感知信息设计智能家居监控系统,该系统利用激光传感器等多个传感器单元采集智能家居信息,利用无线通信技术实现了系统不同模块间的通信。不同监控信息在智能家居中的传输以及处理可利用该系统高速实现。通过实验验证,所设计的智能家居监控系统运行稳定,采用本设计的监控智能家居监控图像的峰值信噪比达到 30 dB 以上,具有超过 270 kb/s 的传输速率,仅需检测约 6 kbit 的数据量就能有效地监控家居系统。该系统能对智能家居设备及使用环境进行有效的监控,提高了智能家居运行的可靠性和安全性。

参考文献

- [1] 江渝川. 基于远程物联网的智能家居图形控制系统的设计和实现 [J]. 电视技术, 2018, 42(10): 147-150.

- [2] 鲍毅, 戴波, 汪志华, 等. 基于灰狼算法的多目标智能家居负荷控制算法 [J]. 系统仿真学报, 2019, 31(06): 1216-1222.
- [3] 卢杨益, 卢春燕, 艾娇娇, 等. 基于边缘计算构建智能家居控制系统 [J]. 建筑技术, 2020, 51(05): 636-639.
- [4] 陈星, 黄志明, 叶心舒, 等. 智能家居情境感知服务的运行时建模与执行方法 [J]. 软件学报, 2019, 30(11): 3297-3312.
- [5] 虞文鹏, 罗招贤, 余顺琴, 等. 基于 ZigBee 无线网络的电源监控系统设计 [J]. 电源技术, 2018, 02(329): 126-128.
- [6] 高丽英. 融合网联车辆的智能家居协同监控系统 [J]. 电子技术应用, 2018, 44(01): 60-64.
- [7] 王宗, 陈德为, 蓝承燕, 等. 基于树莓派智能家居远程监控系统的设计与研究 [J]. 电视技术, 2020, 44(07): 76-80.
- [8] 丁飞, 吴飞, 艾成万, 等. 基于 OneNET 平台的环境监测系统设计与实现 [J]. 南京邮电大学学报: 自然科学版, 2018, 38(04): 24-29.
- [9] 张艳国, 李擎. 基于惯性测量单元的激光雷达点云融合方法 [J]. 系统仿真学报, 2018, 30(11): 311-316.
- [10] 牟海维, 王妙妙, 韩建, 等. 立体视觉感知中的深度敏感信息提取综述 [J]. 激光与光电子学进展, 2020, 57(12): 38-46.
- [11] 刘明明, 裴东, 刘举, 等. 基于时间正则化及背景感知的滤波器跟踪 [J]. 激光与光电子学进展, 2019, 56(23): 230-239.
- [12] 王书宇, 陶声祥, 杨钊, 等. 基于卷积神经网络的激光距离选通式成像目标识别 [J]. 激光与光电子学进展, 2019, 56(02): 40-46.
- [13] 蔡军, 赵原, 李宇豪, 等. 一种三维激光扫描系统的设计及参数标定 [J]. 北京航空航天大学学报, 2018, 44(10): 2208-2216.
- [14] 蔡云飞, 石庭敏, 唐振民. 基于双多线激光雷达的非结构化环境负障碍感知技术 [J]. 自动化学报, 2018, 44(03): 569-576.
- [15] Wang H C, Chang F Y, Tsai T M, et al. Design, fabrication, and feasibility analysis of a colorimetric detection system with a smartphone for self-monitoring blood glucose [J]. Journal of Biomedical Optics, 2019, 24(2): 027002.1-027002.7.
- [16] 邓健, 王立华. 基于 MicroPython 和 CC3200 的智能家居数据采集与控制系统设计 [J]. 电子器件, 2020, 43(01): 141-145.
- [17] 王磊, 何勇, 张宇, 等. 基于便携式语音的智能家居系统的设计与实现 [J]. 计算机工程与设计, 2018, 39(05): 98-103.
- [18] 孟岩, 李少锋, 张亦弛, 等. 面向智能家居平台的信息物理融合系统安全 [J]. 计算机研究与发展, 2019, 56(11): 2349-2364.
- [19] 芮海燕, 高长春, 汤兵勇. 基于大系统大数据的智能家居系统协调控制模型 [J]. 黑龙江大学自然科学学报, 2019, 36(01): 103-112.

自动分拣系统及应用*

刘继超

(燕京理工学院,河北廊坊 065201)

摘要:新世纪在我国经济迅速发展,物流企业是否能够对各自的物流过程进行优化直接决定企业的存亡,而自动分拣环节作为核心环节,本文以自动分拣系统为研究对象,研究了其发展趋势及设备选型,并对其发展前景进行了概括。

关键词:物流;自动分拣;自动化;参数

中图分类号:F251

文献标识码:A

文章编号:1007-9416(2018)04-0220-02

随着我国物流业的发展^[1],其水平和规模不断地提高,现代地物流管理方法得到广泛运用,于此同时,物流基础设施也逐步完善^[2],配套的交通设施也迅速发展,然而我国在物流方面的费用同GDP的比率与其它国外相比,竟高出1倍,此项数据表明我国在物流方面的成本很高。于是引入现代物流技术,实现物流自动化,可以节省劳动力、减少错误率等优势。

自动分拣机可以作为实现物流行业的自动化的重要组成部分,它可以综合采用机、电、光以等先进技术,将关键环节在无人情况下自动进行,例如上包、识别、高速低噪输送等环节,从而提高效率,降低错误率^[3]。

1 设备选型及发展趋势

因自动分拣设备选型是自动分拣系统研究中的重要组成部分,所以对于选型的研究具有重要的研究价值。而设备选型的研究大部分依据物流配送中心的,因物流配送中心不同、配送时期不同和配送时间不同对分拣设备的选择都会有影响,关于自动分拣设备的选

择因人而异。

首先确定自动分拣设备数量和物流中心分检作业成本的关系^[4],随后由单位作业成本着手,根据不同的自动分拣设备的成本等因素的分析,进而建立简单的模型,测试结果显示分拣设备的效率影响设备成本、时间及人员数量,却不影响总的数量,进而减少了自动分拣设备的数量,降低了成本,克服了传统的方法的择随意性,可使系统优化。

物流自动化水平不断提高,给自动分拣系统的发展提供了动力,我国物流自动分拣系统主要是满足业务量的剧增及人们的物流服务水平需求。主要的趋势主要有以下几个方面:

1.1 系统可靠性增强

随着物流业的发展使物流业的成本也越来越高,首先经过了粗放式的发展方式,物流业此时需要选用自动分拣系统可提高分拣得效率,降低分拣的错误率,进而使系统更加稳定和可靠,同时降低成本。

1.2 设备大型化

总额逐年增长,物流的规模也随之不断扩大,对需要分拣的种类和数量要求越来越多,所以采用大型的分拣设备才有可能满足分拣要求,也就是说设备大型化是必然要求。

1.3 增强信息化

物流业自动化需要信息和物资高度统一,它要求采用单片机、计算机等信息设备,以自动分拣流程为基础,实现自动分拣,最大可能的实现信息流与物质流的自动化。

2 分拣机的结构图

自动分拣机的总体结构图如图1所示,此图主要是以分拣作业流程的交叉带式的自动分拣机的系统结构,主要包括三个部分,分别是主控和驱动控制、小车及供包机,这些都通过现场总线和红外收发器等连接在同一个局域网中。主要环节如图1。

(1)主控制计算机负责完成各种信息的处理,实现整体控制,数

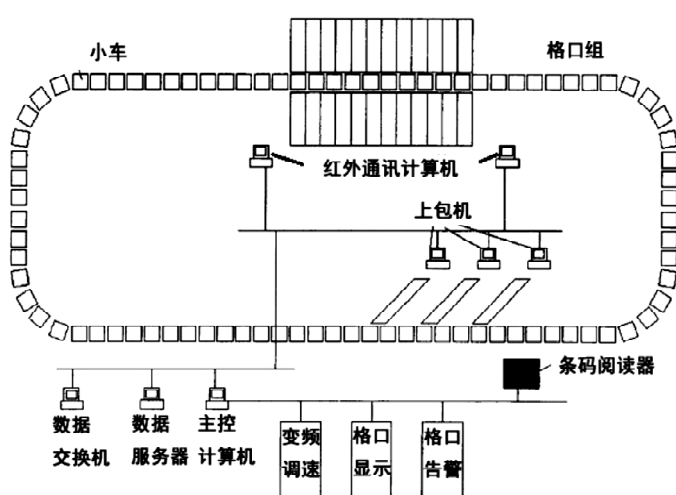


图1 自动分拣机总体结构示意图

收稿日期:2018-03-09

*基金项目:河北省科学技术厅项目:交叉带式自动分拣机控制系统设计研究(16210905)

作者简介:刘继超(1982—),男,河北三河人,硕士,副教授,研究方向:自动化检测。

表1 自动分拣机工作环境限制示意图表

温度 (°C)	-5~40	频率 (Hz)	50±1
相对湿度 (%)	40~85	相对湿度变化率 (%/h)	≤±10
额定电压 (V)	三相 AC380 (1±10%) , 单相 AC220 (1±10%)		
温度变化率	≤±0.5 °C/min, ≤±10 °C/h		
接地电阻 (Ω)	≤4 (交流供电和安全保护地), ≤2.5 (控制室直流)		

表2 主要指标参数示意图表

效率 (件/h)	5400、7200、9600 三个级别可以调整
差错率 (%)	≤0.01
条形码拒识率 (%)	≤2
分拣邮件破损率 (%)	≤0.01
噪声水平 (dB(A))	≤70 (平均), ≤72 (最大)
连续通电时间 (h)	≥6
设备寿命 (h)	≥50000
上包效率 (件/h)	≥1000

数据库服务器用于存储各种数据,分拣信息通过交换机接收,这些包件地址是主控系统控制的基础。

(2)驱动控制系统为了充分协调电机参数,驱动控制系统包含规格信息,还需包含重量动态称等信息的测量,随后还须有阅读器,使其能通过扫描,最终获得条形码信息,此信息用于主控系统,所以说驱动控制系统是最有技术含量的阶段,各环节相互配合,直接影响分拣的准确性。

(3)小车及供包机系统是最后一个阶段,将运送到目的地址,完成分拣过程,相互配合,共同保证成功送达,缺一不可。小车系统除了有条码识别装置、直流电机、运送小车,还需要包括环形轨道在内的一整套的输送动力装置,此外还要有一套小型的控制系统,用以对控制输送过程,来自主控系统的信息经红外接收器接收,并经电机调整实现控制输送过程,而信息是通过条码处理而得到。

供包机系统是通过和小车系统相配合而完成得,经识别格口信息从而显示控制小车的具体操作,从而保证了高效性,所以供包机系统还有一个信息显示装置。

3 关键参数

为了加强交叉带式的分拣机的可靠性,须对其环境采取一定的限制,随着物流业的发展和自动化的推进,对自动分拣机的参数也有了新的要求。如表1所示。自动分拣朝着智能化的方向发展,使其能够有效的监督和控制,通过发送指令完成操作,同时分拣设备会越来越人性化,改善劳动条件,从而降低强度。

随着世界经济一体化的加快,物流业的发展必然走向融合,物流企业要提升竞争力,须促进设备的标准化,实现与国际的物流无缝集成,这需对相应的接口进行改造,才能实现国际化的对接,下面是主要的指标参数,假定车节距是1m,从而增强应对能力。如表2所示。

4 结语

随着物流业繁荣的发展,人们对物流行业的要求越来越高,随之带来的是自动分拣设备的选择越来越青睐于环保材料,甚至是有环保特性的某些产品,所以自动分拣系统的运行越来越看重某些具体指标,例如降低系统运行噪音、减小能量消耗等等,自动分拣系统越来越有广阔的发展前景。

参考文献

- [1]连玉菲,尚清,段宝京,庞国勋,任炳楠,曹格溪,董占军.DS8000智能分拣系统在我院PIVAS的应用效果[J].中国药房,2017,28(07):933-937.
- [2]王志珍,张涵跃.智能小车在物流分拣系统中的应用[J].物流工程与管理,2018,40(03):67-69.
- [3]Sathish Paulraj Gundupalli,Subrata Hait,Atul Thakur. A review on automated sorting of source-separated municipal solid waste for recycling[J].Waste Management,2017,60.
- [4]赵建华,陈景游.基于PLC控制的零件高度自动分拣系统设计[J].工程技术研究,2017(05):228-229.

Automatic Sorting System and Application

LIU Ji-chao

(Yanching Institute of Technology, Langfang Hebei 065201)

Abstract: Since the 21st century, China's economy has developed rapidly. The key factor to the survival of the logistic enterprise is whether they can optimize their logistic process. Automatic sorting is the core part of optimizing logistic process. This paper studies the development trend and equipment selection of automatic sorting system, and summarizes its development prospect.

Key words: Logistics; automatic sorting; automation; parameters

物联网技术在智能农业中的应用

Application of the Internet of Things in the Intelligent Agriculture

白彦霞 BAI Yan-xia

(燕京理工学院信息科学与技术学院,廊坊 065201)

(College of Information Science and Technology, Yanching Institute of Technology, Langfang 065201, China)

摘要: 物联网技术是传感技术、互联网技术、通信技术等综合的产物。把物联网技术引入温室大棚,实现远程监控与管理,改变传统的农业管理经营方式,降低成本,提升农业生产效率。

Abstract: The Internet of Things technology is a comprehensive product of sensor technology, Internet technology, communication technology and so on. The Internet of things technology is introduced into greenhouse to realize remote monitoring and management, change the traditional agricultural management and operation mode, reduce costs and improve agricultural production efficiency.

关键词: 物联网技术; 传感技术; 互联网技术; 通信技术; 智能农业

Key words: the Internet of Things technology; sensor technology; internet technology; communication technology; the intelligent agriculture

中图分类号: TP391; TN929.5

文献标识码: A

文章编号: 1006-4311(2020)10-0209-02

DOI: 10.14018/j.cnki.cn13-1085/n.2020.10.081

0 引言

随着网络和通信技术的迅速发展,物联网技术的发展也不断升华,国家工业和信息化部在2012年2月14日发布了《物联网“十二五”发展规划》,从此,物联网技术被提升到了国家战略性高度。同时,为智能农业的发展提供了机遇。

中国是世界上的农业大国,农业在国民经济中占据着重要地位。为了改进传统农业的生产方式,提高生产效率,应用新技术满足农业现代化发展的需要。所以,在农业生产中引入物联网关键技术,加快农业现代化、信息化建设的进程尤为重要。基于物联网关键技术的智能农业通过RFID技术、M2M技术、传感技术、数据挖掘与处理技术等的应用,利用公共互联网(Internet)和无线网络(GPRS、3G等),将农业现场底层的感知设备如各种传感器、监控设备、农机设备等入网关联。感知层检测的各种信息通过网络传输到最高层即系统的应用层供用户查看和管理。这样,用户通过监控可实时查询农业大棚或田间的状况以及所有的设备信息,并且可以远程遥控相关的农业机械。此外,当农业大棚或田间有突发情况发生时,系统会自动启动报警装置及时通知用户。

课题项目: 河北省高等学校科学技术研究项目,项目名称: 物联网关键技术在智能农业中的应用研究。

作者简介: 白彦霞(1979-),女,河北晋州人,副教授,工学硕士,研究方向为信息检索、检测及仪表等。

15CrMoG,怀疑为气割残留物,对附近吊挂管进行扩大检查,未发现其他问题,至此该起少见的超临界机组低温过热器吊挂管长期过热问题得已解决。

4 结论

根据对爆口及取样位置的实验分析,爆口附近区域外观轴向裂纹明显,外表面存在大量氧化皮,金相组织珠光体球化严重,极限强度明显低于GB5310-2008标准要求,符合长时过热特征,因此引起爆管的主要原因为异物阻塞造成的长时过热。

5 建议

①建议采用内窥镜、X射线探伤等方法对爆口附近吊

目前,物联网技术在农业领域的应用得到了快速的发展,并且前景广阔。物联网技术是加快农业现代化发展的重要途径,更是农业领域研究的热点。

1 物联网技术

物联网即“物物相连的互联网”,物联网技术是指通过传感器技术、RFID技术、GPS技术、无线传感技术等将信息传感设备与互联网相连接,按约定的协议,以实现智能化识别、定位、追踪、监控和管理的一种网络技术。通过物联网技术对各种设备进行识别、管理以及信息的交换和传输。将物联网技术应用于农业,其最大的优点就是降低成本、提高经济效益。当前,物联网技术一直处于不断探索、升级的状态,一般将物联网分为3个层次:感知层、网络层、应用层。

2 基于物联网的智能农业

现代农业正在朝着智能化的方向发展,物联网技术起了关键作用。通过将物联网技术应用于农业生产的全过程,实现优化农作物的生长环境参数,提升农产品的品质与质量,改变传统农业的弊端及粗放的生产方式,高效利用各种农业资源,真正实现农业现代化。

2.1 智能农业中的物联网技术

基于物联网的智能农业系统包括智能农业感知层、智能农业网络层和智能农业应用层三个层面,其中智能农业感知层是智能农业系统的核心层,该层主要包括了农业大棚中安装的各种各样的传感器,以此来实现对各种环境参

挂管进行扩大检查,确认是否存在异物堵塞;

②建议下次检修对爆口管及附近管道进行复检;

③加强对割管、换管作业的监督管理,规范操作流程,规避风险。

参考文献:

[1]郑文超. 锅炉低温过热器吊挂管断裂原因分析[J]. 黑龙江电力, 2015, 37(06): 554-556.

[2]方鹏,赵坤超. 亚临界燃油锅炉屏过吊挂管爆管事故原因研究[J]. 城市建筑, 2013(24): 301.

[3]田林. 循环流化床锅炉中温过热器爆管原因分析[J]. 价值工程, 2015, 34(16): 153-154.

数如光照度、温度、二氧化碳含量、湿度的检测与监测。感知层所采集的各种参数实时传送到信息监控平台,大棚管理人员通过信息监控平台随时查看大棚内农作物的各种环境生长信息,根据当前信息和历史信息对农作物的生产环境进行优化、控制和管理。计算机通过对采集到的环境信息进行整合、分析、处理,寻找一种最有效的处理算法,将多传感器采集到的数据最终进行融合,从而提高数据的传输可靠性,有效解决数据传输中拥堵化及能耗等问题。

通过智能农业系统科学的、合理的指导整个农业生产过程,可以大大的提高产量和工作效率,实现对农业种植大棚的自动化、智能化的管理。

2.2 智能农业系统整体框架

基于物联网的智能农业系统包括采集数据层、传输数据层和控制管理终端三个部分,它们分别对应物联网的感知层、网络层和应用层。采集数据层的功能是采集农业大棚内的各种自然环境参数,通过传输数据层将各种数据信息传输到控制管理终端。控制管理终端对接收到数据进行分析、储存,并且把最终汇总的数据结果呈现给用户。系统总体结构方框图如图1所示。

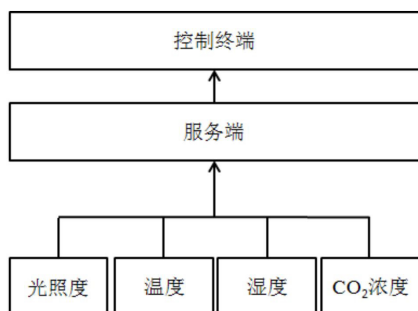


图1 系统总体结构方框图

基于物联网的智能农业系统通过各种传感器自动感知农作物的各种生长环境信息,不仅节约人工成本,而且系统所采集的数据经过科学分析之后更能客观的反应农作物的真实生产环境,从而避免了人工感知生长环境的主观性以及不确定性。

2.3 智能农业系统中的数据处理

2.3.1 数据采集

本系统采用集中式数据采集,如图2所示,数据采集的过程为 光强传感器和 CO_2 浓度传感器分别检测大棚内光照强度和 CO_2 的浓度,温度传感器和湿度传感器同时检测温室温湿度和土壤温湿度。所检测的数据实时的通过信息采集终端传输到数据采集器,数据采集器对数据信息进行分析、处理之后,存储到数据库中,以备实时查看。

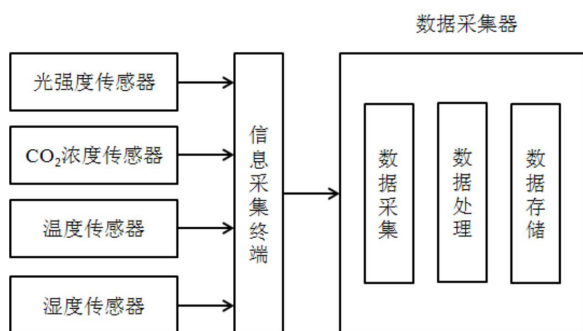


图2 集中式数据采集方式

2.3.2 数据传输

智能农业系统中数据传输在整个系统中起着十分重要的作用,为了高效、准确、及时的传输所采集的信息,本系统采用基于 Zigbee 技术的无线传输技术。Zigbee 技术实现方便、容易扩展,适合农业大棚这类工作量小、传输距离短的场合,所以,将 Zigbee 技术嵌入到相关设备中,方便实现定位查找。本系统中用来采集信息的设备主要是各种能耗较低的传感器,通过 Zigbee 技术将采集的数据信息传输到数据终端。

2.3.3 数据存储

数据存储器实时的存储数据终端上采集到的各种数据信息,通过对各种信息的实时监测了解农作物的生长状态,另外,可以根据整个生长期数据的监测与分析去构造农作物生长的数学模型。

该系统利用 SQL Sever 数据库对采集终端采集的光照度、温度、湿度、 CO_2 浓度四类数据进行记录,每一类数据都具有有一些属性,比如 数据值、采集位置、采集日期、采集次数等等。通过数据库对四类数据按照属性进行记录,可以方便的实现数据的实时检索、编辑和删除。

2.3.4 数据处理

智能农业系统感知层中的各种传感器检测到的数据可能存在坏值,数据处理部分要对这些坏值进行检测和处理,所采用的方法是数据融合处理技术,有效的检测并剔除了坏值。数据融合技术是处理无效数据的重要方式,本系统通过将多个传感器测量结果与数据融合技术有机集合,弥补了单个传感器检测参数可靠性差的缺陷,提高了智能农业系统感知层的可靠性,增加了测量数据的整体有效性。

针对单个传感器检测数据的不确定性和局限性,数据处理过程中采用自适应加权融合技术处理,由此可以得到关于被测对象的重复性描述和解释,以便检测数据的有效性,从而提高测量结果的准确率。通过对数据一致性的分析,排查数据之间是否具有较大的差异,因为数据之间如果存在较大的差异,那么说明有些数据是无效数据或者说是坏值,这样的值应该剔除。检查的方法是,观察测量值与假定真值之间是否存在较大的差距,如果差距较大超过一定的范围就认定其为无效数据,将数据从中剔除,有效数据经过数据融合算法得到最终大棚环境的实时信息。

3 结束语

本系统将 Zigbee 节点技术和 Zigbee 协议应用于数据采集与传输系统中,应用物联网技术、传感器技术、数据融合技术等对智能农作物的生长过程进行检测和监测,采集生产环境的温度、湿度、光照度、 CO_2 浓度四类主要的参数,再通过基于自适应加权平均值的数据融合技术对所采集的数据信息进行分析与整合,使用 SQL Server 数据库存储和查询各种数据信息,为智能农业的发展提供技术保障。

参考文献:

- [1] 白彦霞,云彩霞,李珊等.多层的贝叶斯网络检索模型[J].计算机工程与应用,2009,45(16):165-168.
- [2] 白彦霞,莫德举,程杰.基于语义扩展的复合贝叶斯网络检索模型[J].控制工程,2019,26(3):602-607.
- [3] 欧文.物联网技术及其在农业生产中的应用研究[D].昆明:昆明理工大学,2015.

电力系统自动化控制中的智能技术应用研究

段昱臻, 任文凤, 郭悦

燕京理工学院, 河北廊坊 065201

摘要: 目前, 我国电力系统自动化控制已经迈进了安全、可靠、经济的发展方向, 自动化控制显著地提升了电力系统的运行效果。为了进一步优化电力系统的自动化控制, 电力企业正在不断加强对智能技术的应用研究, 希望通过智能技术来全方位、综合性地提高电力系统自动化控制的整体性能。为此, 本文通过阐述电力系统自动化控制与智能技术的相关内容, 以期发挥智能技术的控制优势, 确保能够进一步改善电力系统自动控制功能, 以保障电力系统运行的稳定性和高效性, 并为电网智能化的实现奠定基础。

关键词: 电力系统; 自动化控制; 智能技术; 应用

1 电力系统自动化与智能技术的概述

1.1 电力系统自动化

电力系统自动化, 是计算机控制技术和信息通讯技术的基础, 将各种控制装置和通讯装置应用到电气设施中, 来实现对电力系统运行的自动化控制。其具备了对电力系统运行进行分层分级、全天实时地自动检测和自动调控的功能, 主要目标是保证电力系统整体运行能够安全可靠, 提升电能供给的效率和质量。为进一步实现电力系统自动化, 应当多维度地加强电力管理工作, 不仅要优化系统结构, 还须改善技术应用, 才能真正有效地运用电力资源, 最终提高电力系统的经济效益和管理效能。

1.2 智能技术

与欧美的发达国家相比, 我国电网对于智能技术的研究起步相对较晚, 电力网络还未实现真正意义上的完全自动化。但近年来, 随着智能技术研发力度的加大, 社会逐步认识到智能技术在实际应用中具备多样性、时效性以及适应性等特点, 使得越来越多的企业开始重视对智能技术进行优化和创新。其中, 电力领域就将智能技术融入电力自动化控制系统当中, 使得电力自动化控制系统的性能功用以及运行效果得到了显著提升。

2 电力系统自动化控制中智能技术应用的优势

2.1 提高工作效率

电技术人员想要发挥出综合智能技术控制的作用, 需要对电力系统的复杂情况进行分析, 结合控制目标来进行灵活运用, 这样不仅可以实现电力系统的智能化管控, 还可以达到精

准化控制。电力系统中需要处理大量的数据, 这些数据并不仅仅局限于单一领域, 还包括其他领域的的数据, 这就需要利用智能技术对这些数据进行收集并深入分析, 提高对数据处理的效率, 保证数据处理的准确性。将智能技术应用到电力系统中可以有效促进电力数据计量的自动化。

2.2 节约成本

电力系统不仅是电流系统, 也是数据流系统, 所以要想实现电力系统自动化, 就要对电流数据进行有效处理。然而传统的数据处理主要是依靠人工, 需要消费大量的人力物力和财力, 但是智能技术应用到电力系统中可以很好地避免数据处理失误问题, 并且有效地进行了资源整合, 避免浪费, 节约了工作成本。

2.3 分享信息资源

当今世界是一个信息化的世界, 信息资源是一笔巨大的财富。电力系统涉及的专业领域较多, 数据涵盖面也十分丰富, 在实际的使用过程中, 应借助智能技术实现信息资源在客户范围中的传递, 使电力系统能够更好地为用户提高优质服务。比如将智能技术应用到电力系统中, 可以有效分析区域的电力信息, 针对不同地区对电力的需求进行合理的区域调度, 有效地实现了电力系统运行的稳定。

3 电力系统自动化控制中的智能技术

3.1 专家系统管理

通过调查发现, 目前专家系统在电力系统中的应用较为广泛, 主要应用于预警或应急系统的实际识别、静态安全和动态安全分析以及计算机接口等领域。虽然其适用范围非常广泛,

但仍有一定的局限性^[1]。电力系统内部数据库的具体验证非常复杂,在部分情况下,无法对复杂问题进行有效分析。对此在实际开发系统的过程中,必须重视专家系统本身的成本效益分析,并对系统的运行效率和获取知识的方式进行分析,以提高系统应用的效率。

3.2 线性最优控制

最优控制是近年来提出的一个全新概念,是现代控制理论的重要内容之一,也是最优理论实际应用的具体表达。根据相关研究数据,线性最优控制是现代控制理论中最普遍的分支,也是最成熟的分支。采用最佳励磁控制方式,可有效提高远程电路的传输效率,同时优化动态质量。因此,在大型机组的情况下,员工应加强励磁最优控制,其作为经典励磁的替代方法,能有效提高工作中的控制效率。因此,从上述情况可以看出,最优管理具有较大的应用价值,在发电中起着重要作用。然而,由于这些控制器本身主要针对局部线性模型,因此在一些非线性电力系统中,它们对大干扰的控制不符合既定要求。

3.3 神经网络控制

神经网络系统是智能技术中比较常见的一种技术手段,可以综合利用其中的核心技术,对控制理论和人脑神经理论进行分析,如此即可做到技术的创新和突破。在应用技术的过程中,应认识到智能技术是线性技术,是相对于人工控制的突破。而且在自组织学习能力和管理控制能力中也比较强,所以人员在利用神经网络的过程中,需要注意到这种技术的应用方式,结合神经控制的特点,这样才可以做到综合应用。神经控制网络在应用中存在一些不足,由于自身的计算能力只能从事一些低等级计算活动,所以在应用的过程中,神经网络技术一般是同其他智能技术进行组合应用,这样才可以将神经网络技术的效果发挥到最大^[2]。在应用的过程中,将神经控制系统和其他智能化控制技术结合在一起,可以对数据信息做到综合分析,并且利用指令,对其中的每个过程实现全面控制。例如对电力系统中的每个数据进行分析时,可以了解到电力设备的整体损耗情况和了解到电能总的使用情况。这种控制方式的出现,对电力系统整体自动化控制目标的实现具有一定的重要意义。

3.4 综合智能控制

综合智能控制技术也是智能技术的一部分,是人员利用多种控制系统展开应用的一种技术。当前的电力系统控制比较复

杂,尤其是其中的数据信息含量比较大,传统的计算机分析技术无法对其中的信息做到有效疏通。所以想要稳定电力系统自动化发展,需要结合相应的大数据内容进行分析,进而推动对电力系统的有效管控。对于综合智能控制技术而言,想要全面应用这种系统技术,需要注重综合系统智能化控制中的综合应用。像工作人员采用专家控制系统和神经网络系统组合的过程中,可以将二者进行结合应用,这样不但可以提高模糊控制系统的层次,还可以规避专家控制系统的成本,保证专家控制系统在决策的过程中具有一定的效果。

3.5 模糊控制技术

模糊控制技术是当前智能技术的重要组成部分之一,也是我国电力自动化系统中最为常用的智能技术之一,其主要是以数学理论为基础,以数学逻辑推理作为此项技术应用的基本路径,从而形成了一种全新的技术体系。从以往我国电力系统自动化中对模糊控制技术应用情况来看,其应用效果较为理想,具体应用环节体现为以下几个方面:首先,由于整个电力系统的运行离不开模糊控制技术对多种动态影响因素的有效控制,因此要保证此项技术可以在电力系统运行全过程中有效落实。并且,模糊控制系统的应用不仅可以实现对影响因素的准确分析,还可以对多种不可控因素进行有效转化,提升其可控程度。传统的人工计算方式,经常会出现计算准确性不高的现象,容易出现数据误差,模糊控制技术的应用可以有效辅助以往的人工计算工作开展,保证了所得数据的准确性;其次,应用此项技术能够对当前人脑决策流程进行模拟,保证了决策逻辑环节的缜密性,进而提升了最终决策方案的可执行性。

4 电力系统自动化控制中智能技术的应用策略

4.1 前期的规划设计

在电力系统自动化控制工作中融入智能化技术时,需要做好前期的规划以及设计,提供丰富的技术支持,逐渐增强智能化技术和电力系统自动化控制的契合度,明确主要的管理任务以及管理目标,使电力自动化运行能够具备较高的平稳性^[3]。在实际规划时需要考虑产品结构以及技术要求等等,根据当前的控制现状,持续优化智能化技术本身的使用模式,使整体控制质量能够得到充分的保证,同时还需要根据自动化控制的发展方向获取较为广阔的发展空间,将智能化技术融入不同的发展环节中,从而使电力系统自动化能够具备较强的动力和技术支持。

4.2 电力设备中的应用

智能化技术在电力设备中的应用也为重要的组成部分,由于这一技术是通过编程记忆实现自动化的控制,故而可根据电力设备的需求进行有效融合。在实际工作中需要设置相对应的短路保护,通过智能信号控制和智能电流传感器的安装,使保护效果得到全面增强,保障较强的稳定性。在实际使用的过程中,还需要根据实际的工作需求,持续优化智能化技术本身的实施模式,还应注意各个硬件设施的升级,结合时代发展需求掌握行业的发展趋势,并融合智能电网技术的发展方向,将不同技术方案进行有效调配,以此来优化当前的工作方案,使电力系统自动化控制效率能够得到全的提高。另外也可以将自动交换系统和电力自动化相互进行融合,搭建组合式的工作方案,从而更快地完成自动化控制的速度,使响应速度能够有效增强。如此,在电力自动化中如果出现突发事故时,可以利用自动化控制以及智能化技术进行信息的快速响应,方便技术人员在短时间内提出有效的应对方案,逐渐增强电力系统自动化的控制效果,满足当前的使用要求。

4.3 控制模块中的优化

在控制模块实施的过程中,需要根据整体的工作要求,融入先进的智能化技术,满足多样化的使用功能。在智能化技术实施的过程中,需要逐步完善智能传感器和消防互联网等新型的技术方案,为实际工作提供重要支持。例如可以在现有电力系统自动化控制基础上增加智能传感设备,从而全面了解实际的生产情况,方便后续工作的顺利进行。另外还需要提高智能化技术本身的远程控制效果,考虑顺序控制的要求,对此可以配合云计算技术和物联网技术实现对各个元器件的实时控制,逐步转变以往的控制模式,凸显现代化的工作思路,使智能化控制效果能够得到全面提高^[4]。在控制程序中还需要符合智能消防通信的要求,融入最新的通信方案,在网络驱动器中加快信息传递的速度,从而为后续救援工作的顺利实施提供重要的基础。另外在实际工作中也可以融入人机交互技术以及仿生行为等等,按照整体的工作标准来创新当前的工作方案,并且和智能照明和安全总系统相互的连接。在发生突发情况时,可以快速地完成任务的有效传递,保障电力系统的安全性。

4.4 抗干扰的提升

在以往,电力系统自动化控制中存在的干扰问题较为突出,因此在实际工作中需要充分利用智能化技术,以解决传统

难题,提高系统本身的抗干扰能力。在技术实施的过程中需要实现控制资源的共享,根据以往常见的干扰问题修复系统本身的漏洞,并利用智能化技术进行有效的监测,避免出现较为严重的干扰问题,保证系统的平稳运行。

5 电力系统智能技术的未来发展

5.1 智能实时控制

实时智能控制可以有效地控制系统中的所有数据,完成对工作的分析判断。实时控制技术的不断改进,使得电力系统本身目前的运行模式得到了实质性的优化和提高,同时最大限度地减少了不稳定的负面影响^[5]。此外,实时智能化管理可以大大降低发生事故的可能性,也可以减少能源损失,从而降低企业资本投资成本,为电力系统未来的发展创造有利条件。

5.2 人工智能故障诊断

在系统故障早期发现的具体过程中,通常采用统一理论来确定和分析一种故障类型,这种方法效率低,局限性大。因此,传统的诊断方法基本不能满足现代社会发展的实际需要。只有在动态和静态环境下对整个系统的运行故障进行人工诊断和分析的方法才能做到这一点。由此可知,人工智能故障诊断将是未来电力系统的主要发展方向。

6 结语

在当前电力自动化中融入智能化技术的优势较为突出,能够促进各个系统的平稳运行,减少矛盾问题的发生,因此在实际工作中需要在关键节点融入智能化技术,做好不同节点的科学控制,快速传达相关的信息,重视警报信息的发布,提升部门的响应速度,解决现场中所存在的安全隐患,从而使电力自动化设备运行能够具备较强的平稳性。

参考文献

- [1] 王飞鸣. 电力系统自动化中智能技术的应用[J]. 微型电脑应用, 2021, 37(3): 131-133.
- [2] 葛长锐. 电力系统自动化控制中的智能技术应用探讨[J]. 科学与信息化, 2021(15): 6-7.
- [3] 周甜甜. 人工智能技术在电力调度自动化系统中的应用探析[J]. 电子元件与信息技术, 2021, 5(10): 210-211.
- [4] 王川, 张杰, 李伟, 等. 人工智能技术在电力调度自动化系统中的应用分析[J]. 科技创新与应用, 2021, 11(12): 149-151.
- [5] 朱友林. 智能技术在电力系统自动化中的应用分析[J]. 大众用电, 2021, 36(11): 49-50.

基于 FBC 的 DFIG 网侧 PWM 变换器独立控制

段昱臻

燕京理工学院, 河北 廊坊 065201

摘要: 双馈风力发电系统中, 网侧变换器(Grid-side Control, GSC)常采用 PWM 整流器, 由于其结构原因, 电能回馈速度较慢, 在常规轴分别控制的方法下, 系统的动态响应速度较慢。当风速变化时, 缓慢的动态响应可能导致系统在暂态过程中直流电压出现较大超调, 甚至最终发展为不可控系统。而系统的动态响应很大程度上取决于控制器的性能, 本文针对三相 PWM 整流器是一个多变量、强耦合的非线性系统, 建立起其数学模型, 并开展基于微分平坦(Flatness-Based Control, FBC)的 PWM 整流器非线性控制策略研究, 因采用前馈动态精确解耦, 能够实现网侧电流正弦化及单位功率因数运行, 动态性能较传统 PI 控制明显提高。最终通过 Matlab/Simulink 进行仿真实验, 验证了基于微分平坦的网侧 PWM 变换器控制策略的正确性以及优越性。

关键词: 双馈发电机; FBC; GSC

中图分类号: TM315

1 绪论

进入 21 世纪后, 传统能源枯竭问题已十分显著, 随着人类对能源需求的不断增长, 风能、光伏等新能源逐渐进入我们的视野^[1]。风能以其能量巨大且容易规模化开发的优点受到国内外学者的青睐, 发展至今技术已相对成熟。由于双馈感应电机(Doubly Fed Induction Generator, DFIG)具有励磁容量小、动态性能好等优点受到广泛关注, 它的运行性能主要取决于对与之相连的励磁电源的控制性能。随着双馈风力发电系统的大容量发展, 对励磁电源的控制性能也有了更高的要求, 因此研究双馈风力发电系统双 PWM 变换器的改进控制策略具有重要意义。

本文以 DFIG 的 GSC 为控制对象, 研究了基于 FBC 的 GSC 独立控制。对 GSC 进行控制的目的是: 维持直流母线电压恒定, 保证交流侧电压、电流同相位且交流侧输入的电流具有较高的正弦度, 同时参与电网的无功调节, 提高双馈风力发电系统并网运行能力。常用的 GSC 控制方式有:

1.1 电流控制技术

电流控制技术包括间接和直接两种控制方式^[2]。间接电流控制通过控制 GSC 交流侧电压基波幅值和相位, 间接控制交流侧电流, 控制过程简单, 但存在直流电流偏置、动态特性较差等缺点, 很少用于实际控制; 直接电流控制是通过网侧交流电流跟踪指令的直接

控制来达到控制目标, 响应速度快、鲁棒性好, 目前在各种控制方法中占主导地位。

1.2 直接功率控制

直接功率控制(DPC)通过对有功、无功瞬时功率的直接控制, 来间接控制电流, 用以实现 GSC 的控制目标^[3]。相较于矢量控制, DPC 功率因数高、动态特性好。但 DPC 对有功、无功功率的控制是通过滞环的方法实现的, 得到的开关频率不断变化, 给网侧滤波器的设计带来麻烦^[4,5]。

1.3 自适应控制

自适应控制是 1954 年由 Tsien H.S. 提出的, 这种方法通过实时修正自身特性来适应对象的变化, 对系统数学模型的精确性要求不高。但数学模型的建立复杂, 控制系统难以实现^[6]; 对非线性系统的控制性能较差, 故通常与其他方法结合来实现更优的控制。

1.4 神经网络

神经网络法在提出 40 多年后被应用于控制领域^[7]。PWM 控制系统中电流控制是一种非线性控制, 可以通过离线的方式训练一个神经网络控制器来代替滞环控制器, 并能保留滞环控制的优点。缺点: 物理意义不明确, 计算复杂; 硬件实现技术没有突破, 难以在实际控制中采用。

现阶段虽然各种控制方法层出不穷, 但传统控制方法的地位仍然不可撼动, 这是因为它的技术已绝对

收稿日期: 2024年08月13日

作者简介: 段昱臻(1994—), 女, 汉族, 研究生学历, 讲师, 研究方向为风力发电。

成熟且实现简单。但也需要做一些改进使其控制性能达到最优。功率器件从其数学模型来看是非线性的，故许多研究人员将精力集中于对非线性控制方法的尝试与研究，但这些研究还不完善，不可实际应用；智能控制在理论上不需建立严格的 GSC 数学模型，但它仍停留在仿真阶段。虽然这两类控制现阶段还不能用于实际控制中，但随着它们控制技术的日臻完善，必将用于广阔的应用前景。

基于以上分析，本课题针对双馈风力发电系统网侧 PWM 变换器是一个强耦合、非线性系统，研究基于平坦理论的 GSC 非线性控制，以实现网侧 PWM 变换器高动态性能控制。

2 微分平坦控制理论

由于双馈风力发电系统是非线性动态系统，为使系统对参数变化和外来扰动的鲁棒性和适应性满足控制要求，必须采用非线性控制方法^[8]。

上世纪 90 年代，随着非线性控制的发展，Fliess 提出基于平坦系统的控制 (Flatness-Based Control, 简称 FBC) 这一新型非线性控制方法^[9,10]，随后 Martin^[11]、Murray^[12] 以及 Van Nieuwstadt^[13] 等对此法进行了深入研究。对于任一非线性系统，若它经坐标变换后可转化为线性系统，那么我们认为该系统具有平坦输出。FBC 具有以下优点：具有明显的几何特征，不受坐标选择的影响，可以简化系统的分析^[14]；可直接用于非线性系统的控制，通过前馈完成参考轨迹跟踪，不需要精确的数学模型，相对于反馈控制，系统具有更强的动态响应能力，且对参数不确定性和外界扰动具有较强的鲁棒性^[15]，具有很好的发展前途。

2.1 平坦系统的定义

对于一个非线性系统，若能找到一组输出变量，使得所有状态变量和控制变量均可由这组输出量及其有限阶微分表示，则认为该系统是微分平坦的^[16]。用数学量表示为：

对于 n 阶非线性系统： $\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x}, \mathbf{u})$, $\mathbf{x} \in \mathbb{R}^n$, $\mathbf{u} \in \mathbb{R}^m$ ，其中 $\mathbf{x}$ 表示状态向量， $\mathbf{u}$ 为控制向量，如果存在一组输出向量 $\mathbf{Y}$ ：

$$\mathbf{Y} = \mathbf{h}(\mathbf{x}, \mathbf{u}^{(1)}, \mathbf{u}^{(2)}, \dots, \mathbf{u}^{(r)}) \quad (1)$$

使得全系统的状态变量、控制变量同时满足：

$$\mathbf{x} = \varphi_1(\mathbf{y}, \mathbf{y}^{(1)}, \mathbf{y}^{(2)} \dots \mathbf{y}^{(\alpha)}) \quad (2)$$

$$\mathbf{u} = \varphi_2(\mathbf{y}, \mathbf{y}^{(1)}, \mathbf{y}^{(2)} \dots \mathbf{y}^{(\beta)}) \quad (3)$$

即系统中所有 $\mathbf{x}$ 和 $\mathbf{u}$ 都可以用这组输出量 $\mathbf{Y}$ 及其有限阶微分表示，这样的系统是微分平坦系统^[17]，输出量 $\mathbf{Y}$ 为平坦输出变量。其中， h 、 φ_1 、 φ_2 为光滑函数， α 、 β 是正整数，表示微分阶次。

图 1 为微分平坦控制系统的结构框图。控制结构包括前馈和反馈两部分。平坦度控制采用逆的思想，通过前馈驱使系统向参考轨迹无限逼近，而引入反馈是为了消除由模型不确定性及各种干扰引起的偏差。其中，前馈控制量 u_f 由期望输出 Y_{ref} 经前馈控制器得到，反馈控制量 u_b 由期望输出 Y_{ref} 和平坦输出 Y 的差值经反馈控制器得到，二者相加得系统最终的控制输入量 u 。

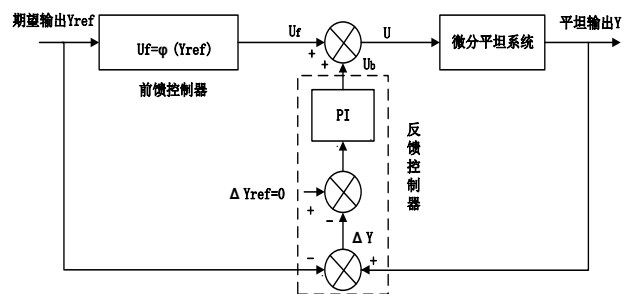


图 1 微分平坦控制系统结构框图

2.2 微分平坦的性质

对任一给定的平坦系统，有：

- (1) 平坦输出变量 $\mathbf{Y}$ 与系统状态变量 $\mathbf{x}$ 和控制变量 $\mathbf{u}$ 之间是一一对应的，故状态量和输入量的轨迹可以由平坦输出变量唯一决定；
- (2) 平坦输出变量不是唯一的；
- (3) 平坦输出变量及其各阶时间导数之间是微分独立的；
- (4) 平坦输出变量 $\mathbf{Y}$ 的阶数与控制变量 $\mathbf{u}$ 相同，低于状态变量 $\mathbf{x}$ 的阶数；
- (5) 平坦性不受坐标系选择的影响^[18]。

2.3 微分平坦的判定方法

- (1) 直接找到系统的平坦输出

由 FBC 的定义，若能直接找到系统的平坦输出，且有系统的状态变量和控制变量均可由此输出及其有限阶微分表示，那么该系统是微分平坦的。

(2) 动态反馈线性化

微分平坦和状态反馈线性化本质上是等价的, 故可通过动态反馈线性化来判断系统的微分平坦特性^[19]。

(3) 通过 Backstepping 方法转化为链式系统

Backstepping 控制打破了非线性控制中“匹配条件”的约束, 被广泛应用于不确定非线性控制系统中^[20]。而链式系统结构简单、容易积分, 对其轨迹规划问题的求解十分便捷。实际控制中, 非完整系统多数可由局部或全部等价变换为标准的链式系统。并且已经证明, 若一个非线性系统能通过 Backstepping 控制转化为链式系统, 则此系统是微分平坦的^[21]。

3 网侧 PWM 变换器 (GSC) 的数学模型

网侧 PWM 变换器的电路拓扑结构如图 2 所示, 其中, 开关器件为 IGBT, 点 N 为系统接地点, O 为三相电网的中性点。 e_a, e_b, e_c 为交流侧三相电压源电压, i_a, i_b, i_c 分别为交流侧三相电流; L 为交流侧滤波电感, 用于完成能量的传递及谐波抑制; R 为网侧等效电阻, C 为直流侧电容, 其作用是稳定直流电压; u_{dc} 是直流侧电压, R_L 为直流侧负载。

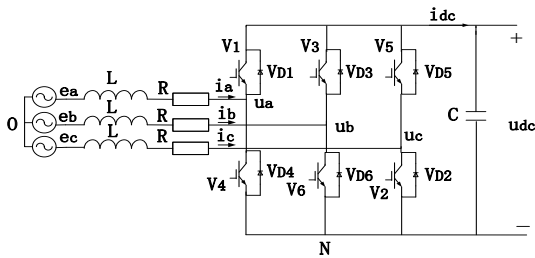


图 2 网侧三相 PWM 变换器拓扑结构图

由基尔霍夫第二定律 (KVL), 可得三相电压型 PWM 整流器 (VSR) 在三相静止坐标系下的数学模型为:

$$\begin{cases} e_a = i_a R + L \frac{di_a}{dt} + u_{aN} + u_{NO} \\ e_b = i_b R + L \frac{di_b}{dt} + u_{bN} + u_{NO} \\ e_c = i_c R + L \frac{di_c}{dt} + u_{cN} + u_{NO} \end{cases} \quad (4)$$

由于三相静止坐标系下的数学模型不便于解耦, 给控制带来困难, 根据等效旋转变换矩阵:

$$T_{abc/dq0} = \frac{2}{3} \begin{pmatrix} \cos \omega t & \cos(\omega t - 2\pi/3) & \cos(\omega t + 2\pi/3) \\ \sin \omega t & \sin(\omega t - 2\pi/3) & \sin(\omega t + 2\pi/3) \\ 1/2 & 1/2 & 1/2 \end{pmatrix} \quad (5)$$

得三相 VSR 在两相同步旋转坐标系下的数学模型:

$$\begin{cases} L \frac{di_d}{dt} = -e_d - Ri_d + \omega Li_q + u_d \\ L \frac{di_q}{dt} = -e_q - Ri_q - \omega Li_d + u_q \\ C \frac{du_{dc}}{dt} = \frac{3}{2} (S_d i_d + S_q i_q) - \frac{u_{dc}}{R_L} \end{cases} \quad (6)$$

可见三相 VSR 模型是一个多输入、多输出、强耦合的非线性系统。其中:

$$\begin{cases} u_d = S_d u_{dc} \\ u_q = S_q u_{dc} \end{cases} \quad (7)$$

定义系统状态变量 $x = [x_1, x_2]^T = [i_d, i_q]^T$, 控制变量 $u = [u_1, u_2]^T = [u_d, u_q]^T$, 将电源电压定向于 d 轴, 即 $e_q = 0$, 则有:

$$\frac{d}{dt} x = \begin{bmatrix} -\frac{R}{L} i_d + \omega i_q + \frac{u_d}{L} \\ -\frac{R}{L} i_q - \omega i_d + \frac{u_q}{L} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \frac{e_d}{L} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

4 网侧 PWM 变换器微分平坦特性的验证

在设计微分平坦控制器之前, 通常需要证明三相电压型 PWM 整流系统是微分平坦系统。选择平坦输出

变量为: $y = [y_1, y_2]^T = [i_d, i_q]^T$, 显然有:

$$x = [i_d, i_q]^T = \varphi_1(y_1, y_2) \quad (9)$$

由式 (8) 得:

$$\begin{cases} u_d = L \frac{di_d}{dt} + Ri_d - \omega Li_q + e_d \\ u_q = L \frac{di_q}{dt} + Ri_q + \omega Li_d \end{cases} \quad (10)$$

即:

$$u = [u_d, u_q]^T = \varphi_2(y_1, \dot{y}_1, y_2, \dot{y}_2) \quad (11)$$

可见, 所有状态变量及控制变量均可由平坦输出量及其各阶导数表示, 即三相电压型 PWM 整流系统为微分平坦系统。

5 网侧 PWM 变换器微分平坦控制器设计

由于三相 VSR 模型是一个多输入、多输出、强耦合的非线性系统,采用一般的线性化控制技术难以达到较高的控制性能。而传统双闭环控制方式通常基于 PI 控制器,电流内环不能精确解耦,导致直流侧电压的快速性、稳定性、鲁棒性都无法达到控制要求。基于上述原因,本文对传统双闭环控制进行了改进,即保留传统的电压外环,用于生成电流 d 轴分量的理想参考轨迹;电流内环引入微分平坦前馈,以提高系统的动静态性能。

基于微分平坦理论的控制系统主要由两部分构成:第一部分是前馈控制,第二部分是非线性误差反馈补偿控制。

对电流内环进行改进时,把 PI 控制耦合量中的电流反馈值 i_d 、 i_q 换为电流参考值 i_d^* 、 i_q^* ,由式(10),得电流内环的前馈控制方程:

$$\begin{cases} u_{d,f}^* = L \frac{di_d^*}{dt} + Ri_d^* - \omega Li_q^* + e_d \\ u_{q,f}^* = L \frac{di_q^*}{dt} + Ri_q^* + \omega Li_d^* \end{cases} \quad (12)$$

由于前馈电流解耦控制直接采用参考值作为解耦分量,避免了传统 PI 控制因采样延时导致的电流内环解耦不彻底的问题,减小了电网电流波动对控制量的影响,实现了电流前馈的动态精确解耦。在理想条件下,当参考信号足够平滑时,前馈可以完全实现无差跟踪。但模型不确定性和实际运行中的各种干扰,会导致跟踪出现误差,因此还需要设计误差反馈控制器来进行补偿。由于系统通过前馈控制后已经十分接近参考轨迹,误差波动较小,因此即使对于三相 VSR 这样的非线性系统,误差反馈补偿控制也可以采用线性方法进行设计。

令系统平坦输出变量误差值: $\Delta i_d = i_d - i_d^*$, $\Delta i_q = i_q - i_q^*$,误差参考值 $\Delta i_d^* = \Delta i_q^* = 0$,得误差模型:

$$\begin{cases} \Delta u_d = L \frac{d\Delta i_d}{dt} + R\Delta i_d - \omega L\Delta i_q \\ \Delta u_q = L \frac{d\Delta i_q}{dt} + R\Delta i_q + \omega L\Delta i_d \end{cases} \quad (13)$$

引入 PI 控制器消除误差,得误差反馈补偿控制方程:

$$\begin{cases} u_{d,b}^* = (K_{ip} + \frac{K_{il}}{s})(\Delta i_d^* - \Delta i_d) - \omega L\Delta i_q \\ u_{q,b}^* = (K_{ip} + \frac{K_{il}}{s})(\Delta i_q^* - \Delta i_q) + \omega L\Delta i_d \end{cases} \quad (14)$$

其中, K_{ip} 、 K_{il} 为电流环比例、积分系数,综上,得网侧变换器最终的控制输入量:

$$\begin{cases} u_d^* = u_{d,f}^* + u_{d,b}^* \\ u_q^* = u_{q,f}^* + u_{q,b}^* \end{cases} \quad (15)$$

由此,得基于微分平坦的三相 VSR 的控制框图,如图 3 所示,驱动信号采用 PWM 调制方法生成。 i_q^* 通常取 0,不需要对波形进行处理,而 i_d^* 是由电压外环得到的,为了使参考轨迹足够光滑从而更有效地利用前馈,需要在外环 PI 控制器后增加一个低通滤波器(LPF)。

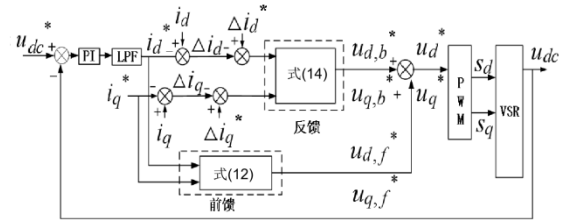


图 3 网侧 PWM 变换器微分平坦控制框图

6 网侧 PWM 变换器 FBC 独立控制仿真

采用 Matlab 2016a/Simulink 搭建系统总体仿真模型,系统基本参数如表 1 所示。

表 1 GSC 参数

参数名称	符号	数据
网侧 a 相电压	e_a	690V
交流侧滤波电感	L	0.3pu(标么值)
网侧等效电阻	R	0
直流输出电压给定	U_{dc}^*	1200V
直流侧储能电容	C	0.2F

6.1 风速恒定时仿真分析

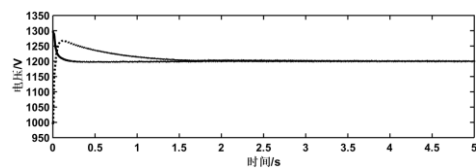


图 4 两种控制策略下直流母线电压波形

如图 4 为网侧变换器采用两种控制策略下直流母线侧的电压波形,其中实线和虚线分别为 FBC 控制策略下及传统 PI 控制策略下的电压波形,直流母线侧电压参考值设置为 1200V。可见无论传统 PI 控制还是 FBC 控制均能实现对参考值的稳定跟踪,此外,传统控制下直流母线电压自发电机启动 1.5s 后才达到稳定状态,而采用 FBC 控制时电压在发电机启动后 0.5s 以内就实

现了对电压参考值的跟踪,并能一直稳定在 1200V。

综上,可知网侧采用微分平坦独立控制,能够实现直流母线电压恒定控制,且相较于传统控制方法动态响应速度更快,调节时间更短抗干扰能力更强,实现了网侧变换器的高动态性能控制,验证了网侧微分平坦独立控制的正确性及优越性。

参考文献

- [1]袁鸿.双馈风力发电机的控制系统研究[D].扬州:扬州大学,2019.
- [2]朱琳.三相双 PWM 变换器直接功率控制方法研究[D].天津:天津大学,2014.
- [3]谈立,阮毅,赵梅花,等.三相 PWM 变换器矢量控制与直接功率控制研究[J].电力电子技术,2013,47(12):69-71.
- [4] Ooi B T,Salmon J C,Dixon J W,et al. A three-phase controlled-current PWM converter with leading power factor[J]. Industry Applications,IEEE Transactions on,1987(1):78-84.
- [5] Dixon J W,Kulkarni A B,Nishimoto M,etal.Characteristics of a controlled-current PWM rectifier-inverter link[J]. Industry Applications,IEEE Transactions on,1987 (6):1022-1028.
- [6] Le-Huy H,Dessaint L A. An adaptive current control scheme for PWM synchronous motor drives:an alysis and simulation[J].Power Electronics,IEEE Transactions on,1989,4(4):486-495.
- [7] Cheng K W E,Wang H Y,Sutanto D.Adaptive directive neural network control for three-phase AC/D C PWM converter[J]. IEE Proceedings-Electric Power Applications,2001,148(5):425-430.
- [8]王久和.电压型 PWM 整流器数学模型及非线性控制策略[J].北京信息科技大学学报(自然科学版),2011,26(04):15-20.
- [9] Fliess M Levine J, Martin P, et al. On differentially flat nonlinear systems[C]//IFAC SYMPOSI A SERIES. Pergamon Press, 1993: 159-159.
- [10] Fliess M. J. L evine Ph. Martin, and P. Rouchon. Flatness and defect of nonlinear systems: i ntroductory theory and applications. Int[J]. Journal of Control, 1995, 61(6):934-957.
- [11] Ph. Martin R. Murray, P. Rouchon. Flat Systems[C]. // Proceeding of 4thEuropean Control Conf erence, Brussels. 1997: 211~264.
- [12] Richard Murray.Trajectory Generation for a Towed Cable System UsingDifferential Flatness[C]. // Proceeding of IFAC Word Congress, San Francisco.1996.
- [13] Michiel Nieuwstadt,Richard Murray. Real-Time Trajectory Generation forDifferentially Flat Sy stems[J]. International Journal of Robust and NonlinearControl, 1998, (8): 995~1020.
- [14] Fliess M. A lie-backlund approach to equivalence and flatness ofnonlinear systems[J]. IEEE T ransactions on Automatic Control,1999, 44(5): 922-967.
- [15] Hagenmeyer V,Delaleau E. Exact feedforwardlinearization based on differential flatness[J]. I nternational Journal of Control,2003,76(6):537-556.
- [16]王娟,王洪希,刘丙申.基于微分平坦理论的 APF 直接功率控制[J].北华大学学报(自然科学版),2020,21(01):127-133.
- [17]蒲天骄,张昭,于汀,等.微分平坦理论及其在自动发电控制中的应用[J].电力系统及其自动化学报,2014,26(12):21-27.
- [18]王丹.直驱型风电机组的并网换流系统控制策略研究[D].北京:华北电力大学,2016.

- [19] Michel Fliess, Jean Levine, Philippe Martin, et al. A Lie - Backlund Approach toEquivalence and Flatness of Nonlinear Systems[J].IEEE Transactions onAutomatic Control, 1999, 44(5): 928~937.
- [20]张超杰. 基于微分平坦理论的飞行器轨迹规划方法研究[D]. 长沙:国防科学技术大学,2010.
- [21] Krzysztof Kozlowski, Jaroslaw Majchrzak. A Backstepping Approach to Control a Nonholonomic Mobile Robot[C].//Proceeding of 2002 IEEE Conference onRobotics & Automation, Washington DC. 2002: 3972~3977.

基金项目：河北省高等学校科学技术研究项目（QN2024106）；廊坊市科技支撑计划项目（2023011102）。

具有输入饱和的柔性关节机械臂预设有限时间控制研究

王欢,董玉春,白彦霞,郭亚鹏

(燕京理工学院智能工程学院,河北 廊坊 065201)

摘要: 针对具有输入饱和、模型不确定以及外部扰动的柔性关节机械臂系统,提出一种自抗扰预设有限时间跟踪控制的方法。该方法通过引入性能函数,将机械臂系统的跟踪误差限制在预定的边界,并通过一阶动态系统来逼近输入饱和函数,利用扩张状态观测器估计不确定性的未知函数,利用跟踪微分器获得虚拟控制信号来避免微分爆炸。控制器设计保证机械臂系统的跟踪误差在指定的有限时间内收敛,闭环系统所有信号一致有界。采用自抗扰策略使控制器具有很强的抗干扰性,然后利用MATLAB软件仿真验证了该控制方法的合理性。

关键词: 柔性机械臂,有限时间控制,输入饱和,预设性能

中图分类号:TP273

文献标识码:A

DOI:10.19769/j.zdhy.2024.13.017

Finite-Time Prescribed Performance Control for Flexible Joint Manipulator with Input Saturation

WANG Huan, DONG Yuchun, BAI Yanxia, GUO Yapeng

(School of Intelligent Engineering, Yanjing Institute of Technology, Langfang, Hebei 065201, China)

Abstract: Aiming at the flexible joint manipulator system with input saturation, model uncertainty and external disturbance, an active disturbance rejection preset finite time tracking control method is proposed. This method limits the tracking error of the manipulator system to a predetermined boundary by introducing a performance function, and approximates the input saturation function by a first-order dynamic system. The unknown function of uncertainty is estimated by the extended state observer, and the virtual control signal is obtained by the tracking differentiator to avoid differential explosion. The controller design ensures that the tracking error of the manipulator system converges within a specified limited time, and all signals of the closed-loop system are uniformly bounded. The ADRC strategy is adopted to make the controller have strong anti-interference. The rationality of the control method is verified by MATLAB software simulation.

Key words: flexible manipulator, finite time control, input saturation, prescribed performance

0 引言

近年来,随着机器人的智能化发展,柔性关节机械臂凭借轻量化、安全性高、适应性强以及低能耗的优势,吸引了越来越多的关注。但一方面柔性关节机械臂系统的控制性能往往会受一些因素的限制,如非线性、柔性、摩擦力和强耦合性等;另一方面,系统在实际运行过程中也会难以避免地遇到饱和、信号传输带宽的限制等,若在设计控制器时忽略了这些约束条件,系统性能则会大大降低。同时,机械臂系统也会受外界扰动,而且其运动模型会难以避免地存在不确定性问题,导致系统不稳定。此外,现有的常规控制方法并没有考虑系统的收敛速度、控制精度等问题,但实际控制系统往往期望具备良好的性能,而有限时间控

制方法可以提高这些性能,因此,对于有限时间控制的研究很有必要。

针对消除机械臂系统中的柔性问题,目前已提出滑模控制、动态面控制、反步控制和模糊控制等^[1-2]控制方法。文献[1]针对不确定单连杆柔性机械臂系统采用了自适应滑膜控制,但该控制器存在抖振问题^[3-4]。基于 Backstepping 技术设计的控制器可避免这个缺点,是目前的研究热点。文献[5]利用 Backstepping 方法解决了单连杆柔性机械手系统末端位置轨迹跟踪控制问题,但虚拟信号在进行积分运算时复杂度较高;为解决重复微分导致的运算复杂问题,文献[6—7]添加了一阶低通滤波器,可在不区分任何模型非线性的情况下实现算法,但文献[5—7]均未考虑系统中的不确定性问题。针对系统中出现的参数不确定性,文献[8—9]提出了基于径向基函数神经网络的观测器来估计正常系统状态变量的方法,结合 Backstepping 技术控制模型未知的单连杆柔性关节机械手。针对具有外部扰

基金项目:廊坊市科技支撑计划项目(2023011101)

作者简介:王欢,女,1995年生,硕士研究生,助教,研究方向为非线性系统。

动的机械臂系统,为实现规定的性能,文献[10—11]引入了一个性能函数来描述对跟踪误差的性能限制,然后将特定的性能要求作为跟踪控制设计的先决条件,进而保证规定的瞬态和稳态跟踪控制性能。为了获得较快的收敛速度,文献[12—13]提出了有限时间稳定控制方法,使机械臂系统在具有外部扰动的前提下,仍能在有限时间内实现控制目标。文献[14]将基于神经网络逼近的有限时间自适应反演控制策略应用于柔性机械臂系统,但并未考虑系统状态受限的情况。目前,针对柔性关节机械臂系统,既考虑输入饱和,又考虑预设性能,同时保证系统在有限时间内实现控制目标的研究成果较少,因此,研究具有输入饱和和的柔性关节机械臂预设定有限时间控制问题十分必要。

本文以柔性关节机械臂为研究对象,提出了一种用于具有输入饱和、不可避免的外部扰动以及不确定性因素的柔性关节机械臂系统的预设定有限时间控制新方法。与现有成果相比,该方法可保证柔性关节机械臂系统在存在输入饱和、外部扰动的前提下,仍具有良好的稳定性,同时系统的抗干扰能力提升。

1 理论准备

(1)引理1^[15](Young's不等式)。对于 $\forall x, y \in \mathbb{R}$ 和 $\forall \varepsilon > 0$,若 $p > 1, q > 1$ 满足 $\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = 1$,则:

$$xy \leq \frac{\varepsilon^p}{p} |x|^p + \frac{1}{q\varepsilon^q} |y|^q \quad (1)$$

(2)引理2^[16]。若存在一个正定、径向无界、连续可导的Lyapunov函数 $V: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$,常数 $a_0 > 0, b_0 \geq 0$,使得式(2)成立。

$$\dot{V}(x) \leq -a_0 V(x) + b_0 \quad (2)$$

则系统存在唯一解,且系统所有信号一致最终有界。

2 柔性关节机械臂系统数学模型及控制目标

本文研究的柔性关节机械臂系统的动力学方程为:

$$\begin{cases} I\ddot{q} + K(q - \theta) + MgL \sin q + \Delta_1 + d_1 = 0 \\ J\ddot{\theta} - K(q - \theta) + \Delta_2 + d_2 = u(v) \end{cases} \quad (3)$$

式中: I 和 J 分别为连杆和电机的转动惯量, K 为弹性系数, q 为机械臂角位置, θ 为电动机轴角位置, M 为机械臂质量, g 为重力加速度, L 为机械臂质心到末端距离, $u(v)$ 为具有饱和和非线性的控制输入量, d_1 和 d_2 为有界干扰信号, Δ_1 和 Δ_2 为模型的不确定部分,其表示为:

$$\begin{cases} \Delta_1 = \Delta I \ddot{q} + \Delta K(q - \theta) + \Delta MgL \sin q \\ \Delta_2 = \Delta J \ddot{\theta} - \Delta K(q - \theta) \end{cases} \quad (4)$$

式中: $\Delta I, \Delta J, \Delta K, \Delta M$ 分别为变量 I, J, K, M 的不确定部分。为建立机械臂系统(式(3))的状态方程,令 $x_1 = q$,

$x_2 = \dot{q}, x_3 = \theta, x_4 = \dot{\theta}$,则该机械臂系统模型可描述为:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = F_1(x_1) + \frac{K}{I} x_3 \\ \dot{x}_3 = x_4 \\ \dot{x}_4 = F_2(x_1, x_3) + \frac{1}{J} u(v) \\ y = x_1 \end{cases} \quad (5)$$

式中: $F_1(x_1) = \frac{1}{I}(-MgL \sin x_1 - Kx_1 - \Delta_1 - d_1)$, $F_2(x_1, x_3) = \frac{K}{J}(x_1 - x_3) - \frac{\Delta_2}{J} - \frac{d_2}{J}$ 。

本文的控制目标如下。针对柔性关节机械臂系统(式(5)),引入一个性能函数来描述对跟踪误差的性能限制,然后将特定的性能要求作为跟踪控制设计的先决条件,并通过一个一阶动态系统来逼近输入饱和函数,采用Backstepping方法设计自抗扰有限时间跟踪控制器,满足以下要求:(1)系统的输出 y 可以跟踪给定的期望信号 y_d ,且系统可以在预先设定的有限时间内达到稳定状态;(2)跟踪误差限制在预定的递减边界内;(3)闭环系统中所有信号都是有界的;(4)当存在外部扰动和模型不确定时,机械臂系统实际输出能够准确跟踪期望输出。

为实现上述控制目标,系统(式(5))需要满足的假设条件如下。

假设1:未知函数 $F_1(x_1), F_2(x_1, x_3)$ 是连续的,且其一阶导数连续并有界。

假设2:所有系统状态 $x_i (i=1, 2, 3, 4)$ 都是可测量的。

为了得到本文的结果,选择以下输入饱和模型和预设性能函数。

输入饱和模型形式为:

$$u[v(t)] = \text{sat}[v(t)] = \begin{cases} \text{sign}[v(t)]\omega_0, & |v(t)| \geq \omega_0 \\ v(t), & |v(t)| < \omega_0 \end{cases} \quad (6)$$

式中: $u(v)$ 为饱和输入量, $v(t)$ 为实际控制力矩, ω_0 为限制输入的界限。

本文采用以下性能函数:

$$\rho(t) = (\rho_0 - \rho_{+\infty})e^{-\kappa t} + \rho_{+\infty} \quad (7)$$

式中: $\kappa, \rho_0, \rho_{+\infty}$ 为正的设计参数。

为了将原机械手的约束跟踪控制问题转化为无约束增广系统的镇定问题,进行以下误差转换:

$$e_1(t) = \rho(t)S(s_1) \quad (8)$$

式中: s_1 为转换误差。转换函数 $S(s_1)$ 定义为:

$$S(s_1) = \frac{\bar{\delta}e^{s_1} - \underline{\delta}e^{-s_1}}{e^{s_1} + e^{-s_1}} \quad (9)$$

式中: $\underline{\delta}$ 和 $\bar{\delta}$ 为正的常数。

由式(8)、式(9)可以推导出:

$$s_1 = S^{-1} \left(\frac{e_1}{\rho} \right) = \frac{1}{2} \ln \left(\frac{e_1/\rho + \delta}{\delta - e_1/\rho} \right) \quad (10)$$

进一步整理得:

$$\dot{s}_1 = \beta \left(\dot{e}_1 - \frac{\dot{\rho}}{\rho} e_1 \right) \quad (11)$$

$$\text{式中: } \beta = \frac{1}{2\rho} \left(\frac{1}{e_1/\rho + \delta} - \frac{1}{e_1/\rho - \delta} \right) > 0, \text{ 且 } \dot{\rho} = -k(\rho_0 - \rho_{+\infty})e^{-\kappa t}.$$

3 控制器设计

首先进行坐标变换:

$$\begin{cases} e_1 = x_1 - y_d \\ e_2 = x_2 - \alpha_1 \\ e_3 = x_3 - \alpha_2 \\ e_4 = x_4 - \alpha_3 - \tilde{l} \end{cases} \quad (12)$$

式中: $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ 为虚拟控制量, $\tilde{l}$ 为辅助设计信号(将在后面的设计过程中给出)。

取:

$$\zeta = S^{-1} \left(\frac{e_1}{\rho} \right) = \frac{1}{2} \ln \left(\frac{e_1/\rho + \delta}{\delta - e_1/\rho} \right) \quad (13)$$

第1步, 针对第1个子系统, 选取 Lyapunov 函数为:

$$V_1 = \frac{1}{2} \zeta^2 \quad (14)$$

对其求导得:

$$\dot{V}_1 = \zeta \dot{\zeta} = \zeta \beta \left(\dot{e}_1 - \frac{\dot{\rho}}{\rho} e_1 \right) = \zeta \beta (e_2 + \alpha_1 - \dot{y}_d - \frac{\dot{\rho}}{\rho} e_1) \quad (15)$$

取:

$$\alpha_1 = \dot{y}_d + \frac{\dot{\rho}}{\rho} e_1 - \frac{c_1}{\beta} \zeta \quad (16)$$

式中: $c_1 > 0$ 为设计参数。将式(16)代入式(15)得:

$$\dot{V}_1 = \zeta \beta e_2 - c_1 \zeta^2 \quad (17)$$

第2步, 针对第2个子系统, 选取 Lyapunov 函数为:

$$V_2 = V_1 + \frac{1}{2} e_2^2 \quad (18)$$

对式(18)求导可得:

$$\begin{aligned} \dot{V}_2 &= \dot{V}_1 + e_2 \dot{e}_2 = \zeta \beta e_2 - c_1 \zeta^2 + e_2 (\dot{x}_2 - \dot{\alpha}_1) \\ &= \zeta \beta e_2 - c_1 \zeta^2 + e_2 \left[F_1(x_1) + \frac{K}{I} (e_3 + \alpha_2) - \dot{\alpha}_1 \right] \end{aligned} \quad (19)$$

重复微分会导致运算越来越复杂, 为解决该问题, 引

$$\begin{aligned} \dot{V}_2 &= -c_1 \zeta^2 + \frac{K}{I} e_2 e_3 - c_2 e_2^2 + e_2 \varepsilon_1 - e_2 \eta_1 \leq -c_1 \zeta^2 + \frac{K}{I} e_2 e_3 - c_2 e_2^2 + \frac{1}{2} e_2^2 + \frac{1}{2} \varepsilon_1^2 + \frac{1}{2} e_2^2 + \frac{1}{2} \eta_1^2 \\ &= -c_1 \zeta^2 + \frac{K}{I} e_2 e_3 - (c_2 - 1) e_2^2 + \frac{1}{2} \varepsilon_1^2 + \frac{1}{2} \eta_1^2 \end{aligned} \quad (28)$$

式中: $c_2 > 1$ 为设计参数。

第3步, 与前2步类似, 选取 Lyapunov 函数为:

入跟踪微分器对虚拟控制量 α_1 的导数进行估计^[17]。跟踪微分器 (Tracking Differentiator, TD) TD_1 为:

$$\begin{cases} \dot{v}_{11} = v_{12} \\ \dot{v}_{12} = -\lambda^2 \operatorname{sgn}(v_{11} - \alpha_1) |v_{11} - \alpha_1|^\delta - \lambda v_{12} \end{cases} \quad (20)$$

式中: v_{11} 和 v_{12} 分别为 TD_1 的状态变量; 设计参数 $\lambda > 0, 0 < \delta < 1$ 。当 v_{11} 和 v_{12} 取适当值时, 可以跟踪到虚拟控制量 α_1 及其导数 $\dot{\alpha}_1$ 。

跟踪微分器(式(20))的估计误差定义为:

$$\eta_1 = \dot{\alpha}_1 - v_{12} \quad (21)$$

以下给出扩张观测器 (Extended State Observer, ESO) 的建立方法, 以便对未知函数 $F_1(x_1)$ 进行估计。对于第2个子系统:

$$\dot{x}_2 = F_1(x_1) + \frac{K}{I} x_3 \quad (22)$$

对未知函数 $F_1(x_1)$ 进行扩张, 记作 $x_{22} = F_1(x_1)$, 其导数记为 $\dot{x}_{22} = \omega(t)$, 则系统(式(22))可以表示为:

$$\begin{cases} \dot{x}_2 = x_{22} + \frac{K}{I} x_3 \\ \dot{x}_{22} = \omega(t) \end{cases} \quad (23)$$

其中, $F_1(x_1)$ 是未知的, 因此它的导数 $\omega(t)$ 也未知。根据文献[18]建立扩张状态观测器 ESO_1 :

$$\begin{cases} E_1 = Z_{11} - x_2 \\ \dot{Z}_{11} = Z_{12} + \frac{K}{I} x_3 - \beta_{11} E_1 \\ \dot{Z}_{12} = -\beta_{12} |E_1|^{\frac{1}{2}} \operatorname{sgn}(E_1) \end{cases} \quad (24)$$

式中: Z_{11} 和 Z_{12} 为状态观测器的状态量; E_1 为 Z_{11} 对 x_2 估计时产生的误差; 状态 Z_{12} 对未知的 x_{22} 进行估计; 扩张状态观测器增益表示为 $\beta_{11} > 0$ 和 $\beta_{12} > 0$ 。

当参数 β_{11} 和 β_{12} 选取适当时, 可以估计系统(式(23))的状态 x_2 及被扩张的状态 x_{22} 。定义 ESO_1 扩张状态的估计误差为:

$$\varepsilon_1 = F_1(x_1) - Z_{12} \quad (25)$$

将式(21)和式(25)代入式(19), 可得:

$$\dot{V}_2 = \zeta \beta e_2 - c_1 \zeta^2 + e_2 \left[Z_{12} + \varepsilon_1 + \frac{K}{I} (e_3 + \alpha_2) - v_{12} - \eta_1 \right] \quad (26)$$

取:

$$\alpha_2 = \frac{I}{K} (-c_2 e_2 - Z_{12} + v_{12} - \zeta \beta) \quad (27)$$

将式(27)代入式(26), 根据 Young's 不等式可得:

$$V_3 = V_2 + \frac{1}{2} e_3^2 \quad (29)$$

对式(29)求导可得:

$$\dot{V}_3 = \dot{V}_2 + e_3 \dot{e}_3 \leq \frac{K}{I} e_2 e_3 - c_1 \zeta^2 - (c_2 - 1) e_2^2 + \frac{1}{2} \varepsilon_1^2 + \frac{1}{2} \eta_1^2 + e_3 (e_4 + \alpha_3 - \dot{\alpha}_2) \quad (30)$$

使用 TD_2 估计虚拟控制量 α_2 的导数。设计 TD_2 为:

$$\begin{cases} \dot{v}_{21} = v_{22} \\ \dot{v}_{22} = -\lambda^2 \operatorname{sgn}(v_{21} - \alpha_2) |v_{21} - \alpha_2|^\delta - \lambda v_{22} \end{cases} \quad (31)$$

定义 TD_2 的估计误差:

$$\eta_2 = \dot{\alpha}_2 - v_{22} \quad (32)$$

将式(32)代入式(30),可得:

$$\dot{V}_3 \leq e_3 e_4 - c_1 \zeta^2 - (c_2 - 1) e_2^2 + \frac{1}{2} \varepsilon_1^2 + \frac{1}{2} \eta_1^2 - e_3 \eta_2 - c_3 e_3^2 \leq e_3 e_4 - c_1 \zeta^2 - (c_2 - 1) e_2^2 - (c_3 - \frac{1}{2}) e_3^2 + \frac{1}{2} \varepsilon_1^2 + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 \eta_i^2 \quad (33)$$

式中: $c_3 > \frac{1}{2}$ 为设计参数。

第4步:针对最后一个子系统,可以选取Lyapunov函数为:

$$V_4 = V_3 + \frac{1}{2} e_4^2 \quad (36)$$

求导可得:

$$\dot{V}_4 = \dot{V}_3 + e_4 \dot{e}_4 = \dot{V}_3 + e_4 \left[F_2(x_1, x_3) + \frac{1}{J} u - \dot{\alpha}_3 - \frac{1}{J} \dot{l} \right] \quad (37)$$

引入跟踪微分器 TD_3 对虚拟控制量 α_3 进行估计,设计 TD_3 为:

$$\begin{cases} \dot{v}_{31} = v_{32} \\ \dot{v}_{32} = -\lambda^2 \operatorname{sgn}(v_{31} - \alpha_3) |v_{31} - \alpha_3|^\delta - \lambda v_{32} \end{cases} \quad (38)$$

$$\dot{V}_4 \leq e_3 e_4 - c_1 \zeta^2 - (c_2 - 1) e_2^2 - (c_3 - \frac{1}{2}) e_3^2 + \frac{1}{2} \varepsilon_1^2 + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 \eta_i^2 + e_4 \left[Z_{22} + \varepsilon_2 + \frac{1}{J} (\tilde{l} + v) - \eta_3 - v_{32} \right] \quad (39)$$

取:

$$v = J(-c_4 e_4 - Z_{22} + v_{32} - e_3 - \frac{1}{J} \tilde{l}) \quad (40)$$

将式(43)代入式(42),利用Young's不等式得:

$$\begin{aligned} \dot{V}_4 &\leq -c_1 \zeta^2 - (c_2 - 1) e_2^2 + \frac{1}{2} \varepsilon_1^2 + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 \eta_i^2 - (c_3 - \frac{1}{2}) e_3^2 - e_4 \eta_3 + e_4 \varepsilon_2 - c_4 e_4^2 \\ &\leq -c_1 \zeta^2 - (c_2 - 1) e_2^2 - (c_3 - \frac{1}{2}) e_3^2 - (c_4 - 1) e_4^2 + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^3 \eta_i^2 + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^2 \varepsilon_j^2 \end{aligned} \quad (41)$$

式中: $c_4 > 1$ 为设计参数。

定理1:考虑输入饱和的柔性关节机械臂系统(式(5)),若满足假设1和假设2,则系统跟踪误差的初值满足 $|e_1(0)| < |\rho(0)|$,根据预设有限时间控制器(式(43)),则闭环系统的跟踪误差可以限制在预定的递减边界内,且能够在有限时间内收敛到平衡点附近小的邻域,系统中所有信号都保证有限时间稳定。

(1)稳定性证明。系统的Lyapunov函数 V 满足 $V \geq 0$ 。当虚拟控制律分别取为式(16)、式(27)、式(34)和式(43)时,式(44)成立。因为跟踪微分器 TD_i 和扩张状态观测器 ESO_j 的逼近误差 η_i ($i=1, 2, 3$) 和 ε_j ($j=1, 2$) 有界,所以可得:

$$b_0 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^3 \eta_i^2 + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^2 \varepsilon_j^2 \quad (45)$$

式(45)有界,取 $a_0 = \min\{2c_1, 2(c_2 - 1), 2(c_3 - 1), 2(c_4 -$

$$\begin{aligned} \dot{V}_3 &\leq \frac{K}{I} e_2 e_3 - c_1 \zeta^2 - (c_2 - 1) e_2^2 + \frac{1}{2} \varepsilon_1^2 + \frac{1}{2} \eta_1^2 + \\ &\quad e_3 (e_4 + \alpha_3 - \eta_2 - v_{22}) \end{aligned} \quad (42)$$

取:

$$\alpha_3 = -c_3 e_3 + v_{22} - \frac{K}{I} e_2 \quad (43)$$

将式(34)代入式(33),利用Young's不等式得:

定义 TD_3 的估计误差为:

$$\eta_3 = \dot{\alpha}_3 - v_{32} \quad (39)$$

利用 ESO_2 估计未知函数 $F_2(x_1, x_3)$:

$$\begin{cases} E_2 = Z_{21} - x_4 \\ \dot{Z}_{21} = Z_{22} + \frac{1}{J} u - \beta_{21} E_2 \\ \dot{Z}_{22} = -\beta_{22} |E_2|^{\frac{1}{2}} \operatorname{sgn}(E_2) \end{cases} \quad (40)$$

定义 ESO_2 扩张状态的估计误差为:

$$\varepsilon_2 = F_2(x_1, x_3) - Z_{22} \quad (41)$$

将式(35)、式(39)和式(41)代入式(37)得:

$$\dot{V}_4 \leq e_3 e_4 - c_1 \zeta^2 - (c_2 - 1) e_2^2 - (c_3 - \frac{1}{2}) e_3^2 + \frac{1}{2} \varepsilon_1^2 + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 \eta_i^2 + e_4 \left[Z_{22} + \varepsilon_2 + \frac{1}{J} (\tilde{l} + v) - \eta_3 - v_{32} \right] \quad (42)$$

1)}, 则式(44)满足引理2中的 $\dot{V} \leq -a_0 V + b_0$, 由此可知闭环系统中所有变量都是有界的。

(2)证明系统的跟踪误差可以在有限时间内按照预先设定的范围收敛到平衡点附近小的邻域。

在区间 $[0, t]$ 上, 因为有不等式 $-\underline{\delta} < S(s) < +\bar{\delta}$ 和 $\rho(t) > 0$ 成立, 所以 $-\underline{\delta} \rho(t) < e_1(t) < +\bar{\delta} \rho(t)$ 成立, 通过选择性能函数(7)和误差转换函数(9), 可以使跟踪误差 e_1 收敛到包含零点的任意小的邻域内。

4 仿真实验

将提出的控制器设计方案应用到具有输入饱和的柔性机械臂控制系统, 通过理论仿真实验来验证该算法的有效性。选取模型(3)参数为^[18]: $M=2.3 \text{ kg}$, $L=1 \text{ m}$, $I=2.3 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$, $K=15 \text{ N} \cdot \text{m/rad}$, $g=9.8 \text{ m/s}^2$ 。模型不确定部分为:

$$\begin{cases} \Delta_1 = 0.1 I \dot{x}_2 - 0.1 \frac{MgL}{I} \sin x_1 - 0.1 \frac{K}{I} x_1 \\ \Delta_2 = 0.1 J \dot{x}_4 + 0.1 \frac{K}{I} (x_1 - x_3) + 0.1 \cos x_3 \end{cases} \quad (46)$$

式中:外部扰动 $d_1 = \sin t$, $d_2 = \cos t$, 参考输入 $y_d = 0.5(\sin 0.5t + \sin t + \sin 2t)$ 。各状态变量的初始值为: $x_1(0) = 0.15$, $x_2(0) = 0.6$, $x_3(0) = 0.7$, $x_4(0) = 0.5$ 。控制参数选取 $c_1 = 5$, $c_2 = 17$, $c_3 = 180$, $c_4 = 180$ 。 TD_1 、 TD_2 和 TD_3 的参数 $\lambda = 9$, $\delta = 0.5$ 。 ESO_1 和 ESO_2 参数选取 $\beta_{11} = 100$, $\beta_{12} = 300$, $\beta_{21} = 100$, $\beta_{22} = 350$ 。另外,输入饱和模型采用式(47)。

$$u[v(t)] = \text{sat}[v(t)] = \begin{cases} 3\text{sign}[v(t)], & |v(t)| \geq 3 \\ v(t), & |v(t)| < 3 \end{cases} \quad (47)$$

预设性能函数为:

$$\rho(t) = (\rho_0 - \rho_{+\infty})e^{-ht} + \rho_{+\infty} \quad (48)$$

式中: $\bar{\delta} = \underline{\delta} = 1$, $\rho_{+\infty} = 0.15$, $\rho_0 = 3$, $k = 1$ 。

通过应用定理1,选择虚拟控制律和实际输入,对系统(式(5))进行仿真,仿真结果如图1—图9所示。

图1为跟踪机械臂输出的效果图,其中, x_1 为系统输出, y_d 为期望输出。利用本文方法设计的控制器,系统输出能够在2 s内跟踪期望的输出轨迹,跟踪效果良好。图2表明预设性能函数能够对误差进行约束,由图2可知,误差在指定的2 s内能够收敛到预先设定的范围,系统稳定性良好。图3表明当控制输入信号 v 存在输入饱和时,控制器能够对其进行限制,使系统输入满足约束范围。图4和图5分别为扩张观测器的估计效果,其表明扩张观测器的输出曲线和 $F_1(x_1)$ 、 $F_2(x_1, x_3)$ 的输出曲线吻合,因此扩张观测器设计符合要求。图6—图8中,2条曲线重合度较高,表明跟踪微分器对系统的虚拟控制律估计效果良好。

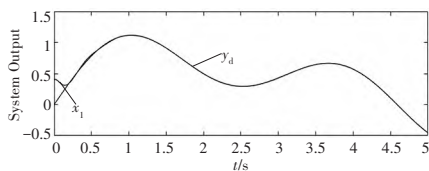


图1 系统输出 x_1 和期望轨迹 y_d

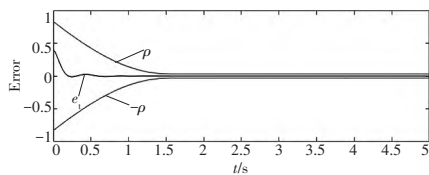


图2 跟踪误差

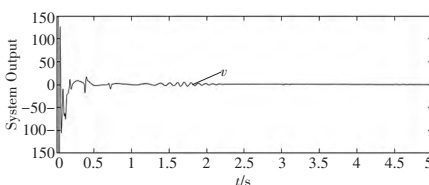


图3 控制输入信号 v

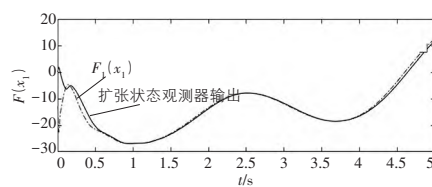


图4 ESO_1 观测器效果曲线

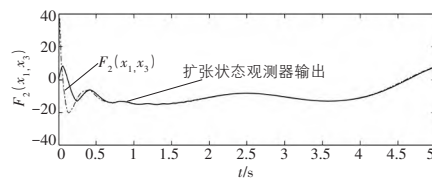


图5 ESO_2 观测器效果曲线

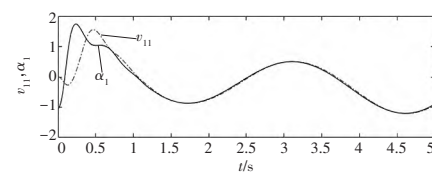


图6 TD_1 的跟踪效果曲线

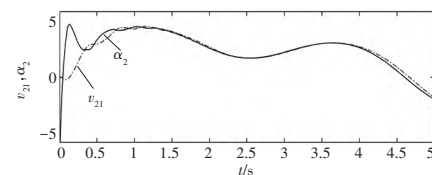


图7 TD_2 的跟踪效果曲线

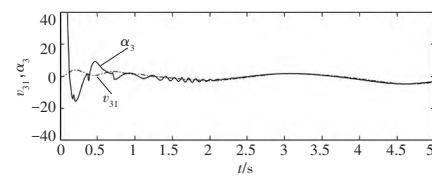


图8 TD_3 的跟踪效果曲线

5 结语

针对考虑输入饱和的柔性关节机械臂系统存在的预设有限时间控制问题,本文将预设性能函数和有限时间控制理论相结合,提出了一种保证系统有限时间收敛的新方法;同时引入扩张状态观测器估计系统难以避免的外部扰动、模型不确定以及非线性函数未知的情况;引入跟踪微分器解决微分爆炸的问题。该方法最终保证系统输出能在有限时间内跟踪期望信号,且跟踪误差在预定的递减边界内。自抗扰技术的引用保证了该方法具有很好的抗干扰性。最终,仿真结果证明了本文提出的控制方法的有效性。

参考文献

- [1] Huang A, Chen Y. Adaptive sliding control for single-link flexible-joint robot with mismatched uncertainties [J]. IEEE Transactions on Control Systems Technology: A Publication of

- the IEEE Control Systems Society, 2004, 12(5): 770-775.
- [2] Jin S Y, Bae J P, Ho Y C. Adaptive output feedback control of flexible-joint robots using neural networks: Dynamic surface design approach[J]. IEEE Transactions on Neural Networks / A Publication of the IEEE Neural Networks Council, 2008, 19(10): 1712-1726.
- [3] 穆效江. 机械臂的自适应神经滑模控制方法研究[J]. 控制工程, 2015, 22(4): 780-784.
- [4] 穆效江, 陈阳舟. 多关节机器人的自适应模糊滑模控制[J]. 控制工程, 2008(5): 619-622.
- [5] Jhih-Wei H, Jung-Shan L. Backstepping control design of a single-link flexible robotic manipulator [J]. IFAC Proceedings Volumes, 2008, 41(2): 11775-11780.
- [6] Yip P P, Hedrick J K. Adaptive dynamic surface control: A simplified algorithm for adaptive backstepping control of nonlinear systems[J]. International Journal of Control, 1998, 71(5): 959-979.
- [7] Ling S, Wang H, Liu P X. Adaptive fuzzy dynamic surface control of flexible-joint robot systems with input saturation[J]. IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica, 2019, 6(1): 97-107.
- [8] Liu X, Yang C, Chen Z, et al. Neuro-Adaptive observer based control of flexible joint robot[J]. Neurocomputing, 2018, 275: 73-82.
- [9] Singh H P. Simulation of neural network based adaptive compensator control Scheme for multiple mobile manipulators with uncertainties [J]. International Journal of Nonlinear Sciences and Numerical Simulation, 2014, 15(3-4): 181-188.
- [10] Xie X L, Hou Z G, Cheng L, et al. Adaptive neural network tracking control of robot manipulators with prescribed performance [J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering, 2011, 225(6): 790-797.
- [11] Min W, Anle Y. Dynamic learning from adaptive neural control of robot manipulators with prescribed performance [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, 2017, 47(8): 2244-2255.
- [12] 李小花, 杨瑞芳, 刘辉, 等. 一类机械臂系统自适应有限时间有界 H_∞ 跟踪控制[J]. 控制理论与应用, 2021, 38(1): 147-156.
- [13] Zhao D, Li S, Zhu Q, et al. Robust finite-time control Approach for robotic manipulators [J]. IET Control Theory & applications, 2010, 4(1): 1-15.
- [14] Chen Q, Shi H, Sun M. Neural network based finite-time adaptive backstepping control of flexible joint manipulators [C]//Neural Information Processing: 24th International Conference, Guangzhou, 2017.
- [15] Hardy G, Littlewood J, Polya G. Inequalities [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1952.
- [16] 王刚, 李小花. 柔性关节机械臂的自抗扰预设有限时间跟踪控制[J]. 辽宁科技大学学报, 2021, 44(5): 363-370.
- [17] 程春华, 胡云安, 吴进华. 非仿射纯反馈非线性系统的自抗扰控制[J]. 自动化学报, 2014, 40(7): 1528-1536.
- [18] 陈志广. 柔性关节机械臂的神经网络控制与确定学习 [D]. 广州: 华南理工大学, 2019.

(责任编辑: 李 顺)

(上接第58页)

高, 具有可靠的应用性。

参考文献

- [1] 鲍久圣, 章全利, 葛世荣, 等. 煤矿井下无人化辅助运输系统关键基础研究及应用实践[J]. 煤炭学报, 2023, 48(2): 1085-1098.
- [2] 杨彦宏. 渭北松软煤层开采辅助运输系统优化设计[J]. 煤炭工程, 2022, 54(6): 18-23.
- [3] 云涛, 潘泉, 郝宇航, 等. 基于HRRP时频特征和多尺度非对称卷积神经网络的目标识别算法[J]. 西北工业大学学报, 2023, 41(3): 537-545.
- [4] 刘旭东. 新型高速人车在矿井辅助运输系统中的应用[J]. 机械管理开发, 2017, 32(11): 73-74+77.
- [5] 张学勇, 曹树峰, 张永全, 等. 掘进后配套新型辅助运输系统探讨与研究[J]. 科技视界, 2012(33): 92+44.
- [6] 郑庆新, 吕清华, 沈兆振. 新型采区无转载单轨辅助运输系统[J]. 煤矿安全, 2011, 42(5): 70-71+74.
- [7] 高峰. 煤矿井下辅助运输系统设计方法与智能调度研究[D]. 青岛: 山东科技大学, 2011.
- [8] 倪乐新, 宋连启, 郭祥水. 矿井新型辅助运输系统设备选型初探[J]. 煤矿现代化, 1995(3): 30-33.
- [9] 耿兆瑞. 采用新技术装备加速发展矿井辅助运输系统机械化[J]. 煤炭科学技术, 1987(7): 39-48+62-63.

(责任编辑: 李 顺)

基于智能交通系统的城市路网布局评价及优化策略研究

白彦霞 王欢 段昱臻 刘伯豪

(燕京理工学院)

摘要: 智能交通系统是利用信息和通信技术,对城市交通进行高效智能化管理的新型系统。本文从智能交通系统的概述、城市路网布局评价指标与方法、城市路网优化策略,以及智能交通系统的社会效益与可持续发展四个方面展开了深入探讨。

关键词: 智能交通系统;城市路网;优化策略

项目: 本文系河北省高等学校科学技术研究项目《物联网关键技术智能交通中的应用研究》研究成果,项目编号:ZC2023171。

随着城市化步伐的加快,城市交通面临的挑战日益突出。面对不断增加的交通需求,传统城市交通管理方式显得力不从心。智能化交通系统的引入,成为优化城市交通状况的重要手段之一。研究智能交通系统在路网布局评价及优化策略中的应用,可以为提高城市交通的效率与安全提供科学依据及操作指南。

1 智能交通系统概述

智能交通系统是运用信息和通信技术,对城市交通进行智能化管理的一种系统。它的核心在于高效地收集、处理和传递交通信息,并通过精确地调节交通流量提高城市交通的运行效率。在城市交通管理中,智能交通系统广泛应用于交通流量监测、信号灯控制、路况预测等多个领域。首先,利用装载的多种感应器和监管装置,智能交通系统能够即时搜集路面上各种交通信息,包括车辆的多少、行驶的速度、路况的好坏等,以此达到对交通流量的全方位监控。其次,利用数据挖掘技术对数据进行精确解析与预判,系统能够辨识交通堵塞和交通事故等状况,并迅速调整、及时采取相应对策。智能交通系统运用大数据、

智能算法等,对路口的车流和路况进行实时监控,智能调节红绿灯的变换节奏和循环周期,这样可以减轻交通压力,缩短车辆等待时长,从而显著提升交通流畅度。最后,智能交通系统还融合了过往和当前的道路使用数据,能够预见并模拟未来的道路状况,辅助交通管理部门做出科学的调度,进而提升整体交通的流畅性。在城市交通的复杂网络中,智能交通系统扮演着重要的角色,它通过高效地收集、加工以及传递各类交通数据,进而实现对车流的精细调整,为改善城市的交通架构提供了坚实的助力^[1]。

2 城市路网布局评价指标与方法

2.1 评价指标的选择

评价城市路网布局的指标,是城市交通规划与管理的关键要素之一。在智能交通系统日渐普及的今天,传统的评价方法,如路况拥堵指数、平均行车速度,以及交通事故发生率等依旧具备其评价价值。然而,为了全方位衡量城市交通网络布局的成效,势必要融入一些新的评价准则。道路拥堵指数是评价交通拥堵程度的关键参数,由车辆的密集度和行驶速度计算得出,但在智能交通系统中,

我们还可以利用实时数据构建拥堵预测模型,以更精确地判断道路的拥堵状况。城市交通的流畅性可通过平均行驶速度来衡量,而智能交通系统的运用,能够把分析细分至各个时段与各类道路,从而对城市道路网的交通状况做出更为精确的评价。在智能交通领域,利用过往事故记录及车流量信息构建的风险预测模型,能够事先估算交通隐患,进而实施有效的交通管制。除了常规指标,智能交通系统的运用还能追加新的评价准则,如网络连通性和交通信息覆盖率。城市路网的连通性与完整性可通过网络连通性来体现。同时,交通信息覆盖率则揭示了交通信息在城市各区域的普及程度,这些指数在评估城市路网布局的全面与高效方面占据着至关重要的地位^[2]。

2.2 评价方法的建立

对城市路网布局进行评价时,需要全面考虑多种指标,并对城市交通系统的整体情况进行客观判断,这样才能为有效的交通规划和管理决策提供支撑。常用的评价方法包括层次分析法和模糊综合评价法等。首先,层次分析法是一种结合定性与定量的多指标决策技术,通过建立层次模型,把复杂的评价难题拆分成多个层级,进而层层衡量和判定各个考虑因素的重要性,以便选定最优计划。对城市交通网络布局进行评价时,需要考虑交通堵塞状况、行车速度、路况安全等多方面因素,利用层次分析法搭建评价模型,专家评估或统计数据处理后,确定各项指标的相对重要性,进而可以对城市交通网络的整体性能进行全面分析^[3]。其次,采用模糊数学理论构建的综合评价体系,可以有效应对评价指标间的不确定与模糊问题。构建评价模型时,应考虑到城市的特点与出行需求的差异性,应用模糊综合评价法可以更准确地描绘城市交通的复杂性和多变性,从而提升评价结果的精确性与可信度。同时,构建可实施且可循环的评价体系,能够助力城市交通规划和管理持续性与常态化,进而为城市交通系统的不断升级和完善提供有力支撑。

3 城市路网优化策略

第一,交通信号优化。利用智能交通系统对交通信号进行优化调整,是提高城市交通运行效率的重要手段。利用尖端技术对路况进行实时追踪,智能交通系统能够收集丰富的交通信息,并通过高级计算方法和预设模型对信号灯控制进行自动化优化。利用尖端技术构建的智慧交通网络,能够即时跟踪并计算道路交通的流量和车流密度,精确获取交叉口的实时交通情况。借助这些数据,系统能够自动调整交通信号的时序与周期,根据交通流量的变化进行实时优化。例如,在交通最为拥挤的时段,智能系统能够对信号灯进行优化调整,将拥堵方向的交通信号延长,同时减少其他方向的红灯等待时间,以此达到疏导车流、减轻拥堵的效果。

第二,道路规划优化。智能交通系统对于道路规划的优化起到了关键作用,它能够合理调配交通流量,显著降低交通事故的发生率,进而提升整个路网的运行效率。智能交通系统能借助即时信息与预测算法,全方位监测路况,涵盖车辆流动、行驶速度与拥堵程度等方面。智能交通系统通过高效调控交通信号和分配车流量,合理规划行车路径,有效缓解拥堵和减少交叉口的车辆堵塞,进而降低了交通事故发生的风险。智能交通系统还能通过即时刷新路况、智能引航等功能,向驾驶者提供最新的道路信息与最优行进路径,从而降低了事故发生的概率,增强了行车的安全性^[4]。

第三,智能导航引导。利用先进的智能导航技术,驾驶者能够获取即时路况与优选行车路径,这不仅显著缩短了在路上花费的时间,还大幅降低了燃油消耗。智能导航系统依托卫星定位和交通信息,能够实时跟踪路况,包括拥堵和事故等情况,对各路段通行情况进行精确判断。依托即时路面情况,智能导航可以协助驾驶者找到最佳行车路径,并依据实时交通情况和车辆所处位置,灵活调整行车路线,规避交通拥堵区域,挑选畅通道路,确保以最短时间抵达预定目标。如此一来,

驾驶员可有效规避堵车现象,从而缩短行车时长。

第四,公共交通优先发展。优先扶持和推进公共交通的发展,是减轻交通拥堵、提升城市交通效率的重要策略。优化和提升公共交通设施,可以增强市民乘坐时的满意度和便捷感受,进而促使更多市民倾向使用公共交通工具。借助拓展公交线路、增加运行次数、升级交通工具与站点条件等手段,可以助力公交服务品质的提升,进而迎合市民复杂多样的出行要求。政府可出台相关政策及措施,鼓励市民减少对私人汽车的依赖,转向公共交通运输工具,改变出行方式。通过对城市公共交通网络进行科学的设计与安排,能让公共交通变成连接城市各处的便捷桥梁^[5]。

第五,智能交通设施建设。增加对智能交通系统的资金投入,重点发展智能交通信号系统及监控设备,是提高交通管理科技水准与效率的核心策略。智能交通信号灯能够依据实时交通流量数据,灵活调整信号灯的时长和次序,从而优化交通流量的分配,有效缓解交通拥堵的问题。这种智能化交通信号管理方案,不仅优化了交通流畅性,同时减少车辆排队等待的时间,也节省了燃油并缓解了环境污染问题。部署智能交通监控系统,能对路况进行全天候监控与管理,确保交通流的顺畅与安全,这些设施包括监控交通的摄像头、感应器和数据处理终端等,它们通过抓取并处理关于交通流量、行驶速度、路面状况的数据,能向交通管理部门提供精确的数据支撑。利用这些信息,交通管理部门能够迅速辨识并处置交通事故、违规行为等突发状况,从而提高道路安全等级。

4 智能交通系统的社会效益与持续发展

借助智能化管控,比如优化交通信号灯配时与提供智能路线规划,能够显著缓解道路拥挤和降低污染物排放。依据实时交通流量的变化,智能交通系统能灵活调整交通信号灯的亮灯时长和变换顺序,保障道路运输的高效流畅,进而降低车辆等待时长和燃油消耗。智能导航技术通过对

路况的实时监控,能为驾驶员找出一条高效通行的路径,避开交通拥堵区域。此外,借助智能交通系统,还能够有效降低车辆碰撞的风险,借助其精确的管理与时刻更新的监控,能大幅度提高道路安全总体质量。智能交通系统的打造与运作,为经济繁荣与社会和谐注入了活力,也带动了包括信息技术、通信设备、交通管理在内的众多产业发展。

5 结束语

智能交通系统在城市交通管理中展现了巨大的潜力和效益。借助对交通数据的快捷搜集、优化处理及快速传输,智能交通系统能够对车流量进行精确调度,进而有效提高城市道路交通的运输效率。在评价道路网络分布优劣时,融入既有的评价准则与智能交通系统特有的量化标准,能够对道路网络的布局成效进行更为深入和全面的评定。基于此,优化城市路网,关键在于交通信号的智能化调整、道路的科学布局、高精度智能导航的引入、优先发展公共交通,以及建设先进的智能交通系统。未来,智能化交通的不断进步及其运用,将为推动城市交通的长期优化与提高市民生活水平提供关键助力。

参考文献:

- [1] 张建华,吕威.城市智能交通管理系统建设应用存在的问题与对策思考[J].武汉公安干部学院学报,2023,37(4):21-27.
- [2] 牟珊珊.智能交通管理系统对交通运输效率的影响与评估[J].中国设备工程,2023(S2):98-100.
- [3] 王凌,刘树青,赵阳,等.基于实时动态信息分析的智能交通信号联控系统[J].自动化博览,2023,40(12):42-46.
- [4] 东升.城市轨道交通供电智能运维系统应用研究[J].电气化铁道,2023,34(5):61-65.
- [5] 侯成凯,徐欣.轨道交通车辆牵引系统智能运维研究[J].工业仪表与自动化装置,2023(5):107-111.