



2025 年 第 2 期

# 江苏省计算机学会

COMMUNICATIONS OF THE JSCS



——理论创新与应用落地并重的科研育人之路  
——在“数能一体智能感知”科研征途上开拓创新

# 江苏省计算机学会常务理事单位

## 南京中医药大学人工智能与信息技术学院

学院前身是南京中医学院 1984 年成立的“中医计算机应用研究中心”，2003 年成立了信息技术学院。2019 年 6 月，为了加强现代信息技术对医药类主干学科的支撑融合，发展人工智能、智能医学和医学信息工程与技术，学院更名为人工智能与信息技术学院。2025 年 5 月，学院获江苏省首批省级人工智能学院。目前学院拥有“计算机科学与技术”国家一流本科专业和校级重点学科、“软件工程”江苏省一流本科专业和校级重点培育学科，与文献所共建“中医药信息学”国家中医药管理局重点学科，拥有“南京中医药大学唐仲英中医疫病研究中心”和“江苏省智慧中医药健康服务工程研究中心”，设有“计算机科学与技术”、“软件工程”、“医学信息工程”、“人工智能”4 个本科专业，以及“软件工程”一级学科硕士点、“中医药人工智能”交叉学科博硕士点、“中医药信息学”自主设置二级学科博硕士点，在校学生 700 余人。

学院下设中医药人工智能系、医学信息系、计算机系、智能软件系等 4 个系，计算机基础教学部、数学教学部、物理教学部等 3 个教学部，以及“信息技术实验中心”和“医药信息技术实践教育中心”2 个省级实验教学示范中心。现有教职工 79 人，其中专任教师 65 人，具有高级职称约占 48%、具有博士学位约占 66%，博士生导师 3 人、硕士生导师 17 人；江苏省教学名师 1 人、江苏省有突出贡献中青年专家 1 人、江苏省高校“青蓝工程”科技创新团队 1 个、江苏省“333 工程”中青年科学技术带头人 3 人、江苏省“六大人才高峰”培养对象 3 人、江苏省高校“青蓝工程”中青年学术带头人 3 人、江苏省高校“青蓝工程”优秀青年骨干教师 5 人；青年教师中有近 20 人赴澳大利亚悉尼大学、西悉尼大学、斯威本科技大学、美国弗吉尼亚大学等高校进行课程培训和学术交流。近 3 年学院专任教师主持国家自然科学基金项目和国家重点研发计划子课题等国家级项目 18 项，获山东省科技进步一等奖、全国商业科技进步一等奖等省部级教学科研成果奖 20 多项。

学院积极探索教书育人的新思路、新方法，立足制度创新、方法创新、活动内容和形式创新，有效实施学生教育、管理和服务工作。选拔优秀教师担任本科生导师，全体教师党员与学生班级共建，教师指导学生开展第二课堂教学、开办学术讲座、开展师生共建等丰富多彩的活动，学院形成了良好的育人环境，大学生综合素质和实践能力得到全面提高。通过学赛结合、一室一赛、科研反哺教学等措施，近 3 年指导学生在中国“互联网+”大学生创新创业大赛、“挑战杯”全国大学生课外学术科技作品竞赛、全国大学生数学建模竞赛、中国大学生服务外包创新创业大赛、中国大学生计算机设计大赛、“蓝桥杯”全国软件和信息技术专业人才大赛等国家级和省级学科竞赛中获奖 300 余项，学生创新精神及实践能力得到显著提高。

学院建立了全面的就业指导服务体系，毕业生就业率均在学校名列前茅，且就业质量高，专业对口率高，多数在 IT 企业、医院、医疗机构、政府机关等企事业单位从事计算机相关工作。部分优秀毕业生考入浙江大学、南京大学、东南大学、中山大学、哈尔滨工业大学、华东师范大学、英国谢菲尔德大学、英国伯明翰大学、英国约克大学、澳大利亚墨尔本大学、澳洲国立大学、圣安德鲁斯大学、斯威本科技大学等国内外知名大学攻读硕士研究生。

学院已与 10 多家软件企业建立了实习基地，同时依托学校所建立的江苏省中医院等 50 多家附属医院和临床实习医院，为本科生的教学实践和毕业实习提供了广阔的实习实践平台。





# 江苏省计算机学会通讯

COMMUNICATIONS OF THE JSCS

## 封面

南京中医药大学人工智能与信息技术学院

## 教学成果

01 | 新时代软件人才“三统一三融合”育人模式的构建与实践 | 戴海鹏

05 | 将开源软件的协作开发模式引入程序设计实践教学 | 王肇康

## 政策解读

10 | 打造“5G+ 工业互联网”512 工程升级版实施方案

12 | 新修订的科普法“新”在哪 科技部解读

## 学术交流

14 | 基于增量小样本学习的图像语义分割方法研究 | 师广琛

27 | 面向多跳无人机自组织网络的路由协议研究 | 翟文斌

## 会员风采

36 | 理论创新与应用落地并重的科研育人之路 | 王楚豫

38 | 在“数能一体智能感知”科研征途上开拓创新 | 傅忱忱

## 科学普及

41 | 中国 AI 长卷（二） 框架立基

## 科创成果

48 | 智能车载多音区音频管理系统及产业化应用

56 | 重点人员关系网络挖掘及可视化平台关键技术及应用

## 会员单位

60 | 南京普拓信息科技有限公司介绍

64 | 上海金桥信息股份有限公司简介

## 封底

南京秉蔚信息科技有限公司

### 顾问委员会

主 任：周志华

副主任：武港山 耿 新 刘 昊

陈 兵 李千目 李凡长

周 勇 肖 甫 李 斌

吴小俊 毛启容

委 员：罗军舟 肖 亮 申富饶

陶先平 吉根林 胡孔法

张道强 黄 强 邓建明

李 畅

### 编委会

主 编：路 通

副主编：金 莹 申富饶 聂长海

张 洁

编 委：徐大华 石 克 吴春雪

严 诚

地 址：中国江苏省南京市栖霞区

仙林大道 163 号

邮 编：210023

电 话：025-89680909

邮 箱：jscs@njn.edu.cn



# 新时代软件人才“三统一三融合”育人模式的构建与实践

——南京大学戴海鹏副教授

## 1. 成果简介

随着“互联网+”、“大数据”和“人工智能”技术的快速发展，计算机软件技术已经成为推动社会进步的关键驱动力，这对计算机软件专业人才的培养提出了新的标准和挑战。戴海鹏自2014年入职南京大学以来，一直坚持立德树人与科研育人，以培养高素质、强能力的创新型人才为己任。

针对学生们存在的不善于发现问题、理论与实践不匹配、专业素养与道德素养不平衡的问题，戴海鹏牢固树立“育人为本、德育为先”的理念，践行教学、科研和育人三统一的为师理想，将“顶天、立地、树人”作为自己工作追求的目标。戴海鹏以时代发展为导向，在教学育人方面坚持“问题驱动”和“践履笃行”的教学理念，在科研育人方面坚持“知行合一、止于至善”的指导思想。

通过十余年的探索与实践，成果显著。戴海鹏荣获江苏省教学成果奖二等奖，主持教育部协同育人等教改项目3项。指导博士生15名，毕业5名，硕士生31名，毕业11名。推荐多名学生赴美国普林斯顿大学、约翰霍普金斯大学、新加坡国立大学、德国哥廷根大学等海内外名校深造，指导博士毕业入职清华大学、南京大学等高校，获得CCF优博等荣誉，及国家自然科学基金优秀青年基金等资助；指导多名毕业生入职上海国安局、杭州公安局等政府单位，及以华为天才少年、阿里星被华为、阿里巴巴、腾讯、字节跳动等头部公司聘用。多次指导学生获得CCF A/B类最佳论文等奖项3次、中国国际“互联网+”全国银奖、“挑战杯”全国一等奖等。指导本科生大创项目获得国家级优秀；指导8位博士获得江苏省研究生科研创新计划项目资助；指导23位本科生毕设。近年来作为排名第一老师指导研究生发表一作CCF A类论文12篇。在公众号、直播平台发布文章和汇报共吸引近1万余次阅读观看。

## 2. 成果主要解决的教学问题及解决教学问题的方法

### 2.1 成果主要解决的教学问题

(1) 学生在主动探索和解决问题的能力方面有待提高。

传统的教学模式依赖于教师的讲授，导致学生习惯于被动接受知识，缺乏自我驱动力去主动寻找信息和解决问题。

(2) 过于关注学术成就，而未能充分强调思想政治教育和道德素质的培养。

在资源有限的情况下，学生可能会更倾向于将资源投入到可以直接提高学术成绩的领域，从而忽视思想政治教育和道德素质的培养。

### 2.2 解决教学问题的方法

(1) 坚持“问题驱动”和“践履笃行”的教学理念



戴海鹏致力于引导学生循序渐进，主动分析问题和解决问题，培养学生的创新创业能力和实践能力，提升学生的学习热情和求知欲。

近年来，戴海鹏共指导 23 位本科生毕业设计，鼓励本科生参与研究生的研究课题，培养学生的科研和实践能力，同时在理论推导、算法实现、实验验证等方面上发挥积极作用。此外，戴海鹏也吸引多位本校和外校本科生参与课题组日常组会和科研讨论中，让学生了解计算机网络算法和国内外最新研究进展。

在培养学生过程中，戴海鹏不断强化学生的学术交流和团队合作能力。戴海鹏积极支持本科生参加国内外学术交流，多次组织本科生研究生组成创新团队，带领他们参加学科竞赛和学术竞赛屡获佳绩。

为了进一步拓宽学生的国际视野和提升实践创新能力，戴海鹏带领他们参加主持的与华为、阿里、腾讯等行业领军企业的创新合作项目，提升他们的国际化视野和实践创新能力，成效显著。

在支持本科生深造方面，戴海鹏始终持开放态度，鼓励他们追求更高的学术目标，推荐多名同学前往国内外高校进行进一步深造。

#### (2) 坚持“知行合一、止于至善”的指导思想

在研究生的学术教育中，戴海鹏致力于将理想信念、价值理念与道德观念融入科研实践活动之中，力求在科研活动中既能培养学生的基本学科、学术素养，又能引导学生树立正确的政治方向、价值取向、学术导向。

至诚报国的理想追求——将个人发展与国家利益紧密结合，坚定他们的政治信念，培养他们成为有责任感和使命感的研究者；

敢为人先的科学精神——勇于探索未知领域，培养他们面对科学问题时的勇气和坚持，以及追求真理的科学精神；

开拓创新的进取意识——鼓励他们在研究中勇于突破传统框架，探索新思路、新方法，培养他们的创新思维和解决问题的能力；

严谨求实的科研作风——培养学生对待科研工作的严肃态度和严格遵循学术规范的习惯，确保研究工作的质量和可靠性。

#### (3) 坚持“育人为本、德育为先”的德育理念

戴海鹏在聘期中，坚持立德树人的根本任务，贯彻落实全国教育大会精神和全国高校思想政治工作会议精神及习近平总书记在北京大学师生座谈会上的重要讲话精神，注重将思想道德教育融入教育教学的全过程中。

对于自己，戴海鹏秉持“德高为师、身正为范”的师德理念，不断加强自身的思想道德修养，坚持言传和身教相统一。

对于学生，戴海鹏秉持“育人为本、德育为先”的育人理念，加强对学生的爱国主义、集体主义、社会主义的思想道德教育，培养德才兼备的青年人才。

戴海鹏始终将实现“两个一百年”奋斗目标、实现中华民族伟大复兴的中国梦，培养德才兼备、全面发展的高层次专门人才作为自己教书育人的使命与光荣。戴海鹏牢固树立“育人为本、德育为先”的理念，践行教学、科研和育人三统一的为师理想，将“顶天、立地、树人”作为自己工作追求的目标。

### 3. 成果的创新点

#### 3.1 教学理念创新：坚持“问题驱动”和“践履笃行”的教学理念

培养学生创新能力的核心在于全方位提升学生思维能力，创造性的提出了“问题驱动”和“践履笃行”的教学理念。学生通过对现实问题的深入探究和解决，培养提出问题的能力；通过实际的操作和实践，培养解决问题的计算思维能力；结合“互联网+”、挑战杯等学科竞赛，以及参加 CCF A 类国际顶级会议 ACM SIGCOMM、ACM SIGMOD 举



办的程序大赛，提高将所学知识迁移到不同领域解决问题的科研创新能力。戴海鹏部分教学理论和思想最终形成教学论文 5 篇，其中包括英文 EI 论文 2 篇，并荣获 2024 年中国高校计算机教育大会最佳论文奖、及教学案例大赛优秀奖。

### 3.2 指导思想创新：坚持“知行合一、止于至善”的指导思想

以“知行合一、止于至善”的指导思想为主线，优化科研育人过程，实现学术教育与价值教育的深度融合。推进最新科研成果反哺教学，加强教师指导学生参与项目研究或创新竞赛。深化“校企共建、产教融合”，与华为、阿里巴巴、腾讯、国家电网、中移动等企事业单位合作，实现资源互用、优势互补，培养职业素养、创新创业意识。

### 3.3 思想德育创新：坚持“育人为本、德育为先”的德育理念

“育人为本、德育为先”的德育理念强调将德育融入教育教学全过程，关注学生的个性发展、兴趣和需求，以学生为本，促进学生全面发展。这一理念有助于解决传统德育教育中存在的重知识传授、轻品德培养的问题，有效提升学生的道德素养和人文素质，有助于培养德智体美全面发展、具备创新精神和实践能力的优秀人才，为学生的终身发展和全面发展奠定坚实基础。戴海鹏在南京大学担任共计 6 年研究生德育导师和本科生新生导师，工作表现突出，并荣获 2020 年南京大学青年五四奖章（全校 9 人）。

## 4. 成果的推广应用效果

### 4.1 立德树人效果显著

#### (1) 人才培养成效

戴海鹏任职期间共指导博士生 15 名，毕业 5 名；指导硕士生 31 名，毕业 11 名。培养和推荐多名学生赴美国霍普金斯大学、伊利诺伊大学厄巴纳 - 香槟分校、普林斯顿大学、普渡大学、莱斯大学、新加坡国立大学、香港大学等国内外名校深造。成功推荐曾指导科研的本科生韩明浩同学去新加坡国立大学、马煜同学去香港大学读研，以及陈思文同学去加利福尼亚大学圣迭戈分校深造。

联合指导王蔚峻博士赴德国哥廷根大学交流，先后获得哥廷根大学和南京大学博士学位，并荣获德国计算机学会网络及分布式系统专委会优秀博士论文提名（全德国 3-5 人），为南京大学历史上首次，现已入职清华大学博士后，于 2023 年成功入选“国家海外博士后引才”计划，同年成功入选清华大学“水木学者”计划，并获得国家自然科学基金青年基金资助。联合指导李猛博士毕业留校担任南京大学助理研究员，获得南京大学优秀博士学位论文，以及 IEEE 卓越领导力奖等荣誉，并获得国家自然科学基金青年基金资助，以及作为课题负责人获得国家自然科学基金中移动联合基金重点项目资助。联合指导汪笑宇博士入职苏州大学，并获评苏大优秀青年学者，现已担任计算机学院团委副书记，并升职为副教授。

戴海鹏指导的多名学生毕业后入职上海国安局、杭州公安局等政府单位；多人以华为天才少年、阿里星等待遇被华为、阿里、腾讯、字节跳动、蚂蚁金服、微软、网易、华泰证券等头部公司聘用。

#### (2) 学科竞赛成效

参加双创竞赛和学科竞赛屡获佳绩，包括荣获中国国际“互联网+”大学生创新创业大赛 2 项（全国银奖 1 项，江苏省一等奖 1 项），“挑战杯”全国大学生课外学术科技作品竞赛 2 项（全国一等奖 1 项，江苏省特等奖 1 项），全国高校物联网应用创新大赛一等奖及最佳指导教师奖；CCF A 类计算机网络顶级会议 ACM SIGCOMM 2019 举办的黑客马拉松竞赛 (Hackathon) 全球第 3 名，CCF A 类数据库 / 数据挖掘顶级会议 ACM SIGMOD 2024 举办的程序竞赛全球第 6 名，中国大学生计算机设计大赛二等奖，“新大陆杯”大学生计算机设计大赛江苏省特等奖，百度千帆杯 AI 原生应用开发挑战赛第 1 名，无线通信 AI 大赛三等奖，中国高校计算机大赛网络技术挑战赛华东赛区二等奖等。

### (3) 项目指导成效

指导本科生开展大学生创新训练计划项目已结题 8 项，其中 1 项获得国家级优秀成绩；进行中 7 项，共指导 23 位本科生。指导 8 位博士获得江苏省教育厅开展的江苏省研究生科研创新计划项目资助，每人资助额度为 1.5 万。

### (4) 论文指导成效

近 5 年指导本科生发表论文 4 篇，其中包括 CCF A 类 2 篇，CCF B 类 2 篇。作为排名第一老师指导研究生发表一作论文 19 篇，含 CCF A 类 12 篇，CCF B 类 4 篇；指导学生 1 人获得南京大学计算机科学与技术系（计算机学院前身）优秀硕士学位论文，1 人获得南京大学计算机科学与技术系优秀硕士学位论文提名。指导万浩然博士获得 CCF A 类会议 UbiComp 杰出论文奖；指导郑嘉琦博士获得 CCF B 类会议 IEEE ICNP 唯一最佳论文奖；指导凌康博士获得 CCF B 类会议 IEEE SECON 最佳论文奖亚军；指导宋金鹏硕士获得 CCF C 类会议 WASA 最佳论文奖；指导高宇岑硕士获得 CCF C 类会议 APWeb-WAIM 最佳论文奖。此外，指导凌康博士发表于 CCF A 类期刊的论文“UltraGesture: Fine-Grained Gesture Sensing and Recognition”入选 ESI 高被引论文。

### (5) 学术交流成效

戴海鹏积极支持学生参加国内外学术交流，如指导的 6 位博士获国家留学基金委资助公派前往美国明尼苏达大学双城分校、德国哥廷根大学、新加坡南洋理工大学等学校访学；多次带领本科生参加国内学术交流，如中国图灵大会。

## 4.2 教学改革成果丰硕

戴海鹏曾荣获江苏省教学成果奖（实践教学）二等奖。作为项目负责人主持教育部产学研合作协同育人项目 1 项，教育部中国高校产学研创新基金 1 项，江苏本科高校“理工类公共基础课程教学改革研究”专项课题-重点课题 1 项等。此外，因物联网相关工作受到中国工程院外籍院士、加拿大皇家学会 / 工程学院 / 工程研究院院士、IEEE Fellow 沈学民教授关注，并受邀在其主编专著中编写一章；以及受美国纽约州立大学石溪分校 IEEE Fellow 杨元元教授邀请在其编写的专著中编写一章。

## 4.3 辐射示范影响广泛

戴海鹏在担任开甲书院本科生新生班主任期间，为开甲书院学生做“导师面对面”报告《浅谈如何做科研》，撰写的导师心语文章《本科学习需要做好的“开门七件事”》公众号发表后获得 3700+ 次阅读，为近年之最。戴海鹏相关报告同时在中国计算机学会主办的学生领航计划（SPP）进行直播汇报，吸引在线观看交流学生 4200+ 人，并荣获 CCF 优秀领航员荣誉称号。戴海鹏于 2024 年担任 CCF B 类科学理论领域著名国际会议 COCOON 的 Tutorial & Workshop Chair，向组委会倡导举办计算机科学教育研讨会 (Education Workshop) 和青少年科创实践竞赛 (Competition Workshop)，为会议组织 30 年来首次，后者吸引 1500 余名高中生和本科生参加，有力推动了计算机青少年优秀人才的培养和选拔。此外，戴海鹏参与和阿里巴巴公司共同构建的大数据与 AI 应用加速器 Fluid 入选国际云原生计算基金会 (CNCF) 官方开源项目，评入“全球十大云原生编排调度开源软件”，被阿里云、腾讯云、百度云集成作为标准化云产品服务，目前已被数百家企业广泛采用。戴海鹏指导博士生王瀚橙为 vHive 开源社区多次贡献代码，目前已被 CCF A 类顶级会议 ASPLOS、OSDI 引用，且被 24 所世界一流高校（如南洋理工大学、爱丁堡大学、苏黎世联邦理工大学等）用于教学科研。指导博士生李泽水设计并实现了基于无源感知的转速系统，利用智能手机的声学信号以非接触方式测量旋转物体的瞬时角速度，其性能优于几乎所有现有的商业瞬时角速度测量设备。该工作在知乎等公众媒体获得超过 16 万的阅读量，吸引了众多相关从业人员关注和交流。



# 将开源软件的协作开发模式引入程序设计实践教学

——南京航空航天大学王肇康副教授

## 一、成果简介

程序设计课程开设于大一学年，围绕 C/C++ 语言展开教学。现有程序设计教学多注重编程知识与工程能力的教学目标达成，对于培养学生初步团队协作素质的教学目标关注不足。传统基于课程设计的小组式教学模式，面对知识基础与协作能力薄弱的大一新生，存在项目技术难度高、学生间协作效率低、培养效果不均衡等问题，难以有效培养大一新生的专业协作素质。

针对程序设计教学面临的新挑战，提出将开源协作模式引入程序设计实践教学的新思路，通过实践教学组织方式、教学内容、支持技术创新，提高新生专业协作素质培养效果。本成果的创新亮点包括：

(1) 基于开源协作模式的实践教学组织方式：采用线上线下混合方式，在实践教学阶段增加横跨两周的开源协作教学环节，通过线上基础功能点开发、配合基于“检查单”的代码评审实验课堂教学，以结构化的评审流程、规范化的沟通模式指导，降低新生开展专业协作的门槛和技术难度。

(2) 以贴近生产的软件项目作为实践教学内容指引：在开源协作模式的支撑下，选取更加贴近生产生活场景的软件项目为程序设计实践教学阶段内容，调动学生的专业学习兴趣，通过细粒度的功能分解降低技术内容的技术难度、贴合学生知识基础。

(3) 引入大模型智能助教等新型教学技术支撑：引入大模型智能助教，提高学生基础类问题答疑时效与答疑效率，减少学生学习挫败感，使教学团队可以将精力投入更深层的技术问题。引入 Online Judge 平台实现课程全上机评测考试，为学生实践能力考核提供客观证据支持，并在课外继续支持校 ACM 队训练。

主讲课程“程序设计（一）”评教成绩获得了全校前 1% 位次的优秀等级，相关教学创新成果获得了第四届全国高校教师教学创新大赛一等奖、第四届江苏省高校教师教学创新大赛特等奖。

## 二、成果主要解决的教学问题及解决教学问题的方法

### 2.1 主要解决的教学问题

程序设计是面向计算机类专业一年级学生开设的专业基础课，以 C/C++ 语言为载体，课程除了需要介绍程序设计基本思想、方法和技能，也担负培养学生基于专业知识开展与同行交流协作的初步技能的任务。

现有教学改革多注重编程知识与工程能力的目标达成，对于学生初步团队协作素质（包括协作能力、责任意识与工作作风）重视不足。然而学生团队协作素质将在计算机专业后续课程的课程设计环节中发挥重要作用，是实现



后续课程高阶协作能力培养目标的基础。

然而由于大一新生本身知识基础薄弱、在中学阶段缺乏团队协作能力培养、尚未具备职业责任感意识，如果贸然在第一学期的程序设计课程中直接设置传统的小组式课程设计项目，往往会导致同一小组内学生因团队协作经验缺乏而产生矛盾，易出现“一人干活、多人围观”的状态，难以达成协作能力培养目标。

2.2 解决教学问题的方法

本成果将开源协作模式引入程序设计课程的实践教学环节，分别从教学内容、教学组织与教学技术三个方面提出了相应的创新教学举措、响应学生专业协作素质培养过程中的三个教学问题，解决的思路如图 1 所示。

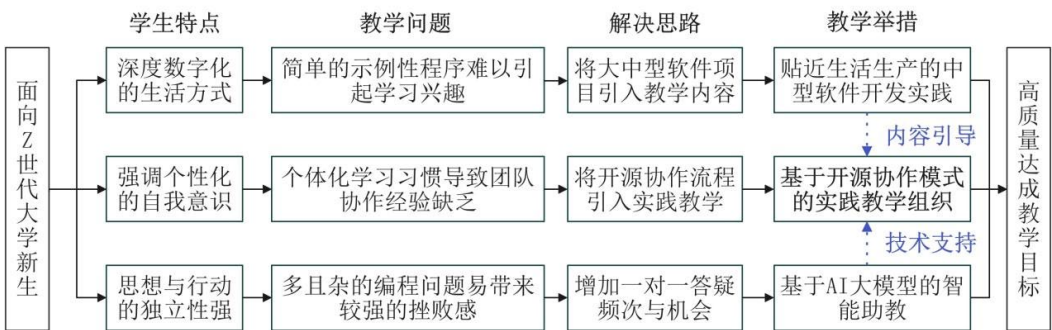


图 1 解决教学问题的整体思路

(1) 基于开源协作模式的实践教学组织方法

为了在更大范围内组织团队协作实践教学，本成果提出基于开源软件的协作开发模式组织实践教学过程。开源协作模式的松散耦合特性降低了成员之间的团队协作要求，其将强协作关系限制在学生与教学团队之间；学生之间只存在弱协作关系，降低了对学生协作经验的要求。开源软件的高度开放性与广泛参与性的特点，使得较大范围的团队协作得以开展。

将每个教学单元组织为理论教学与实践教学两个阶段，两个阶段的线上线下混合教学过程如图 2 所示。第一周的理论课堂教学完成理论内容，第二周的实验课堂进行该单元对应的基于“检查单”的代码评审环节，学生在第一周与第二周期间基于在线代码协作开发平台，借助开源软件的协作开发模式，完成软件基础功能点的开发工作。

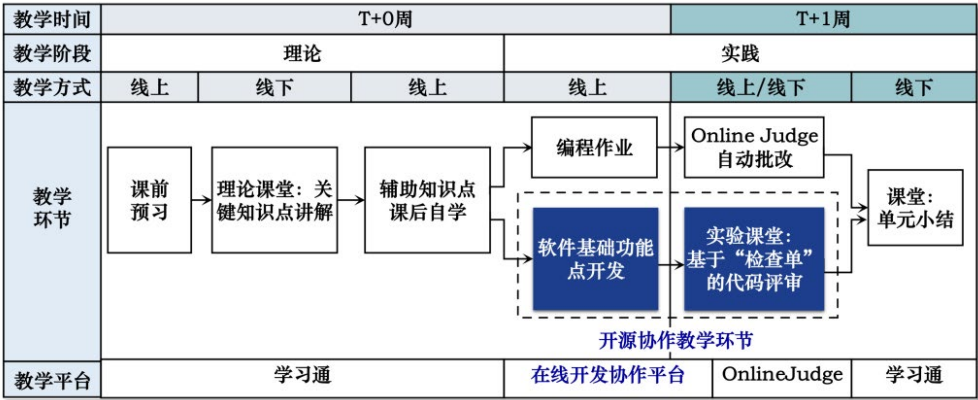


图 2 各单元教学实施过程及时间安排



在实践教学环节引入了图 3 所示的开源软件协同开发模式。在完成教学单元的理论学习之后，对照开源软件的标准开发流程，相应布置编程任务设置、软件基础功能点的本地开发，以及基于检查单的代码评审三个教学环节；其中基础功能点的本地开发是学生实际动手环节，而基于检查单的代码评审环节则是培养交流沟通能力、保证实践教学质量的核心环节。

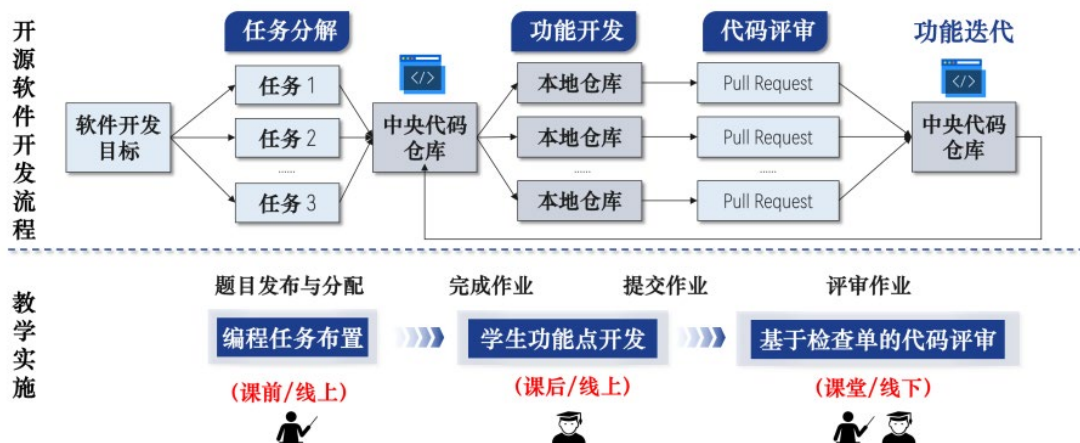


图 3 基于开源协作模式的实践教学环节设置

为了保证代码评审课堂活动的教学质量，本成果从民航飞行检查中借鉴了“检查单”的概念，如图 4 所示的检查单的评审要点以结构化检查项的方式帮助学生按步骤、按标准保证质量的完成评审工作；在评审的过程中加深学生对相关知识的理解；检查项也引导学生以专业的术语围绕具体问题开展交流。本课程设计了三类检查单：程序功能性检查单、代码健壮性检查单与代码风格检查单，覆盖了程序设计的三个重要方面。

	检查项	评审要点	评审人	结论
1	变量初始化	(1) 所有变量均有初始化值，取值合理。 (2) 没有引用未初始化变量。		
2	参数合法性检查	(1) 函数参数取值均检查是否合法。 (2) 参数类型正确,输入输出关系明确。 (3) 程序中没有修改输入类型参数的值。		
3	变量合法性检查	(1) 变量赋值后,变量取值在合法范围内。 (2) 变量赋值语句左右不存在类型不匹配问题。 (3) 隐式类型转换不存在精度丢失问题。		
4	选择分支覆盖完备性检查	(1) if 语句中的条件表达式不存在固定值。 (2) if 语句的所有可能分支均有对应的处理语句。 (3) switch 语句包含 default 标签以及处理语句。		
5	函数返回值完备性检查	(1) 函数所有执行分支中均有对应的 return 语句。 (2) return语句返回类型与函数返回值一致。		
6	.....	.....		

图 4 代码健壮性检查单示例

代码评审课堂活动也是实现课程“做中学”思政教学的主要环节。在代码评审活动中,教师结合学生提交代码存在的具体问题,以评论的形式适时插入关于树立职业责任感、培养严谨细致的工作作风等思政教学内容。

### (2) 贴近实践的软件项目开发作为实践教学内容

本成果提出采用贴近生产生活实践的软件项目开发作为课程实践教学的主要内容,围绕一个具有一定复杂性的软件项目展开实践教学。从特定软件系统的关键功能中,精心提取出问题定义明确、编程目标清晰、编程工作量可控的 20 ~ 30 项基础功能点。根据基础功能点涉及的编程知识,向每个教学单元分配 3 ~ 5 个基础功能点作为该教学单元的编程实践任务。通过更贴近生产生活实践的软件系统,调动学生对计算机专业的学习兴趣,通过协作完成一项软件项目提高学生的成就感与凝聚力。

### (3) 引入大模型智能助教等新型教学技术支持

教学过程中搭建了如图 5 所示的基于 AI 大模型的智能程序设计课程助教。智能助教的引入显著提高了学生实践教学环节中基础技术问题的答疑时效,将答疑响应时间从小时级降低到分钟级。通过向 AI 智能体配置合适引导词与语言风格,输入了 C 语言程序设计相关知识库(例如 C 语言函数手册、常见问答等),智能助教可以在解决回答技术问题时搭配具体的编程示例,适应大一新生知识水平特点。智能助教通过 7\*24 小时的在线服务、第一时间回复学生基础疑问,在降低学生学习挫败感的同时,释放了教学团队解答基础问题的答疑精力,使团队可以更关注深层的技术问题。

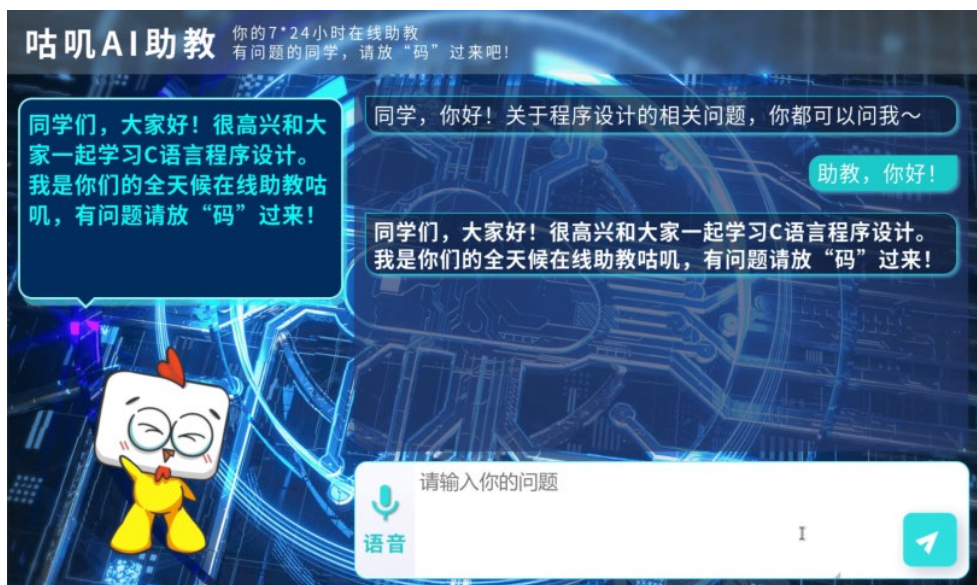


图 5 基于大模型的程序设计课程智能助教

教学过程中在考核环节全面引入了基于 Online Judge 平台的实时评测考核方法,将我校程序设计(一)课程的考核环节转换为全上机测验模式,覆盖全年级 400 余名学生的期中与期末考试。去除了程序设计考核中的主观题目部分,图 6 所示的 Online Judge 平台给学生与教师团队实时客观成绩反馈。该技术的引入既帮助学生能及时了解程序正确性情况,又能给教学团队在成绩评定时提供学生程序正确性的客观证据。

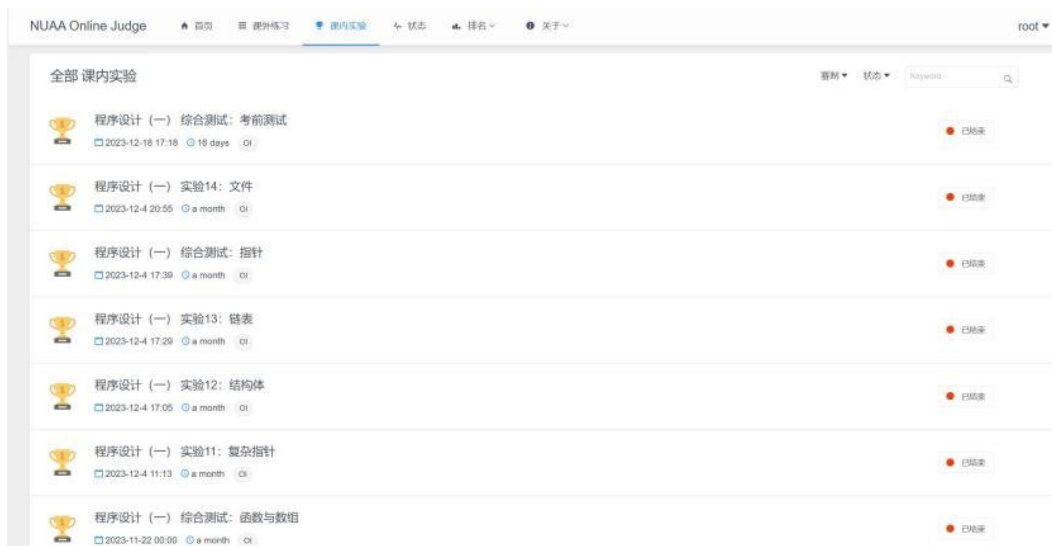


图 6 基于 Online Judge 平台支持日常作业评判与全上机测验

## 三、成果的推广应用效果

教学研究过程获得的创新成果获得了第四届江苏省高校教师教学创新大赛特等奖（主讲人）、第四届全国高校教师教学创新大赛一等奖（团队排名第 2）。主讲课程“程序设计（一）”综合评教以全校前 1% 位次获得优秀评级。教学督导评价本课程讲课精彩，备课充分，积极采用新的教学工具和手段，效果良好，讲解清楚，能够结合课程内容融入思政内容。课程思政教学方法获得了南京航空航天大学 2023 年度课程思政教学竞赛二等奖。





# 打造“5G+工业互联网”512工程升级版实施方案

来源：中华人民共和国工业和信息化部

[https://www.miit.gov.cn/zwgk/zcjd/art/2024/art\\_60f79b48491d4f258f0e481bacbbb60e.html](https://www.miit.gov.cn/zwgk/zcjd/art/2024/art_60f79b48491d4f258f0e481bacbbb60e.html)

## 一、《实施方案》的出台背景是什么？

习近平总书记高度重视 5G、工业互联网发展，多次作出重要指示。发展“5G+工业互联网”既为工业数字化转型提供新解决方案，又为 5G 带来广阔发展空间，更为新型工业网络“换道超车”提供了中国方案。

2019 年，工业和信息化部印发《“5G+工业互联网”512 工程推进方案》。在各方共同努力下，“5G+工业互联网”发展取得阶段性成效。一是基础设施不断夯实。当前我国 5G 基站总数超 400 万个，面向行业的 5G 网络基础设施建设不断加快，全国“5G+工业互联网”项目超过 1.7 万个，形成“以建促用、以用带建”的良好局面。二是产业供给加速提升。国内主流模组厂商引领全球 5G 模组发展，市场占比超 80%。工业 5G 模组价格下探至 200 元，比商用初期下降 90%，产业支撑能力逐步增强。新型工业 5G 终端设备相继涌现，5G CPE、5G 工业网关和 5G 工业路由器等数量超百款。三是应用赋能成效显著。我国“5G+工业互联网”已覆盖全部 41 个工业大类，加速赋能行业企业提质降本增效，在电子设备制造、装备制造、钢铁、采矿等十大重点行业率先发展，形成远程设备操控、机器视觉质检、无人智能巡检等二十大典型应用场景，建成 700 个高水平 5G 工厂。四是产业生态不断壮大。基础电信企业、工业企业、通信设备供应商、行业解决方案提供商、科研机构等产业主体不断壮大，协同发力打好“团体赛”。南京、武汉、青岛等首批“5G+工业互联网”融合应用试点城市启动建设。

当前，“5G+工业互联网”已迈入规模化发展新阶段。一方面，仍存在产业供给不够、综合应用成本较高等问题，“5G+工业互联网”发展面临挑战。另一方面，5G-A 技术加快落地、人工智能技术加速赋能新型工业化、工业 5G 独立专网探索更加活跃，为“5G+工业互联网”发展带来新机遇。为此，立足“5G+工业互联网”发展新阶段、面向新需求新挑战，我们研究出台了《实施方案》。

## 二、《实施方案》的总体思路和目标是什么？

深入贯彻党的二十大和二十届二中、三中全会精神，认真落实党中央、国务院决策部署，准确把握“5G+工业互联网”在新型工业化全局中的定位和作用，以推动工业互联网高质量发展和规模化应用为主线，以加速 IT、CT、OT、DT 融合为牵引，以打造 5G 为代表的新型工业网络体系为重点，《实施方案》系统部署了 18 项重点任务，明确了新的 512 目标。到 2027 年，“5G+工业互联网”广泛融入实体经济重点行业领域，网络设施、技术产品、融



合应用、产业生态、公共服务 5 方面水平全面提升，建设 1 万个 5G 工厂，打造不少于 20 个“5G+ 工业互联网”融合应用试点城市，推动“5G+ 工业互联网”在更广范围、更深程度、更高水平上创新发展。

### 三、《实施方案》与《“5G+ 工业互联网”512 工程推进方案》相比，升级在哪里？

《实施方案》通过升级网络设施、技术产品、融合应用、产业生态、公共服务五大方面能力，引导新阶段“5G+ 工业互联网”高质量发展。

升级网络设施，提升基础支撑能力。面向原材料、装备、消费品、电子等制造业各行业以及采矿、港口、电力等重点行业领域量大面广的企业需要，加快工业 5G 虚拟 / 混合专网建设应用。支持大型企业、特殊行业领域采用符合无线电管理要求的频率资源，试点建设工业 5G 独立专网，加快工业 5G 独立专网在设施建设、应用创新、商业模式等方面的探索实践。加快推进新型工业网络建设，推动各类工业无线 / 有线网络技术融合组网。

升级技术产品，提升产业供给能力。开展 5G-A 关键技术攻关，推进产学研协同构建新型工业网络知识体系和技术架构，支持确定性网络、工业算力、开放自动化等技术创新，加强重点网络产品研发。支持工业企业、基础电信企业、科研机构等建设“5G+ 工业互联网”、新型工业网络等中试创新服务载体，提供中试应用场景和试验环境。支持产业链龙头企业将中试和研发生产一体谋划，形成行业完整中试能力。健全“5G+ 工业互联网”标准化体系。

升级融合应用，提升行业赋能能力。推动新型工业网络与工业互联网标识解析节点、工业互联网平台的一体部署、一体应用，加快“5G+ 工业互联网”典型应用场景规模推广，加速向工业中类延伸拓展。开展工业互联网与重点产业链深度融合“链网协同”行动，持续实施 5G 工厂“百千万”行动。深入开展工业互联网一体化进园区“百城千园行”活动，推动“5G+ 工业互联网”深入国家新型工业化产业示范区、高标准数字园区、中小企业特色产业集群、高新技术产业开发区等。建设“5G+ 工业互联网”融合应用试点城市。

升级产业生态，提升融通发展能力。扩大“5G+ 工业互联网”解决方案提供商、集成服务供应商规模，打造新型工业网络解决方案提供商，梯度培育专精特新中小企业、高新技术企业和“小巨人”企业。强化“5G+ 工业互联网”网络安全技术手段建设。支持工业互联网产业联盟等产业组织与国际产业组织开展技术交流和项目研究，鼓励有能力的企业国际化发展，鼓励国外企业、研究机构、产业组织积极参与“5G+ 工业互联网”发展。

升级公共服务，提升组织保障能力。充分发挥重点公共服务平台作用，为广大企业特别是中小企业提供政策咨询、数字化诊断、供需对接等服务。支持“5G+ 工业互联网”领域技术攻关、技术改造和重点设施建设，推进企业用好国家产融合作平台、地方产融对接平台。引进、培养一批“5G+ 工业互联网”一流科技领军人才和创新团队，壮大卓越工程师、高素质技术技能人才队伍。鼓励各地因地制宜出台配套举措，支持行业协会、科研院所等开展技术培训、供需对接，推广“5G+ 工业互联网”、5G 工厂中国品牌。

## 新修订的科普法“新”在哪？科技部解读

来源：江苏省科技厅

[http://kxjst.jiangsu.gov.cn/art/2025/1/2/art\\_82572\\_11461392.html](http://kxjst.jiangsu.gov.cn/art/2025/1/2/art_82572_11461392.html)

新修订的科普法“新”在哪？据科技部有关司局负责同志介绍，此次修法新增“科普活动”“科普人员”2章内容，由原来的6章34条，增加到8章60条。主要修改内容体现在五个方面。

首先，明确科普的总体要求和目标方向。一是坚持中国共产党对科普事业的全面领导，开展科普应当以人民为中心，坚持面向世界科技前沿、面向经济主战场、面向国家重大需求、面向人民生命健康，培育和弘扬创新文化。二是国家把科普放在与科技创新同等重要的位置。科普是国家创新体系的重要组成部分，是实现创新发展的基础性工作。三是科普工作应当践行社会主义核心价值观，弘扬科学精神和科学家精神，遵守科技伦理，反对和抵制伪科学。四是国家实施全民科学素质行动，引导公民培育科学和理性思维，树立科学的世界观和方法论，提高劳动、生产、创新创造的技能。

第二，强化科普社会责任。一是细化学校科普责任。强调各级各类学校应当加强科学教育，提升师生科学文化素质。二是强化科研机构科普责任。强调科研机构应当使科普成为机构运行的重要内容，为开展科普活动提供必要的支持和保障。三是强化企业、社会团体科普责任。强调科技企业应当把科普作为履行社会责任的重要内容，鼓励企业将自身科技资源转化为科普资源，向公众开放实验室、生产线等科研、生产设施；自然科学和社会科学类社会团体等应当组织开展专业领域科普活动。

第三，促进科普活动。一是支持科普创作、发展科普产业。明确国家支持科普产品和服务研究开发，鼓励高质量科普作品创作，鼓励兴办科普企业，促进科普与文化、旅游、体育、卫生健康、农业、生态环保等产业融合发展。二是加强重点领域科普。明确国家推动新技术、新知识传播与推广；国家部署实施新技术领域重大科技任务，在符合保密法律法规的前提下，可以组织开展必要的科普；加强突发事件预防、救援、应急处置等方面的科普工作，完善应急科普响应机制。三是加强科普信息的监测。要求组织和个人提供的科普产品和服务、发布的科普信息应当具有合法性、科学性。网络服务提供者发现用户传播虚假错误信息的，应当立即采取处置措施，防止信息扩散。四是加强科普工作评估。规定国家完善科普工作评估体系和公民科学素质监测评估体系，开展科普调查统计和公民科学素质测评，监测和评价科普事业发展成效。

第四，加强科普队伍建设。一是国家加强科普工作人员培训和交流，建立专业化科普工作人员队伍；完善科普志愿服务制度和工作体系，支持志愿者开展科普志愿服务。二是国家支持有条件的高等学校、职业学校设置和完善



科普相关学科和专业，培养科普专业人才。三是国家健全科普人员评价、激励机制，鼓励相关单位建立符合科普特点的职称评定、绩效考核等评价制度。

第五，强化保障措施。一是加强科普场馆建设。国家完善科普场馆和科普基地建设布局，扩大科普设施覆盖面；国家鼓励有条件的地方和组织建设综合型科普场馆和专业型科普场馆。二是促进科普资源共享。国家建设完善开放、共享的国家科普资源库和科普资源公共服务平台，推动全社会科普资源共建共享。三是完善科普工作评价激励机制。要求科研机构、学校、企业的主管部门以及科学技术等相关行政部门应当支持开展科普活动，建立有利于促进科普的评价标准和制度机制。

## 学会动态

### “新大陆杯”2025年江苏省大学生计算机设计大赛决赛在常州落幕

又到一年五月下旬，2025年江苏省大学生计算机设计大赛（以下简称“省赛”）于5月23-25日在常州工学院举行了现场决赛。



5月23日下午举行了简单而隆重的开幕仪式，由省赛组委会秘书长 / 江苏省计算机学会副秘书长张洁主持，常州工学院党委常委 / 副校长苍玉权、省赛组委会委员 / 江苏省计算机学会秘书长金莹、省赛执委会主任吉根林、省赛专委会主任殷新春、省赛执委会秘书长叶锡君、省赛专委会秘书长王必友、常州工学院计算机信息工程学院院长胡智喜、常州工学院创新创业学院 / “新工科” 科创学院院长张弘，以及省赛组委会、执委会、专委会代表，常州工学院、江苏省计算机学会、决赛评委代表出席了开幕式，同时开幕式向全体参赛师生进行了直播。

在随后的评审工作会议中所有评委专家们共同商议并确定了2025年省赛决赛的评审规则和评审流程。

5月24日9点正式开启了一天紧张的比赛，从参赛学生到评委老师，再到所有的工作人员和志愿者，忙碌又不失秩序，比赛取得了圆满的成功。



# 基于增量小样本学习的图像语义分割方法研究

## ——2024 年江苏省计算机学会优秀硕士学位论文奖

作者：师广琛

单位：河海大学

指导老师：巫义锐

### 论文摘要

小样本图像语义分割任务旨在通过少量带标注的支持图像，精准分割查询图像中的新类别物体。鉴于标注样本的稀缺性，该任务在自动驾驶、医学图像分析和机器人导航等领域均有广泛的应用前景。

现有方法一般从支持图像集的语义特征中提取类别知识，利用查询图像与类别知识的相关性分割目标边界。然而，类别知识的生成和更新等方面仍存在挑战：第一，由于少量支持图像提供的语义特征过于稀疏，难以建模类别知识，导致模型对支持图像集产生过拟合。第二，由于支持图像集中样本存在类间相似性和类内差异性，类别特征易于混淆，难以在模型的迭代更新过程中保证类别知识的完整表达，导致模型在增量学习新类时，易产生对基类的灾难性遗忘。

针对上述问题，一方面，本文挖掘支持图像和查询图像中的共有视觉信息，建模二者的共性类别知识，并嵌入训练过程以避免过拟合；另一方面，本文在类别知识建模基础上，提出了一类基于增量小样本学习的图像语义分割新模式，通过超类知识表示和自适应迭代更新策略，避免在增量学习过程中发生灾难性遗忘。本文主要完成以下工作：

1. 针对类别知识建模问题，本文提出了用于小样本图像语义分割的主动引用机制，在支持图像与查询图像交互式分割过程中，提取二者轮廓相似性中的上下文信息，完成共性类别知识建模，避免模型过拟合。在支持图像协同分割时，本文通过遗忘增强策略抑制目标类别无关信息，增强目标类别特征表达能力，实现多类别知识的融合建模。该方法在 PASCAL-5i 和 COCO-20i 数据集的 mIOU 值分别达到了 64.8 和 46.7，能够在小样本数据集上缓解训练过拟合现象。

2. 针对类别知识的迭代更新问题，本文提出了一种增量小样本图像语义分割模型。本文首先在前述工作基础上，设计了超类知识表达结构，在类别尺度上描述共享语义特征，在增量学习过程中，固定超类信息以保持对基类的记忆。而后，本文设计了一种基于类别注意力机制的自适应迭代更新策略，通过类别间的疏密关系更新类别嵌入，获得类别互不干扰的知识表示，缓解对基类的灾难性遗忘现象。该方法在 PASCAL-5i 和 COCO-20i 数据集上的 mIOU 值分别达到 49.0 和 30.1，能够有效缓解对小样本训练集的过拟合现象和增量学习过程中的灾难性遗忘现象。

## 专家推荐语

该论文针对类别知识建模问题，提出了用于小样本图像语义分割的主动引用机制，在支持图像与查询图像交互式分割过程中，完成共性类别知识建模，避免模型过拟合。针对类别知识的表示和更新问题，该论文提出一种基于超类表示和自适应更新的增量小样本分割方法，通过超类表示描述类别之间的共享语义特征，利用旧知识表示新知识，从而缓解在小样本设置的过拟合现象。通过自适应更新策略更新类别嵌入，获得类别互不干扰的知识表示，缓解增量学习过程中的灾难性遗忘现象。

该论文深入探讨了一个结合实际问题的选题，展现了其在理论意义与实用价值上的重要性。该论文对本学科及相关领域的文献进行了详细的评述，不仅为研究提供了背景，也突显了研究者对该领域的深刻理解。在理论与方法上，该论文提出了独到而新颖的见解，为未来的研究提供了新的思路。提出的方法具有显著的创新性，推动小样本分割和增量小样本分割研究的进展。此外，论文在逻辑性和结构方面表现出色，条理清晰，使得读者能够轻松跟随研究的思路和论证过程。同时，该论文具有良好的书写规范性与文字表达能力，增强了论文的可读性与学术性。

综上所述，该论文具有扎实的研究基础、创新的方法论、清晰的逻辑结构，以及良好的书写规范，我推荐该论文为江苏省计算机学会优秀硕士生学位论文。

## 论文看点

### 一. 研究背景与研究路线

近年来，随着通信网络的发展和终端摄像设备的普及，数字图像数据呈现出大规模增长的现象。图像分割是实现数字图像理解的前提，精准的图像分割可以为后续理解图像内容提供有价值的信息。随着深度学习技术的快速发展，图像分割任务的性能得到明显提升。然而，深度学习技术需要海量的训练数据作为驱动。对于密集预测的图像分割任务来说，样本的像素级标注工作耗时耗力。在某些专业领域，样本的标注工作只能由专家完成，为其构建大规模数据集的工作难以实现。为解决这一问题，研究人员开展了对小样本语义分割的研究。

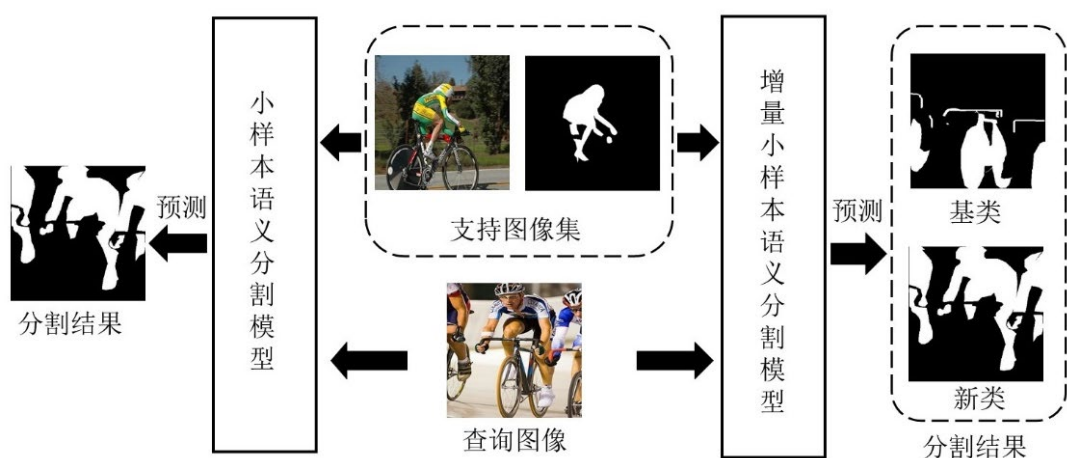


图 1.1 小样本语义分割任务与增量小样本语义分割任务示意图

在实际应用场景中,随着业务范围的拓展,小样本语义分割模型往往会有分割新类别的需求。然而,由于支持图像集中普遍存在类间相似性和类内差异性,现有方法难以完成对类别知识的表示和更新,导致模型在持续学习新类时,产生对基类的灾难性遗忘问题。对此,研究人员将增量学习与小样本语义分割结合,提出了对增量小样本语义分割的研究。

在增量小样本语义分割任务中,算法通过少量带标签的支持图像集,不仅从查询图像中分割新类别物体,还需要分割出基类物体。该任务描述如图 1.1 所示,其中“自行车”被设定为模型已经学习过的基类。由于可用的训练样本非常少,模型只有具备捕捉目标对象的关键特征的能力,才能精准地实现分割任务。同时,增量学习要求模型在不断获得新知识的同时,保持对基类的记忆,这对知识的表示和更新提出非常高的要求。

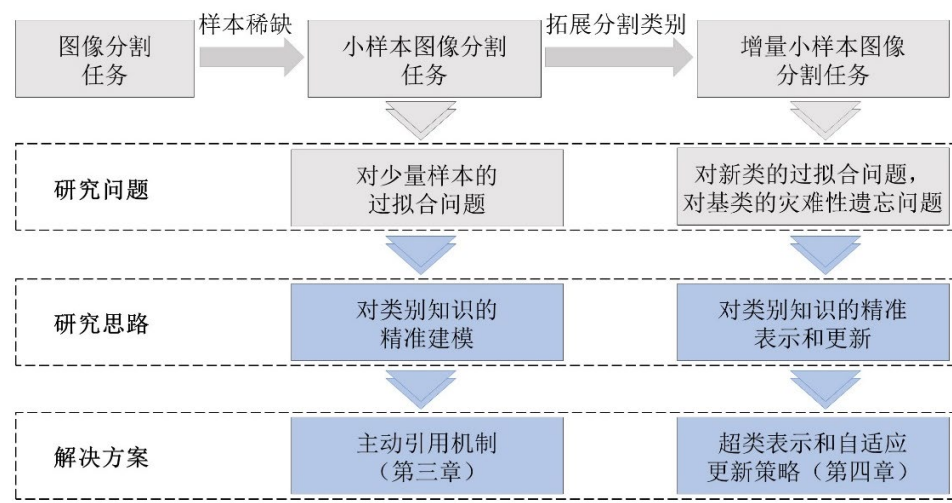


图 1.1 本文研究路线图

本文的研究路线图如图 1.1 所示。首先,本文对小样本语义分割和增量小样本语义分割进行了研究,分析了它们的研究现状和现有问题。然后,针对类别知识精准建模的问题,本文提出了一种用于类别知识精准建模的主动引用机制。最后,针对类别知识的表示和更新问题,本文设计了一种基于超类表示和自适应更新的增量小样本语义分割方法。

## 二. 基于小样本学习的图像分割方法

针对少量样本导致模型过拟合的问题,本章研究基于小样本学习的图像分割方法。在给出的可用训练样本非常少时,模型对该类别的学习情况不容乐观。其主要原因是少量训练样本提供的指导信息不足,难以完成对类别知识的建模,导致模型在训练样本上过拟合。现有方法往往采用度量学习的方式,限制模型参数的更新,在一定程度上缓解了对训练样本的过拟合现象。

目前,大多数小样本语义分割方法都基于双分支结构,其大体框架如图 2.1 (a) 所示。双分支结构由支持分支和查询分支组成,其中支持分支从支持图像中提取类别的特征信息,查询分支根据该特征信息对查询图像进行分割。双分支结构在组成上较为简单,导致对两个分支的性能要求较高、容错性较低的问题,任何一个分支的误差都会导致分割性能的下降。此外,双分支结构缺少对类别知识的建模,仅使用支持图像中的指导信息仍难以胜任依赖高层语义的分割任务。

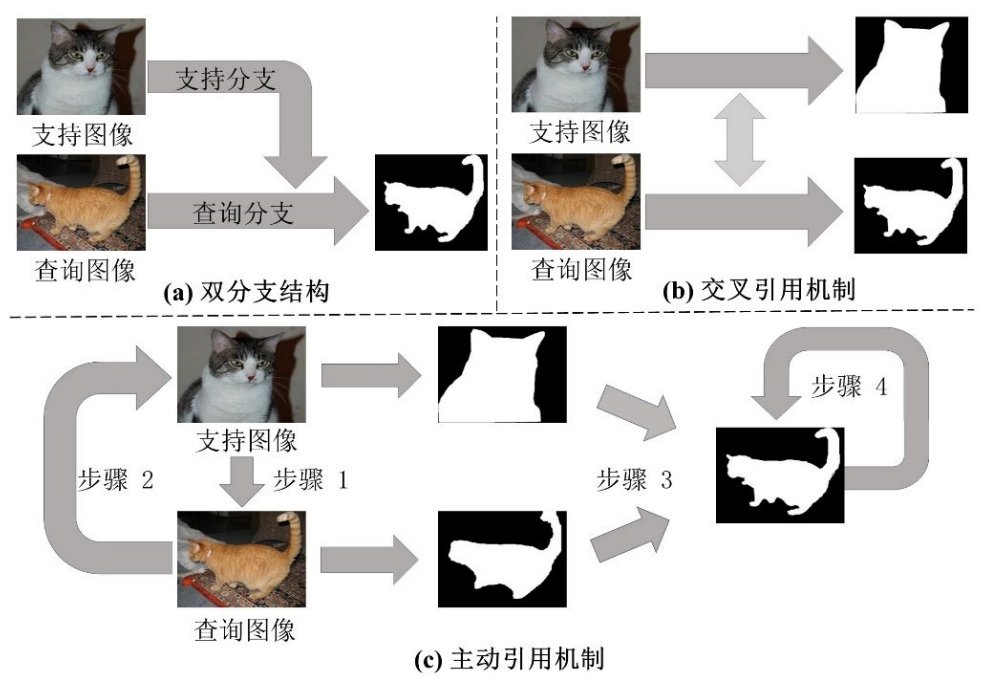


图 2.1 主流方法的网络架构示意图

为了定位支持图像和查询图像中的共现物体，一些方法通过对支持图像和查询图像的同时分割，完成对共现上下文信息的建模，如图 2.1 (b) 所示。它们建模类别信息的核心思想是，在支持图像的指导下，同时使用两幅图像的特征建模类别知识。然而，这需要对支持图像中的目标物体进行精确的像素级标记，错误的标注或不显著的支持特征都会为类别知识引入语义偏差。为了使用弱指导信息完成对类别知识的建模，本文提出一种新颖的主动引用机制，它通过使支持图像和查询图像依次相互分割的方式提取共现上下文信息。该机制对支持图像的掩膜进行重新预测，所以它允许支持图像使用弱标注，从而降低对支持图像中指导信息的准确度要求，并进一步减少对数据的标注工作。

在  $k$ -shot 分割时，现有方法无法充分利用来自多张支持图像的语义信息来建模类别知识。该问题在实验结果上表现为， $k$ -shot 分割的性能与 1-shot 分割的性能相比并没有太大提升。究其原因，目标类别的物体在支持图像中的颜色、形状等外部特征方面有很大不同，这些语义多样的非本质特征会为新类别的知识建模带来干扰。目标物体的各个属性可以被分为本质属性和非本质属性。例如在图 2.2 中，对于“狗”这一类别来说，颜色、动作等多变的属性是非本质属性，而身体形状等具有固定特征的属性是其本质属性。在学习该类别的时候，模型应该忽略掉“狗”的颜色和动作等非本质属性特征，着重学习“狗”的身体形状等本质属性特征。据此，本方法提出一个类别调制模块，该模块具有一套遗忘增强策略，它可以在融合多个样本的过程中，遗忘类别的非本质属性特征，增强类别的本质属性特征，从而生成更准确、更具信息性的类别知识。

本文提出的基于主动引用机制的小样本语义分割模型的 1-shot 框架和  $k$ -shot 框架分别如图 2.2 和图 2.3 所示，它由 4 个模块组成，即主干网络、掩膜预测模块 (Mask Prediction Module, MPM)、迭代融合模块 (Iterative Fusion Module, IFM) 和类别调制模块 (Category Modulation Module, CMM)。在本方法中，CMM 仅在  $k$ -shot 学习中用于融合并对齐不同支持图像之间的特征表示。



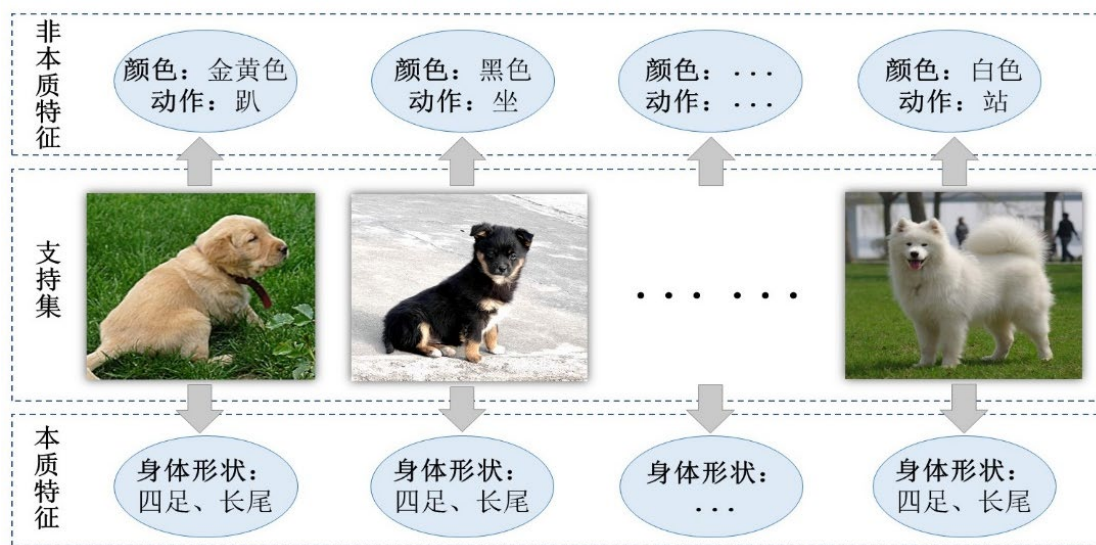


图 2.2 支持集中本质属性与非本质属性示例图

在 1-shot 分割时，本方法的结构如图 2.3 所示。首先，两个并行的骨干网络分别从输入图像中提取出高级语义特征图，将其分别表示  $F_s$  和  $F_q$ 。具体来说，本方法使用在 *ImageNet* 上预训练的 Resnet-50 的前四层作为骨干网络。然后，使用主动引用机制对二者的高级语义特征图进行处理。主动引用机制可以分为四个步骤：

- 步骤 1: MPM 基于支持图像和支持掩膜  $M_s$  预测查询掩膜  $M_{q,0}$ ;
- 步骤 2: MPM 再基于查询图像和步骤 1 中得到的查询掩膜  $M_{q,0}$  对支持图像重新预测，得到支持掩膜  $\tilde{M}_s$ ;
- 步骤 3: 在 IFM 中，通过一个小样本通道关注力模块增强这种共现上下文信息，并用于生成查询掩膜  $M_{q,i}$ ;
- 步骤 4:  $M_{q,i}$  被送入 IFM 迭代地融合信息，优化预测结果，生成  $M_{q,i}$ ,  $i=2, 3, N$ ，其中  $i$  和  $N$  分别表示第  $i$  次迭代和最终迭代次数。

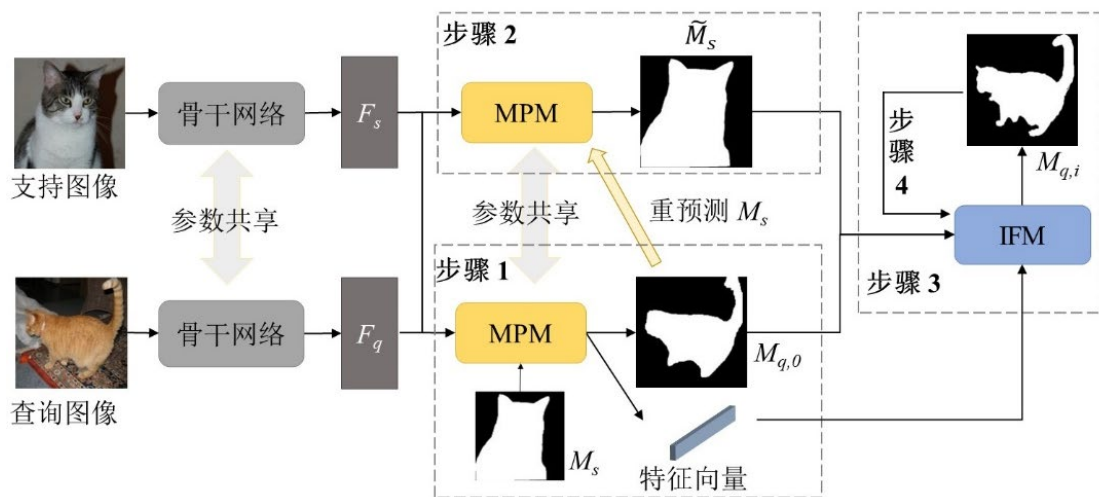


图 2.3 本方法的 1-shot 分割框架图

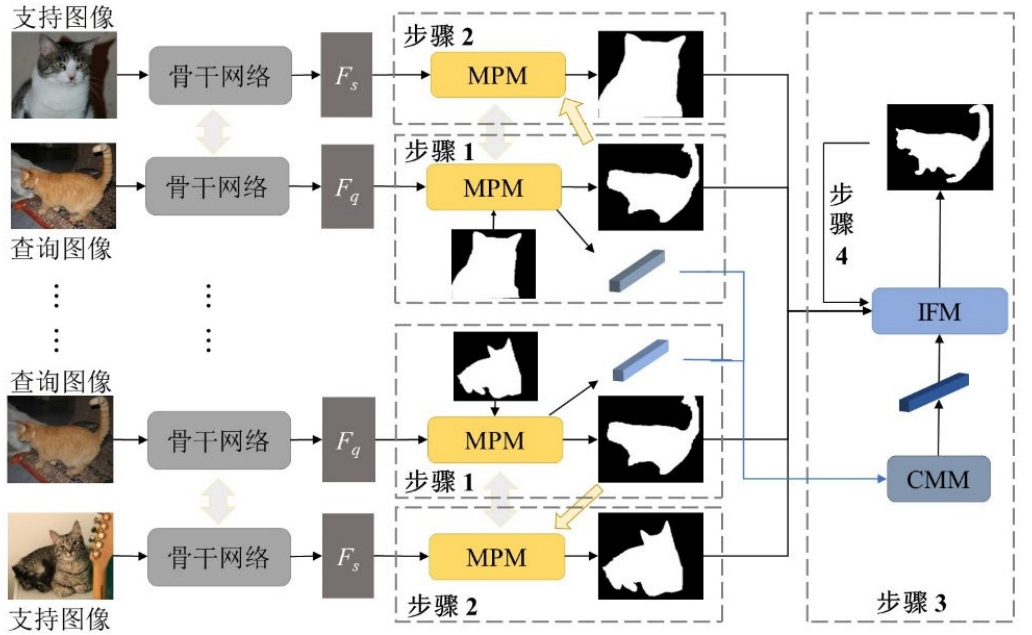


图 2.4 本方法的 k-shot 分割框架图

通过如步骤 1、2 所示的相互分割策略，本方法可以从支持图像和查询图像中提取共现上下文信息，完成对类别知识的高精度建模。由于主动参考机制重新预测了支持图像的掩膜，因此支持图像可以使用边界框等弱标注，从而提高了网络对不精准标注的鲁棒性。

在 1-shot 分割中，模型在训练时主要预测三个图像掩膜，即初始的查询掩膜  $M_{q,0}$ ，支持掩膜  $\widetilde{M}_s$ ，最终的查询掩膜  $M_{q,n}$ 。本文使用交叉熵损失  $\mathcal{L}(\cdot)$  来评估预测的掩膜和标签掩膜之间的差异，所以本方法的整体损失函数可以表示为：

$$\mathcal{L} = \alpha \mathcal{L}(M_{q,0}) + \beta \mathcal{L}(\widetilde{M}_s) + \gamma \mathcal{L}(M_{q,n}) \quad (2.1)$$

其中  $\alpha, \beta, \gamma$  是对应损失函数的权重。在整个分割流程中，最终查询掩膜的分割结果最为重要  $M_{q,n}$ ，其次是对  $M_{q,n}$  具有重要影响的初始查询掩膜，而预测的支持掩膜应当对应一个相对较小的权重，以便保证将分割查询图像作为主要任务。因此，本文根据每个掩膜的重要性将它们设置为 0.5、0.1 和 1。

在  $k$ -shot 分割时，本文方法的总体架构如图 2.3 所示。本文提出了 CMM 来融合多个支持图像的特征向量并对齐它们的特征表示，其中非本质特征被遗忘，而内部特征被增强。本质上，融合和增强的特征将有助于得到富含语义信息的类别知识。将 1-shot 分割的损失函数扩展到  $k$ -shot 分割，如下式所示：

$$\mathcal{L} = \alpha \sum_{j=1}^k \mathcal{L}(M_{q,0}^j) + \beta \sum_{j=1}^k \mathcal{L}(\widetilde{M}_s^j) + \gamma \mathcal{L}(M_{q,n}) \quad (2.2)$$

其中  $\widetilde{M}_s^j, M_{q,0}^j$  和分别表示第  $j$  个样本的支持图像分割结果和对应的初始查询掩膜。 $\alpha, \beta, \gamma$ ，与其在 1-shot 的损失函数中的设置相同。

由于支持图像的掩膜在主动引用机制中被重新预测，所以本方法允许支持图像的标签使用弱标注，例如边界框标注或不完整的掩膜标注。本方法将整个弱标注区域视为前景，并对其进行重新预测以得到精确的支持掩膜。与大

多数现有方法中所需的像素级准确掩膜相比，弱标注可以节省大量的时间和劳动力成本。

以往的方法大多利用特征或掩模融合方法来解决  $k$ -shot 分割问题，但难以有效地从支持图像中提取类别的关键信息。本节提出一种类别调制模块（CMM），它不仅融合了从多个支持图像中提取的特征向量，还通过遗忘无用信息和增强贡献信息来构建更本质的类别知识。

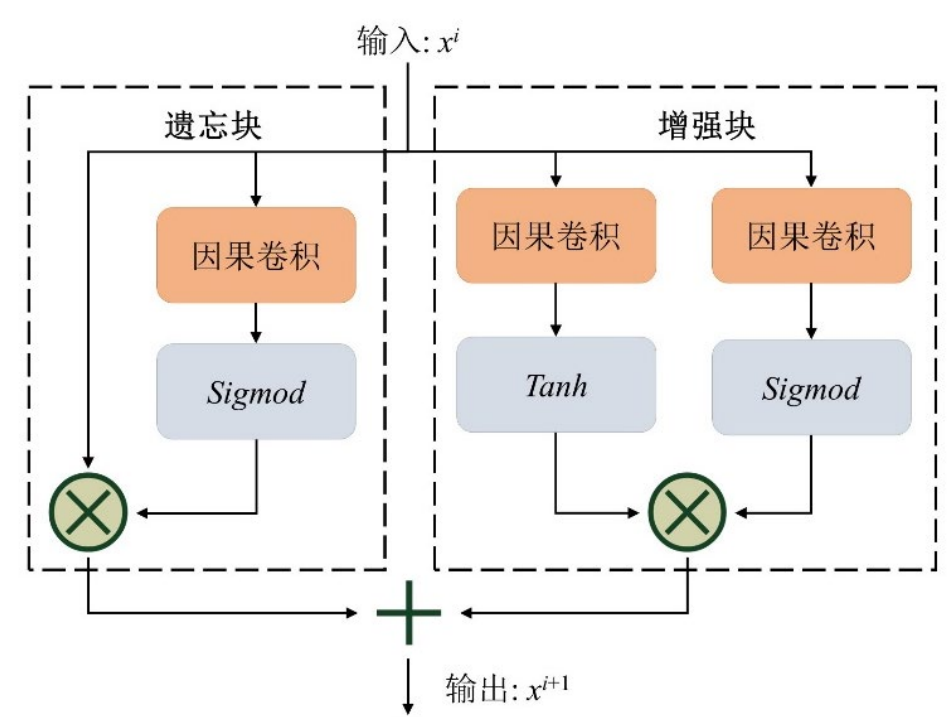


图 2.5 遗忘增强模块的结构图

具体来说，CMM 由多个遗忘增强模块串联组成，每个遗忘增强模块都由遗忘块和增强块两部分组成，具体结构如图 2.5 所示。遗忘块对传入的类别特征向量进行处理，决定保留和遗忘的部分，而增强块对类别特征向量进行更新从而增强类别的本质属性特征。遗忘增强模块的输入为特征向量  $x$ ，在遗忘块中，特征向量经过因果卷积操作后使用 *Sigmoid* 激活函数处理，并和原始特征向量序列进行按位相乘；在增强块中，对特征向量进行因果卷积后，分别使用 *Sigmoid* 和 *Tanh* 激活函数处理并将其按位相乘；最后将遗忘模块和增强模块输出的特征向量相加作为当前遗忘增强模块的输出。输出的特征向量与输入的特征向量长度相同，并作为下一个遗忘增强模块的输入。具体公式如下：

$$x^{h+1} = x^h \otimes \text{sigmoid}(C(x^h)) + \text{tanh}(C(x^h)) \otimes \text{sigmoid}(C(x^h)) \quad (2.3)$$

其中， $x^h$  代表第  $h$  个遗忘增强模块的输出， $C(\cdot)$  代表因果卷积操作。

遗忘增强模块的核心为因果卷积操作，因果卷积结合当前时刻和历史时刻信息，得到当前时刻的输出，如下式所示：

$$p(x_t) = \prod_{t=1}^T P(x_t | x_{t-1}, \dots, x_1) \quad (2.4)$$

在本文中,遗忘增强模块的输入是由MPM从多个支持图像中提取的特征向量所组成特征向量序列。因果卷积会将之前输入的所有特征向量信息用于本次特征向量的处理,并在模块内部通过门控状态控制对特征信息的遗忘和增强。通过训练,最后输出的特征向量能够融合之前输入的特征向量信息,并对特征向量中的无用特征和噪声进行过滤,对有用的特征信息进行增强。通过遗忘更新策略,本方法能够对类别知识进行更精准的建模。

### 三. 基于增量小样本学习的图像分割方法

增量小样本语义分割任务的主要挑战是对基类知识的灾难性遗忘问题和对少量新类样本的过度拟合问题。目前大多数增量学习方法从认知启发的角度使用神经网络的拓扑结构或类别原型来表示类别知识,并通过更新知识表示来解决灾难性遗忘问题。然而,这些知识表示方法表达能力有限,无法为分割任务提供充足的语义指导。此外,这些方法将知识的学习和表示结合在一起,表示的误差会在每次更新迭代中不断累积,进而不可避免地破坏了知识表示与语义信息的一致性,这就是特征漂移现象,如图3.1(b)所示。

针对如何精准表示和更新类别知识的问题,本文提出基于超类表示和自适应更新的增量小样本语义分割方法,以缓解灾难性遗忘和过拟合的现象。本方法使用类别嵌入和超类嵌入两种嵌入向量来表示类别知识。前者描述该类独有的语义属性,后者将超类知识表示为类别之间共享的语义属性。模型在学习新类时,可以通过超类表示中的共享语义知识来减少对数据规模的依赖并缓解过拟合问题。如图3.1(c)所示,超类嵌入通过对所有类别嵌入进行聚类来初始化,并与新类的类别嵌入进行语义对齐。一方面,将聚类算法应用于所有类别嵌入集生成原始超类嵌入,可以提取相似类别的语义特征作为新类的超类知识;另一方面,将生成的超类嵌入与新类的类别嵌入进行对齐,可以增强原始超类嵌入中与该类相关的语义信息,并抑制不相关特征的表达。

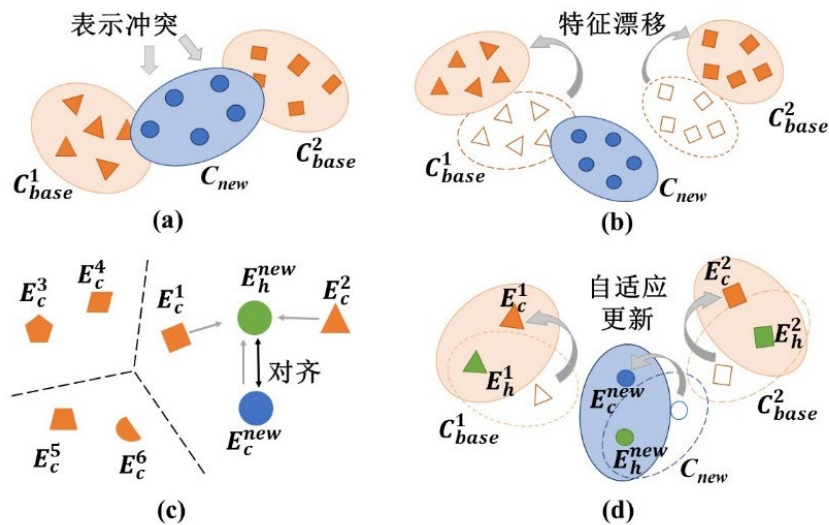


图 3.1 增量小样本现有问题及本方法的描述图

为了减轻灾难性遗忘的问题,本方法提出了一种嵌入自适应更新策略(Adaptive update strategy, AUS),其中类别嵌入使用注意力机制进行自适应调整,超类嵌入保持不变,如图3.1(d)所示。AUS对知识的学习和表示进行解耦,通过自适应更新为已学习的知识构建一个良好分离的类别表示,并且通过固定超类嵌入来保持模型对旧知识的记忆,进而缓解了特征漂移的问题。



超类知识能够补充和增强新类的语义信息，构建语义充足的知识表示。同时，AUS 能够在保持原有类别知识的基础上，更新类别知识以动态学习新类别。这两种设计有助于模型提取语义丰富、偏差较小的类别知识，从而使本方法能够胜任具有高度语义依赖特性的图像分割任务。

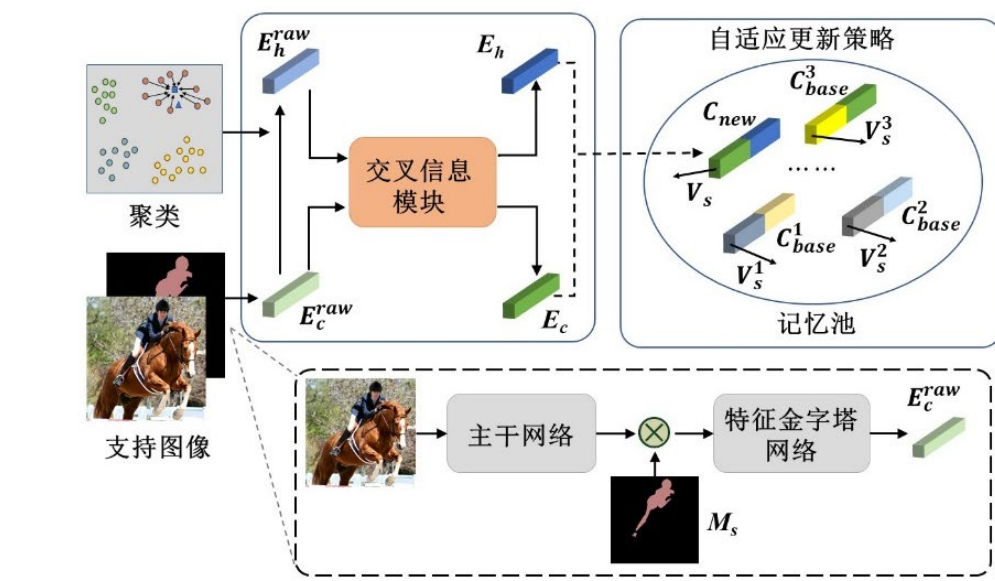


图 3.2 本方法的增量小样本学习阶段流程图

针对如何精准地表示和更新类别知识的问题，本章提出基于超类表示和自适应更新的方法。超类知识能够为新类的学习提供额外的语义信息，帮助模型获得精准的类别知识，从而减轻学习新类时对数据规模的依赖。自适应更新策略固定超类嵌入，以维护基类的知识，并使用类别的注意力方案自适应地更新类别嵌入，以获得相互分离的类别表示。本方法可分为在支持集上的增量小样本学习阶段和在查询集上的语义分割阶段，其流程分别如图 3.2 和图 3.3 所示。

在增量小样本学习阶段，本方法首先从一个训练样本中学习两种嵌入，即原始类别嵌入  $E_c^{raw}$  和原始超类嵌入  $E_h^{raw}$ 。原始类别嵌入  $E_c^{raw}$  描述该类别专有的语义属性，原始超类嵌入  $E_h^{raw}$  表示类别之间共享的语义属性。由于  $E_h^{raw}$  是在基类上进行聚类而得到的，所以  $E_c^{raw}$  和  $E_h^{raw}$  之间会存在语义偏差。为了消除这种语义偏差，本方法通过交叉信息模块 (Cross Information Module, CIM) 对  $E_c^{raw}$  和  $E_h^{raw}$  进行语义对齐，并生成类别嵌入  $E_c$  和超类嵌入  $E_h$ 。最后，将类别嵌入  $E_c$  和超类嵌入  $E_h$  存储在记忆池中，并通过自适应更新策略对基类和新类的类别嵌入  $E_c$  进行更新，以获得类别分离的嵌入表示。

在分割阶段，为了与使用嵌入表示类别知识的方法相匹配，本方法提出一个与类无关的分割模块 (Class Agnostic Segmentation Module, CASM)，该模块的结构如图 3.5 所示。CASM 通过引导注意模块增强相关信息，并根据存储在内存池中的对应语义嵌入对每个类进行分割，而无需记住每种类别的具体特征。

为了能够在小样本设置下对类别知识进行精准地表示，本方法使用类别嵌入和超类嵌入来共同描述类别知识。虽然分割模型没有见过新类样本，但是未见过的新类与已学习过的基类可能具有相似的语义属性。例如图 3.4 中，新类老虎的许多典型属性特征可以从狮子、猎豹和猫等基类中找到。本方法使用超类嵌入来表示与新类相似的基类

的语义属性，从而精准地表示出语义丰富的类别知识，减少对训练数据规模的依赖。

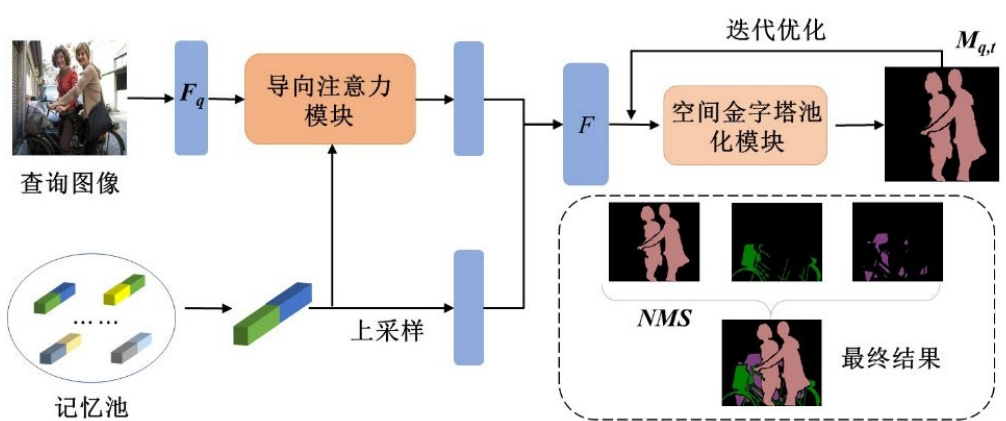


图 3.3 本方法的分割阶段流程图 (CASM)

类别嵌入和超类嵌入的生成步骤如图 3.4 所示。首先，将支持图像输入骨干网络，生成特征图。然后，将特征图与二进制的支持图像掩膜  $M_s$  相乘，去除不相关的背景信息，输出只包含目标对象的特征表示。再将特征表示输入至特征金字塔网络。提取高级语义信息，生成嵌入  $E_c^{raw}$  的原始类别。此后，对基类进行聚类，并根据聚类结果  $E_c^{raw}$  和计算原始超类嵌入  $E_h^{raw}$ 。最后，交叉信息模块对  $E_h^{raw}$  和  $E_c^{raw}$  进行语义对齐，从而在超类嵌入中增强与新类相关的语义信息，抑制不相关特征的表达，并生成超类嵌入  $E_h$  和类别嵌入  $E_c$ 。

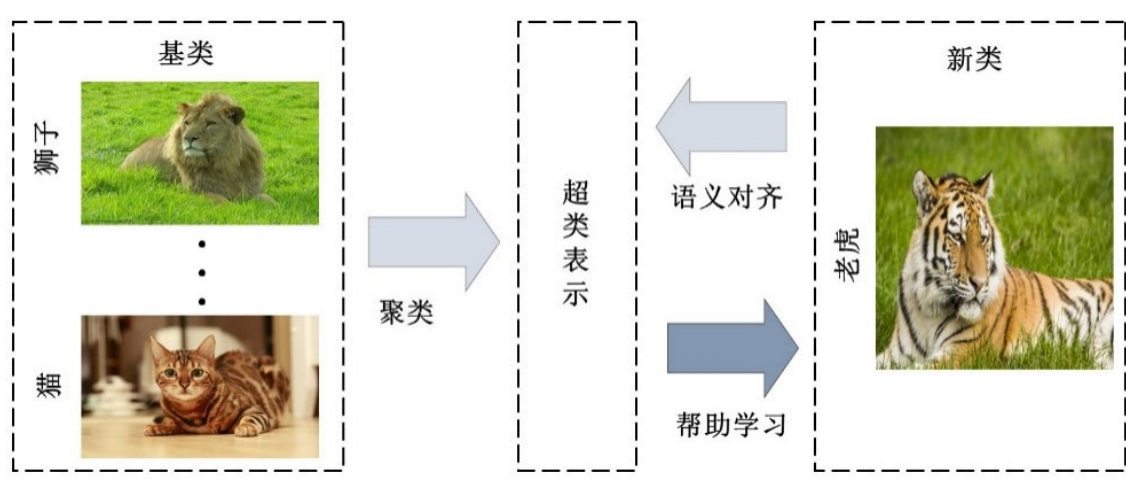


图 3.4 新类与基类共享语义信息示例图

在  $k$ -shot 分割中对多个支持图像进行学习时，通过自适应更新策略对新类嵌入的更新，多个样本的特征被融合在一起，可以产生具有更丰富语义信息的增强嵌入表示。

**嵌入向量：**类别嵌入描述该类别专有的语义属性。考虑到目标对象在大小尺度上的多样性，本方法使用特征金字塔网络 (Feature Pyramid Networks, FPN) 来提取不同层次的语义信息。通过全局池化操作，特征金字塔网络的输出被压缩成 512 维的特征向量作为原始类别嵌入。

**超类嵌入**将超类知识表示为类别之间共享的语义属性，它是通过对基类进行聚类并与新类进行语义对齐而得到的。具体来说，对于一个新类，本方法通过  $k$ -means。对  $E_c^{raw}$  与基类的类别嵌入进行聚类，将聚类结果中  $E_c^{raw}$  所

在的簇所包含的基类作为该新类的相似类,计算该簇的聚类中心作为原始超类嵌入 $E_h^{raw}$ 。然后,将原始超类嵌入 $E_h^{raw}$ 与新类类别嵌入 $E_c^{raw}$ 在语义信息上进行对齐。

所选择的相似基类的数量对超类知识的构造有明显影响。少量的相似基类并不能保证提供足够的共享语义信息,而较多的相似基类又会由于引入了不相关的类别而为超类信息带来噪声。本方法将所有的基类聚类成四簇,即选择相似类别的个数为所有已学习类别的 1/4。

为了缓解对基类的灾难性遗忘问题,本文提出一种自适应更新策略 (Adaptative Update Strategy, AUS), 该策略选择性地自适应更新基类和新类的嵌入,并为所有类别生成相互分离的嵌入表示,从而减轻增量学习过程中出现的特征漂移现象。具体来说,本方法通过固定超类嵌入来保持模型对旧知识的记忆,进而缓解了特征漂移的问题。对类别嵌入进行自适应更新的具体细节如下:

首先,对于类别  $i$  和类别  $j$  的类别嵌入 $E_c^i$ 和 $E_c^j$ ,计算类别  $i$  和类别  $j$  之间的关系系数 $e_{ij}$ :

$$e_{ij} = \langle \Phi(E_c^i), \Psi(E_c^j) \rangle \quad (3.1)$$

其中  $\Phi(\cdot)$ 和 $\Psi(\cdot)$ 是将原始表示投影到新的嵌入空间的线性变换函数, $\langle \cdot, \cdot \rangle$ 是计算两个嵌入向量之间内积的操作。然后用  $softmax$  函数对所有类别的关系系数进行归一化,得到两个类别的注意力权重 $a_{ij}$ :

$$a_{ij} = softmax(e_{ij}) = \frac{exp(e_{ij})}{\sum_{l=1}^{|P|} exp(e_{il})} \quad (3.2)$$

其中  $|P|$  表示记忆池中的类别的数量。然后对第  $i$  类和第  $j$  类的嵌入向量进行减法运算,得到一个表示局部更新方向的差向量。最后,基于归一化的注意力权重和相应的差向量,计算每个类别嵌入的安全位移向量  $V_d$ 。安全位移向量  $V_d$  是 AUS 考虑到所有类别的信息后,给出的一个可以使嵌入表示相互分离的更新方向。在  $V_d$  的指导下,类别嵌入 $E_c^i$ 可以更新为 $E_c^{i'}$ :

$$E_c^{i'} = E_c^i + V_d = E_c^i + \sum_{l=1}^{|P|} a_{j,l} W(E_c^i - E_c^l) \quad (3.3)$$

其中 $W(\cdot)$ 是一个线性变换。最后,重复上述操作来更新所有类的类别嵌入。类别的注意力方案是嵌入更新策略的核心,它通过加权类别表示的方式对各类别进行上下文关联,并基于此为每个类别嵌入计算一个安全位移向量。这种类别的注意力方案不仅可以在各个类别之间生成更好的决策边界,而且还指出实现类别分离表示的嵌入更新方向。AUS 的可视化说明如图 3.5 左图所示,其中类别嵌入上的细向量代表该类别嵌入与其他类别嵌入的差向量,粗向量代表该类别嵌入的安全位移向量。

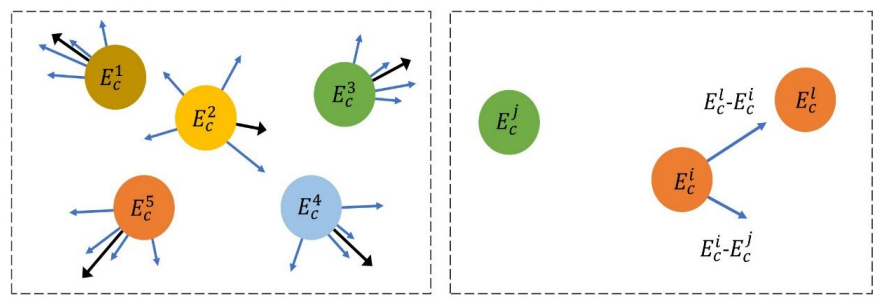


图 3.5 自适应更新与多样本融合



在  $k$ -shot 学习中, 本方法直接使用多个样本来更新 AUS 中学习到的类别嵌入, 无需额外的融合模块即可融合来自多个样本的语义信息。具体来说, 对于样本  $i$ , 本方法将与不同类别样本  $j$  的差向量定义为  $E_c^i - E_c^j$ , 而与相同类别样本  $l$  之间的差向量定义为  $E_c^l - E_c^i$ 。如图 3.5 右图所示, 对于不同的类别, 差向量  $E_c^i - E_c^j$  给出使二者相互分离的方向。而对于同一类别, 差向量  $E_c^l - E_c^i$  能够带来语义信息的融合。由公式 3.1 可以看出, 同一类别的嵌入通常由于特征相似而获得较大的关联系数, 从而在 AUS 中达到有效的融合效果。

值得注意的是, 自适应更新策略只对类别嵌入进行更新, 而不更新超类嵌入。如果同时更新两种语义嵌入, 随着更新时间的增加, 语义嵌入将与真实特征不匹配(特征漂移现象), 因为更新算法只能尽可能地减少引入的偏差, 而不能完全将其消除。

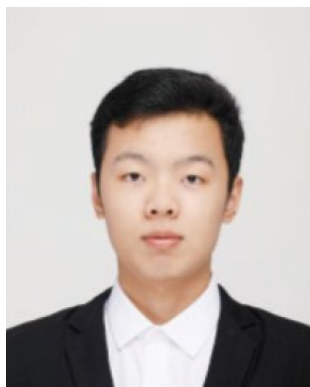
#### 四. 总结与展望

本文针对基于小样本学习的图像分割方法和基于增量小样本学习的图像分割方法进行了探索和研究。首先, 本文面向小样本语义分割任务中难以建模类别知识的问题, 提出了一种基于主动引用机制的小样本语义分割方法。然后本文针对增量小样本语义分割中难以准确地表示和更新类别知识的问题, 提出了一种基于超类表示和自适应更新的增量小样本语义分割方法。虽然这些方法已经达到了最佳水平, 但在某些方面仍存在不足:

在第一项工作中, 本文提出了一种小样本语义分割方法, 该方法可以仅通过几张图片学会对新类别的分割。但是目前小样本语义分割领域对这种“学会”的定义是不准确的, 它只有在看到新类的样本图片时才能从查询图像中分割出新类物体, 而模型如果不访问样本图片, 就会失去对新类的分割能力。这一缺陷限制了小样本语义分割方法的实际应用, 同时这也是度量学习的固有缺点。虽然基于参数更新的小样本语义分割方法在分割查询图像时可以脱离样本图片的限制, 但其分割性能远远比不上基于度量的方法。所以, 如何摆脱样本图片的限制, 做到真正地学习类别概念, 同时又能保持高水平的分割能力, 将是下一步小样本语义分割研究的重点和难点。

在第二项工作中, 本文提出了一种增量小样本语义分割方法, 该方法可以仅通过几张图片学会对新类的分割, 并保持对基类的分割能力。嵌入的更新策略是保持类别分离的嵌入表示的核心, 但是所有的嵌入更新方法都会不可避免地引入表示误差。本文提出的自适应更新策略只能减小误差, 而不能完全将其消除。因此, 随着更新次数的增多, 嵌入的表示误差也会不断积累, 这意味着无限地增量学习新的类别难以实现。据此, 下一步的工作重心应该是寻找一种无语义偏差的、类间相互分离的类别表示方法。

#### 作者简介





师广琛，本科和硕士均毕业于河海大学计算机科学与技术专业，现于南京大学计算机科学与技术专业攻读博士学位，主要研究方向包括小样本学习、图像分割和大语言模型。硕士期间，以第一作者发表论文 3 篇，其中 CCF-A 论文 1 篇，CCF-B 论文 2 篇；专利受理 1 项；获“中国软件杯”大学生软件设计大赛全国二等奖、“蓝桥杯”全国软件和信息技术专业人才大赛全国三等奖。

## 指导老师



巫义锐，于 2011 年在南京大学计算机科学与技术系获得理学学士学位，同年被保送至南京大学计算机科学与技术系攻读博士学位，并于 2016 年获得工学博士学位。在博士学习期间，曾于 2012 年和 2014 年两次访问香港科学与技术大学，现为河海大学计算机与软件学院青年教授。CCF YOCSEF 南京副主席、多媒体技术专委会委员。曾荣获 CCF TEC 创业大赛金奖。目前从事模式识别，计算机视觉，智慧水利等领域，所开发技术被商汤等知名企业应用。

## 学会动态

### 职业院校人工智能通识教育教学改革与创新研讨会在南京召开

3 月 28 日，职业院校人工智能通识教育教学改革与创新研讨会在南京顺利召开。会议聚焦职业院校人工智能通识教育的课程建设、教学改革与实践创新等核心议题，吸引了来自全国 80 所高校、近 200 名专家学者齐聚一堂，共话人工智能赋能职业教育高质量发展的新路径。本次会议由教育部职业院校信息化教学指导委员会指导，江苏省职业技术教育学会、江苏省人工智能学会、江苏省计算机学会、江苏省电子信息职业教育行业指导委员会主办，江苏省职业技术教育学会信息化工作委员会、江苏省高等学校教育信息化研究会职业教育信息化专业委员会、南京信息职业技术学院、常州信息职业技术学院、江苏电子信息职业学院联合承办。江苏省职业技术教育学会常务副会长尹伟民、江苏省职业技术教育学会秘书长李振陆、江苏省人工智能学会理事长陈松灿、江苏省计算机学会秘书长金莹、南京信息职业技术学院校长田敏、江苏电子信息职业学院院长张有东、宣城职业技术学院院长庞波等领导出席开幕式，开幕式由南京信息职业技术学院副校长杜庆波主持。



# 面向多跳无人机自组织网络的路由协议研究

## ——2024 年江苏省计算机学会优秀硕士论文奖

作者：翟文斌

单位：南京航空航天大学

指导老师：王立松

### 论文摘要

随着传感器、无线通信等技术的发展，多跳无人机自组织网络已经被广泛应用于军事和民用领域。路由技术是保障无人机网络数据通信、信息共享以及集群协作的基本前提，需要同时兼顾性能与安全。然而，无人机网络的众多独特特性，例如节点高速移动、网络拓扑动态变化、节点稀疏分布等，给路由协议的设计带来了严峻的挑战。本文基于整体跨层优化的思想，研究面向多跳无人机网络的路由技术，取得的主要研究成果如下：

(1) 现有无人机网络路由协议大多仅利用网络协议栈下三层的参数进行路由决策，未利用多维度跨层信息，提出一个面向多跳无人机网络的跨层路由优化框架 HOLO (A Holistic Cross-Layer Routing Optimization Framework for UAV Networks)，将物理、数据链路、网络、传输以及应用等协议层考虑在内，对各个协议层的路由参数、信息以及反馈进行整体的收集、分析和利用，从而达到整体的跨层交互和融合。同时，提出面向优化目标的高效路由决策机制以优化路由，从而达到更好的网络整体性能。

(2) 基于 HOLO 跨层路由优化框架，针对现有路由协议假设无人机的传输功率固定，未考虑联合功率调度和控制进行跨层路由优化的问题，提出一种功率感知的多跳无人机网络路由协议 PAR (A Power-Aware Routing Algorithm for UAV Networks)，综合物理层的功率感知、应用层的 QoS 需求以及预先规划的无人机轨迹信息，对路由决策进行联合跨层优化。PAR 对物理层的功率信息进行自适应调节，并利用预先规划的轨迹信息来计算不同功率级别下无人机之间的相遇情况。基于相遇信息，联合应用层的 QoS 需求，以延迟约束和能耗最小化为优化目标，构建功率感知相遇树，从而找到满足条件的高效传输路径。实验结果表明，与现有算法相比，PAR 能够在保持较高投递率、较低网络负载率的同时节约能耗。

(3) 针对现有无人机网络路由协议未考虑延时攻击的问题，提出一种抗延时攻击的多跳无人机网络安全路由协议。首先提出一个整体跨层的延时攻击检测框架 HOTD (A Holistic Cross-Layer Time-Delay Attack Detection Framework for UAV Networks)。通过对协议栈各层的延迟相关特征进行提取，采用监督学习建立选定特征和转发延迟的一致性模型，并基于训练建立的一致性模型计算出网络中各个节点的一致性程度。然后根据网络节点一致性程度，利用聚类方法来区分恶意节点和良性节点。最后在聚类分类结果的基础上对恶意节点进行路由隔离以保证路

由安全。实验结果表明, HOTD 在检测准确率、假阳性率以及假阴性率等方面均优于现有经典的延时攻击检测方法, 在引入不到 2.5% 的额外开销的情况下, 实现了高于 85% 的检测准确率。另外, 本文提出的抗延时攻击安全路由协议能够有效降低延时攻击对无人机网络路由协议性能的影响。

## 专家推荐语

翟文斌同学的硕士学位论文研究了面向多跳无人机自组织网络的路由协议, 选题具有较大的潜在实用价值和技术指导意义, 研究工作主要包括:

(1) 基于整体跨层优化, 提出一个面向多跳无人机网络的跨层路由优化框架 HOLO, 对物理、数据链路、网络、传输以及应用等各个协议层的路由信息进行整体分析和利用。

(2) 针对现有路由协议假设无人机的传输功率固定, 未考虑联合功率调度和控制进行跨层路由优化的问题, 提出一种功率感知的多跳无人机网络路由协议 PAR, 在保持较高投递率、较低网络负载率的同时节约大量的能量资源。

(3) 针对现有路由协议未考虑延时攻击的问题, 提出一种抗延时攻击的多跳无人机网络安全路由协议, 降低延时攻击对无人机网络路由协议性能的影响。

论文结构合理, 撰写规范, 逻辑清晰, 工作量和难度适中, 研究方法具有创新性, 研究工作取得了较好的学术成果。论文工作表明, 该同学掌握了较扎实的基础专业知识, 在面向多跳无人机自组织网络的路由协议领域具有较深入的研究, 具有运用理论知识分析和解决实际问题的能力, 能够独立从事相关技术的研究工作。

申请人研究成果丰硕, 在读期间以第一作者身份发表论文 3 篇, 其中 CCF-A 类期刊 TIFS 论文 1 篇, CCF-B 类期刊 JPDC 论文 1 篇, CCF-C 类会议 WASA 2022 论文 1 篇, 以合作作者身份发表论文 13 篇, 其中 CCF-C 类及以上论文 9 篇。作为主要参研人员参与国家自然科学基金、国家重点研发计划等国家级课题。获 2023 年“江苏省三好学生”、校“优秀毕业生”、“三好学生”等荣誉。研究成果受到中南大学、电子科技大学等学术机构的关注和引用, 并得到澳大利亚新南威尔士大学 Jingling Xue 教授 (IEEE Fellow)、悉尼科技大学 Shui Yu 教授 (IEEE Fellow) 以及麦考瑞大学 Tao Gu 教授 (IEEE Fellow) 的积极评价与关注。

## 论文看点

多跳无人机自组织网络具有部署灵活、使用方便、可扩展性好、建造成本低、生存能力强、环境要求低等优点, 近年来已经被广泛应用于各种军事和民用领域。高效可靠的路由协议技术是保障无人机网络数据通信、信息共享、集群协作和任务执行的基本前提, 但无人机网络的特性, 例如节点的高速移动性、网络拓扑的高度动态性和通信连接的间断性, 给路由协议技术的研究与设计带来了严峻的挑战。传统的无人机网络路由协议缺乏对无人机网络特性的深入分析和优化、跨层设计的整体融合和利用、网络安全的考量和设计; 为了应对这些不足和挑战, 本文从整体跨层的角度研究面向多跳无人机自组织网络的路由协议技术, 研究成果和论文看点主要包括以下几个方面:

### 1. 面向多跳无人机网络的跨层路由优化框架

多跳路由在将数据信息从源节点投递到目的节点的过程中起着关键作用。然而, 由于无人机网络具有拓扑高度动态、通信连接间断、网络资源受限以及通信链路不稳定等独特特点, 无人机网络的多跳路由面临着投递率低、延迟高、吞吐量低、能耗高等诸多挑战。为了解决这些问题, 许多无人机网络的多跳路由协议被提出以优化网络性能。



但是, 现有为无人机网络设计的大多数路由协议都是基于非跨层的方式, 这些路由协议在进行路由决策时不使用其他层的路由信息和参数。此外, 它们大多仅针对无人机网络的其中一个问题进行了特定的优化。因此, 这些非跨层的路由协议无法在高度动态的无人机网络及其丰富的应用场景中提供足够高效的性能表现, 并且无法满足严格的用户 QoS 要求。

上述问题的有效解决依赖于无人机网络协议栈中层与层之间的信息交互和融合, 即通过不同层之间的联合优化, 来获得更好的性能, 这意味着需要使用跨层设计。跨层设计是一种很有前景的方法, 有利于优化无人机网络在各类场景和各种应用中的性能表现。传统的分层网络模型, 例如 TCP/IP 协议族、OSI 模型, 在层与层之间提供了严格的信息封装, 各层对各自独享的信息和设计细节进行隐藏, 仅在相邻层次之间维持一个有限的接口, 从而使得网络中的消息传输严格地按照同一标准进行处理。各层只能调用相邻层级提供的有限服务, 这形成了分层网络模型一个非常重要的黑盒特性。一方面, 层与层之间的抽象使得开发人员无需考虑过多的底层细节而能够轻易地实现上层应用; 另一方面, 对消息进行过分的封装也会导致一些副作用, 例如 QoS 的下降、延迟的增加、额外的负载等等。

跨层路由优化打破了传统的各层信息被各层独享的封装, 利用各个协议层之间的交互和依赖关系来实现可观的性能改进。跨层路由并不破坏传统网络模型的分层架构, 只是提供了不相邻层之间的层间通信。此外, 各个协议层之间互相公开和共享内部路由信息和参数, 以实现路由决策的联合优化。目前, 有关无人机网络中跨层路由的研究设计已经吸引了国内外学者的广泛关注和极大兴趣。然而, 现有的大多数跨层路由协议只能称之为部分跨层路由协议, 即它们专注于利用较低三层的路由参数和信息, 即物理层、数据链路层以及网络层, 而忽略了无人机网络的其他协议层, 它们没有对无人机网络中所有协议层可用的路由信息进行整体地收集、分析和利用。此外, 它们对于较低三层中可用的路由参数信息也只是进行了简单的利用。不同层的路由参数被简单地进行加权和中和以形成路由度量, 其本质上只是一种信息集成, 没有对不同层的信息进行整体的融合来帮助优化路由决策。因此, 为了实现无人机网络的高效通信, 如何全面、深入地利用并融合各层的信息来设计跨层优化的无人机网络路由协议是一个富有开放性和挑战性的问题。

通过对不同协议层的路由参数和信息进行整体的收集、分析、利用和融合, 可以得到大量有用的信息, 例如无人机的轨迹信息、任务信息、编队信息以及安全信息等, 这些信息均可以被利用来进一步地提升无人机网络中数据传输的健壮性和稳定性。此外, 无人机网络可以服务于具有不同优化目标的多样化应用, 这些优化目标可以从应用层获取, 并且应该在制定路由策略时被考虑在内。综合考虑和利用上述信息才可以制定出更高效的路由策略机制、做出更合适的路由决策, 从而获得更好的网络整体性能。

本文对无人机网络的整体跨层路由优化进行了全面系统的研究, 并提出了一个整体的跨层路由优化框架 (A Holistic Cross-Layer Routing Optimization Framework for UAV Networks, HOLO)。HOLO 的基本思想就是收集、分析、利用和融合来自不同协议层的反馈、参数和信息, 以帮助做出更合适的路由决策。同时, 本文回答了以下三个问题:

- (1) 无人机网络中的哪些信息可以被收集并进一步用于跨层路由优化?
- (2) 如何处理收集到的路由信息并将其融合到网络层以帮助优化路由决策?
- (3) 如何根据跨层路由信息设计整体的跨层路由策略以做出高效的路由决策?



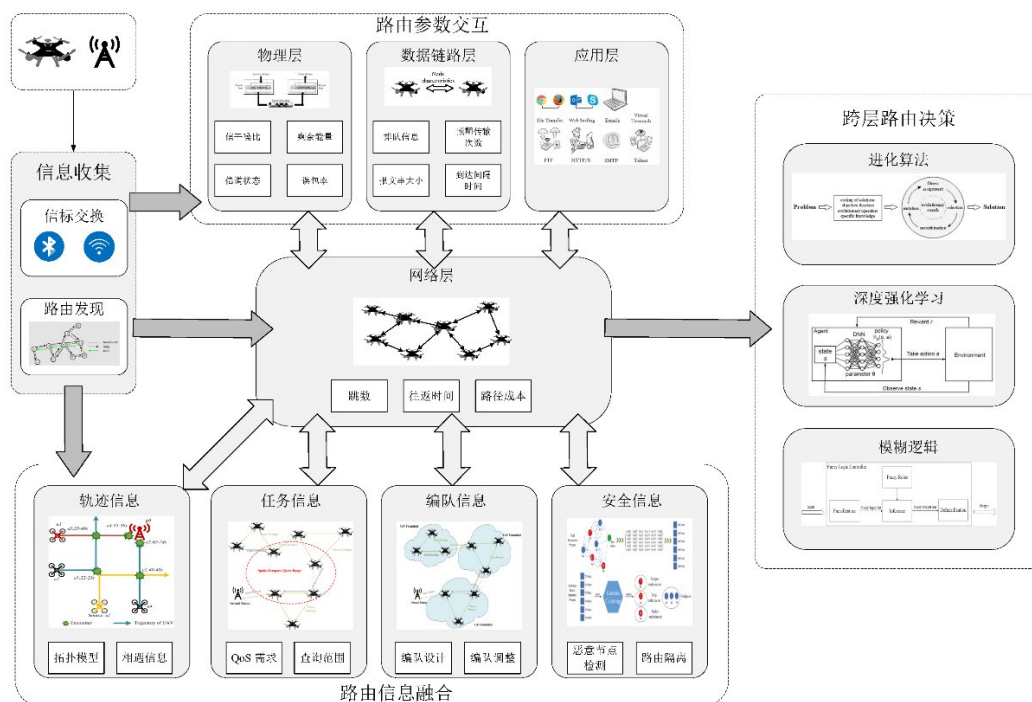


图 1 HOLO 总体架构图

整体跨层路由优化框架 HOLO 主要利用无人机网络协议栈不同层的路由参数和信息之间的交互和融合，来优化路由决策并提高整体网络性能。如图 1 所示，HOLO 主要包括三个阶段，即路由信息收集阶段、整体跨层融合阶段和跨层路由决策阶段。首先，在路由信息收集阶段，信标消息 (Beacon Messages) 或路由发现 (Route Discovery) 可以被用来收集各层的路由信息和参数，这些路由信息和参数可以反映无人机网络的状态，从而有助于优化路由决策。此外，在整体跨层融合阶段，通过不同层之间的信息融合，可以获得大量有用的信息，例如轨迹信息、任务信息、编队信息和安全信息。然后，这些融合出的信息以及不同层的参数将被融合到网络层中，以帮助做出更明智的路由决策。例如，轨迹信息可用于预测无人机的未来位置，从而获得无人机网络未来的拓扑结构，这有助于做出更合理的决策。最后，在跨层路由决策阶段，HOLO 利用跨层融合信息来优化决策，从而实现更为高效的路由决策机制。同时，根据无人机网络的应用场景以及优化目标的类型，采用不同的优化算法：对于单目标优化而言，进化算法 (Evolutionary Algorithms) 是一个不错的选择；而基于深度强化学习或者模糊逻辑的优化算法则更适合于多优化目标的应用场景。

## 2. 功率感知的多跳无人机网络路由协议

在许多无人机网络的应用场景中，例如灾后搜索与救援任务，无人机需要长时间的工作以完成大规模、较复杂的任务。但是，由于现有无人机尺寸和重量的限制，其机载能量有限，因此，对于无人机网络数据通信而言，在无人机能量资源受限的情况下，提高能源消耗的效率、降低数据投递的能耗至关重要。能耗高效路由协议就是为给定的数据包找到一条通往目的地的总能耗最小的传输路径，从而有效节省带宽和能量等无人机网络中较为稀缺的网络资源，提高无人机网络性能的同时延长其生命周期。

关于能耗高效路由协议，现有的研究主要针对传统的无线传感器网络和移动自组织网络，它们都依赖于稳定的



网络拓扑。但是,无人机网络中节点的高速移动,会导致其网络拓扑高度动态变化,同时对网络的连通性和通信链路的稳定性造成严重的影响,现有的研究不得不通过频繁地转发大量的拓扑控制消息来更新维护网络拓扑信息,这会导致大量的能量消耗,缩短无人机网络的生命周期。此外,现有的能耗高效路由协议都是基于非跨层的方法,即它们只利用了网络层及其相邻协议层的信息来进行路由优化。实际上,无人机网络协议栈的各个层都会影响数据包传输的能耗,例如物理层的功率控制信息,通过联合分配、功率控制和链路调度可以减小能耗和增加单跳吞吐量。

同时,无人机网络具有丰富的应用场景,不同应用场景下的优化目标是不同的。在对数据包的传输能耗进行优化的同时,必须充分考虑网络的应用场景及用户的 QoS 需求,这些可以从网络协议栈的应用层获取到。例如,在绝大多数应用场景中,除了能耗之外,数据包的投递延迟也应该被充分的考虑,这是另一个关键的性能指标,不同场景下的需求也不同。无人机网络对数据的投递延迟有着一定的要求:实时应用场景,例如情报收集、军事打击等任务,要求消息的投递延迟相当小,以实现快速反应;而在其他的一些非实时应用场景中,例如地理测绘、影视拍摄等,网络延迟的要求则相对比较宽松。因此,在无人机网络进行消息传输的同时对消息添加相应的延迟约束是合理且有必要的,这意味着消息必须在  $T$  的时间长度内被成功交付。基于此,可以通过简单地动态调整延迟约束  $T$  的大小来很好地归约和表征上述所有情况。因此,需要寻求延时约束与其他网络性能,例如能量消耗,之间的权衡,以更好地发挥无人机网络的应用潜力。

此外,无人机网络中节点分布稀疏、通信连接间歇,节点之间并不存在持续稳定的即时端到端通信路径。传统的延迟容忍网络 (Delay-tolerant Networks, DTNs) 采用存储-携带-转发机制进行消息的转发与投递:当持有消息的无人机当前的通信范围内不存在或找不到合适的转发节点时,允许该无人机暂时存储携带该消息,直到其通信范围内出现满足条件的转发节点或目的节点。存储-携带-转发机制能够在一定程度上缓解网络间歇性连接带来的问题,然而,在高度动态的无人机网络中其仍然面临着很多的挑战,例如路由空洞、乒乓效应等,这严重损坏了路由协议的性能。

为了有效解决上述问题,基于所提出的面向多跳无人机网络的整体跨层路由框架,本文提出了一种高效的功率感知的多跳无人机网络路由协议 (A Power-Aware Routing Algorithm for UAV Networks, PAR)。该路由协议利用存储-携带-转发机制进行消息的传输与投递,并且使用了跨层设计,联合物理层的功率感知、应用层的 QoS 需求以及预先规划的无人机轨迹信息来对无人机网络的路由决策进行联合优化。首先,该协议结合应用层的 QoS 需求,以延迟约束和能耗最小化为原则指导路由决策的优化。同时,该协议利用预先规划的轨迹信息以及存储-携带-转发机制来辅助路由优化,从而找到更优的传输路径。此外,该协议还对物理层的功率信息进行跨层感知和调整,在保证消息延迟约束的同时进一步地优化路径、降低能耗。

PAR 的基本思想就是联合无人机网络物理层的功率感知特性、应用层的 QoS 需求以及预先规划的轨迹信息来对无人机网络的路由决策进行优化,从而实现了物理层、网络层、应用层以及轨迹信息的跨层联合优化。首先,利用无人机预先规划的轨迹信息和物理层的功率感知特性计算出无人机在不同功率级别下的相遇情况。然后,基于无人机的相遇信息,结合应用层的 QoS 需求,以延时约束和能耗最小化为原则,设计并构造出功率感知相遇树,其中每个节点的功率可以根据各自的相遇情况进行自适应的调整,从而保证每个消息的及时投递以及能耗的最小化,提高网络的持久性。

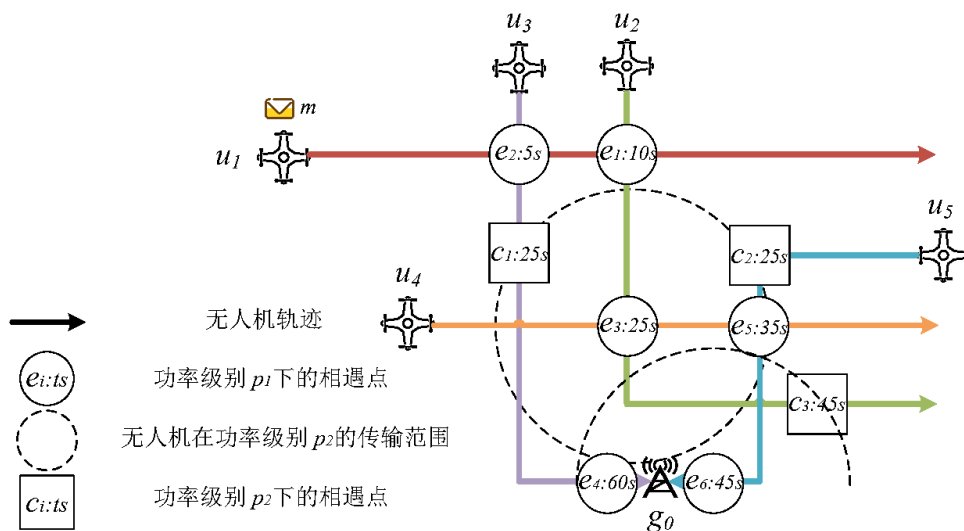


图2 当无人机具有两个功率级别时无人机之间的相遇点示例图

如图2所示,无人机网络由五架无人机 $u_1$ 、 $u_2$ 、 $u_3$ 、 $u_4$ 、 $u_5$ 以及一个地面站 $g_0$ 组成。无人机沿着各自预先规划好的轨迹信息航行,如图中各箭头所示。为了方便表示,将无人机的功率离散化,并假设无人机存在两个不同的功率级别,即 $p_1$ 和 $p_2$ 。图2中显示了无人机在不同功率级别下的相遇情况:无人机在功率级别 $p_1$ 下的相遇表示为 $e_i$ ,在功率级别 $p_2$ 下的相遇则表示为 $c_i$ 。为了便于区分,本文将无人机在功率级别 $p_1$ 下的相遇 $e_i$ 抽象为相遇点,即当两架无人机能够以功率级别 $p_1$ 通信时,它们两者的飞行轨迹必然相交。例如,无人机 $u_1$ 和 $u_2$ 会在10s的时候于位置 $e_1$ 相遇,功率级别为 $p_1$ 。此外,当无人机能够以功率级别 $p_2$ 相互通信时,它们的轨迹不必相交:无人机 $u_2$ 和 $u_3$ 会在25s的时候于位置 $c_1$ 相遇,功率级别为 $p_2$ ;无人机 $u_2$ 和 $u_5$ 会在25s的时候于位置 $c_2$ 相遇,功率级别为 $p_2$ ;无人机 $u_5$ 和 $u_2$ 会在45s的时候于位置 $c_3$ 相遇,功率级别为 $p_2$ 。

源节点 $u_1$ 需要将消息 $m$ 发送给地面站 $g_0$ ,消息的延迟约束为 $T$ 。本文使用亚线性能耗模型,即以功率级别 $p_1$ 传输两次相同大小的消息所需的能耗大于以功率级别 $p_2$ 传输一次消息的能耗,表示为 $2Ee(p_1) > Ee(p_2)$ 。值得注意的是,PAR并不受特定能耗模型的限制。根据预先规划的轨迹信息和计算出的相遇情况,可以推断出至少存在四条传输路径:

(1)  $pa_1: u_1 \rightarrow u_3 \rightarrow g_0$ 。传输路径为 $(u_1, u_3, 5s, p_1)$ ,  $(u_3, g_0, 60s, p_1)$ 。消息 $m$ 沿着此路径传输的投递时间为60s,且总能耗为 $2Ee(p_1)$ 。

(2)  $pa_2: u_1 \rightarrow u_2 \rightarrow u_3 \rightarrow g_0$ 。传输路径为 $(u_1, u_2, 10s, p_1)$ ,  $(u_2, u_3, 25s, p_2)$ ,  $(u_3, g_0, 60s, p_1)$ 。消息 $m$ 沿着此路径传输的投递时间为60s,且所需要的总能量为 $2Ee(p_1) + Ee(p_2)$ 。

(3)  $pa_3: u_1 \rightarrow u_2 \rightarrow u_5 \rightarrow g_0$ 。传输路径为 $(u_1, u_2, 10s, p_1)$ ,  $(u_2, u_5, 25s, p_2)$ ,  $(u_5, g_0, 45s, p_1)$ 。消息 $m$ 沿着此路径传输的投递时间为45s,且总能耗为 $2Ee(p_1) + Ee(p_2)$ 。

(4)  $pa_4: u_1 \rightarrow u_2 \rightarrow u_4 \rightarrow u_5 \rightarrow g_0$ 。相应的传输路径为 $(u_1, u_2, 10s, p_1)$ ,  $(u_2, u_4, 25s, p_1)$ ,  $(u_4, u_5, 35s, p_1)$ ,  $(u_5, g_0, 45s, p_1)$ 。消息 $m$ 沿着此路径传输的投递时间为45s,且所需要的总能量为 $4Ee(p_1)$ 。



当延迟约束  $T \geq 60$  s 的时候, 上述四条路径均能将消息  $m$  及时成功投递, 但是与其他三条传输路径相比, 第一条传输路径  $pa1$  是最佳选择, 因为它在保证消息及时投递的同时传输能耗最小。然而, 当  $45 \text{ s} \leq T < 60 \text{ s}$  时, 第一条和第二条传输路径, 即  $pa1$  和  $pa2$ , 不再能满足用户的 QoS 需求, 因为沿着它们传输消息的投递时间为 60 s, 超出了所规定的延迟约束。在这种情况下, 如果不考虑无人机的功率可调特性, 即无人机只能以功率级别  $p1$  进行数据传输, 那么最合适的传输路径为  $pa4$ , 消息  $m$  沿着  $pa4$  传输的投递时间为 45s, 满足时延要求, 同时总能耗为  $4Ee(p1)$ 。但是, 如果将无人机的功率级别可调考虑在内的话, 可以找到一条更优的传输路径, 即  $pa3$ 。尽管  $pa3$  和  $pa4$  都可以保证消息  $m$  的及时送达, 但是沿着  $pa3$  传输所需的能耗为  $2Ee(p1) + Ee(p2)$ , 小于沿着不考虑可调功率级别的  $pa4$  传输所需的能耗。基于上述例子, 可以发现通过对各个节点的功率进行自适应的调整可以在保证消息及时投递的同时进一步地减小能耗。后文将详细介绍如何找到一条满足延迟约束且能耗最小的最优传输路径。

### 3. 抗延时攻击的多跳无人机网络安全路由协议

无人机网络由于多跳、自组织、无中心等特点, 使用方式非常灵活, 然而, 其分布式特性同时也使得它们容易受到各种安全威胁, 包括外部攻击 (External Attacks) 和内部攻击 (Internal Attacks)。网络内部恶意节点发起的内部攻击要比未经授权的外部无人机发起的外部攻击危害要大, 例如攻击者可以入侵合法的无人机并出于特定的恶意目的进行各种类型的网络攻击, 例如丢包攻击、泛洪攻击、重放攻击以及篡改攻击。不幸的是, 已经证明仅靠传统的通信加密和身份验证方案无法有效抵御内部攻击。

延时攻击 (Time-Delay Attacks, TDAs) 是一种内部攻击, 其中恶意节点在将接收到的数据包转发到目的地之前故意地延迟其传输。与其他类型的内部攻击相比, 延时攻击的处理和解决更具挑战性, 其对无人机网络的威胁也更大。延时攻击的特点是易于实施且难以检测: 与需要破坏密码保护和篡改数据包的传统的基于数据驱动的攻击不同, 延时攻击仅延迟数据包传输, 而不会对数据包内容进行任何操纵和修改。此外, 与丢包、泛洪和重放等攻击不同, 谨慎实施的延时攻击可能不会明显影响数据包的传输模式, 引起数据包传输行为的显著改变。

同时, 延时攻击普遍存在于无人机网络的各种应用场景, 并且可能造成重大的损害。无人机网络的许多时间敏感应用场景, 例如森林监测、交通监控、视频会议、灾难救援、任务协调和战场网络, 涉及严格的对数据传输延迟的要求。数据必须被按时送达目的地; 否则, 它们的价值将大大降低甚至完全无效。例如, 在森林火灾监测中, 如果火灾报警信息被恶意延迟, 可能会导致火势迅速蔓延, 造成巨大的生命财产和生态资源损失。此外, 无人机网络的实时协作依赖于无人机之间定期交换编队控制和路由维护信息。如果此类信息被恶意延迟, 则可能导致编队控制混乱和失败 (例如无人机碰撞)、路由路径过时和无效, 甚至可能失去对无人机集群的控制。

由于延时攻击的巨大威胁, 必须开发有效的检测机制和安全路由机制, 以保障无人机网络的任务效能和路由安全。然而, 大多数现有工作都集中在丢包、泛洪、重放和篡改等攻击的检测和防御上, 对延时攻击的研究很少。此外, 不幸的是, 现有对延时攻击的少量研究也主要集中在有线网络和静态无线传感器网络, 而不是无人机网络。

与传统的无线传感器网络和移动自组织网络相比, 无人机网络具有移动性强、分布稀疏、通信连接间断、链路质量不稳定等特点。这些特性可能导致无人机网络缺乏即时和稳定的端到端传输路径。因此, 许多无人机网络基于存储-携带-转发机制来传递数据包: 当通信范围内没有合适的下一跳节点时, 当前持有消息的无人机存储并携带该消息直到它遇到了合适的转发无人机。上述这些特性使得现有的延时攻击检测方法不适用于高度动态的无人机网络。



据了解,目前还没有针对无人机网络中延时攻击检测的研究。在无人机网络中实现延时攻击检测的挑战是多方面的:(1)由于拓扑高度动态和通信连接间歇,数据包的传输路径和投递延迟变化迅速、波动频繁、差距较大。因此,无法通过投递延迟的显著波动来检测恶意延时攻击。(2)由于存储-携带-转发机制,攻击者注入的相对较短的恶意延迟很可能被误判为正常的无人机存储携带行为。(3)由于复杂的网络环境及其高度动态性,许多因素都会影响数据包和节点的转发延迟,导致难以构建精确的数学或关系模型。

为了克服上述这些问题,本文首先构建了无人机网络中延时攻击的数学模型,据了解这是首次在无人机网络中研究和检测延时攻击。然后,本文提出了一个整体跨层的延时攻击检测框架(A Holistic Cross-Layer Time-Delay Attack Detection Framework for UAV Networks, HOTD),并基于此提出了一个抗延时攻击的多跳无人机网络安全路由协议(A Secure Routing Protocol Against Time-Delay Attacks for UAV Networks)。为了实现高效准确的延时攻击检测, HOTD 对节点的转发延迟而不是消息的投递延迟进行评估。首先,由于转发延迟与无人机网络协议栈的每一层,即物理层、数据链路层、网络层和应用层,都息息相关, HOTD 对这些层可用的信息进行整体收集,然后从跨层的角度来选择延迟相关的特征。随后,监督学习被利用来在所选特征和相应转发延迟之间建立一致性模型以计算网络中每个节点的一致性程度。最后,根据节点的一致性程度使用聚类方法来区分恶意节点和良性节点。同时,基于上述评估结果,抗延时攻击的安全路由协议对相应的恶意节点采用路由隔离机制以确保无人机网络的路由安全。

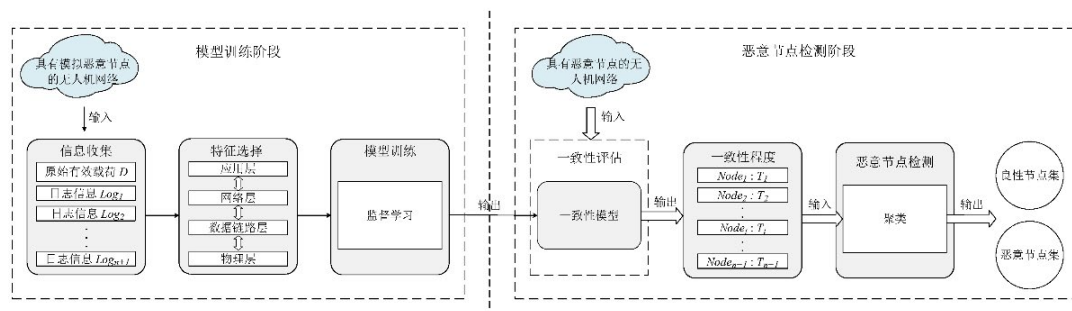


图3 HOTD 的主要工作流程

图3显示了HOTD的主要工作流程,包括信息收集、特征选择、模型训练和恶意节点检测。

(1) 信息收集: 传输的消息被用来收集信息。无人机节点在对消息进行处理和转发的同时会附加一些日志信息,主要由自身的延迟相关信息构成。最终,所有中继转发节点的日志信息随着消息的投递一同被地面站接收,以作进一步的分析和处理。

(2) 特征选择: 在地面站接收到消息之后,会对消息进行整体全面的分析,然后从跨层的角度选择每一层(即物理层、数据链路层、网络层和应用层)的延迟相关的特征。

(3) 模型训练: 基于每一层的延迟相关特征,监督学习模型被利用来在这些选择的特征和相应的转发延迟之间构建一个一致性模型。

(4) 恶意节点检测: 节点的每一次转发行为都基于训练好的一致性模型进行评估,据此可以获得每个节点的一致性程度。然后,聚类算法被利用来根据节点的一致性程度来区别恶意节点和良性节点。



## 作者简介



翟文斌，男，汉族，1998 年 10 月生，江苏泰州人，硕士研究生学历，2023 年毕业于南京航空航天大学，现就读于澳大利亚新南威尔士大学，攻读博士研究生，主要研究方向为软件安全、区块链安全。攻读硕士学位期间以第一作者身份发表学术论文 3 篇，以合作作者身份发表学术论文 13 篇。作为主要参研人员参与国家自然科学基金、国家重点研发计划等国家级课题。获 2023 年“江苏省三好学生”、校“优秀毕业生”、“三好学生”等荣誉。

## 指导老师



王立松，博士，南京航空航天大学教授，博士生导师。长期从事系统软件、航空计算系统及其安全性、面向复杂系统的智能计算与分析、基于模型的系统工程以及系统安全性建模与分析相关研究。获国防科技进步二等奖两项和其他省部级科技进步奖多项。主持、参与和完成 973、民机专项、叶企孙基金、航空基金等科研项目和课题 30 余项。发表学术论文 50 余篇。

# 理论创新与应用落地并重的科研育人之路

——2025 年江苏省计算机学会青年科技奖王楚豫助理教授

## 个人简介

王楚豫，博士，南京大学计算机学院准聘助理教授，博士生导师，南京大学计算机学院院长助理。2018 年于南京大学计算机科学与技术系获得博士学位，师从陆桑璐教授、谢磊教授，博士期间获国家留学基金委资助，赴美国交流访问，师从 Yingying Chen 教授 (NAI Fellow, ACM/IEEE/AAIA Fellow)。他的研究方向主要包括无线智能感知、普适计算、移动计算等，自 2012 年起长期从事基于 RFID 的无线感知研究，在普适计算、移动计算等领域的一流国际会议与期刊 ACM Mobicom、ACM Ubicomp、IEEE INFOCOM、IEEE JSAC、ACM/IEEE TON、IEEE TMC 中共发表论文 50 余篇，其中 CCF A 类论文 30 余篇，Google Scholar 引用近 1000 次，H 指数为 19。他曾获得 2023 年度江苏省行业领域十大科技进展（信息领域唯一）、2025 年度江苏省计算机学会青年科技奖、2020 年度江苏省优秀博士学位论文奖、2019 年度 ACM 中国优博提名奖、2022 年度 ACM 南京分会新星奖、INFOCOM 2018 最佳演讲奖、IEEE INFOCOM 2022-2023 的 Distinguish TPC Member、MSRLA 2020 最佳 workshop 论文奖、PCC 2022 最佳论文奖等多个奖项。主持参与了国家重点研发计划子课题、国家自然科学基金-面上项目、国家自然科学基金-青年项目、江苏省基础研究计划重点项目、江苏省自然科学基金-青年项目等十余个科研项目，相关研究成果在智慧医疗场景、工业互联网场景示范应用。



图 1 王楚豫教授



在科研工作中，王楚豫始终坚持“理论创新”与“应用落地”并重的发展理念，围绕无线智能感知技术开展系统性研究。在理论创新方面，他聚焦“感知极限的突破”与“感知模式的演化”两大核心议题：一方面，研究从位姿追踪到振动感知的技术转变，探索了无线感知的极限来应对不同应用的感知需求，实现了感知精度从“分米级 - 厘米级 - 毫米级”乃至“亚毫米级”的突破；另一方面，研究从传统距离模型到新型信道模型的模型优化，挖掘了不同的无线感知模式来丰富无线感知的方法，提出的旋转扫描机制与多模态融合方法，显著提升了系统感知能力。在应用落地方面，他推动将感知技术应用于智慧医疗与工业场景，取得了突出成效：其参与研发的基于 RFID 的智能输液监测系统已在南京市鼓楼医院、东部战区总医院、广州医科大学附属第二医院等国内十余家医疗康养机构试点应用，并受到央视二套、江苏城市频道等多家媒体报道；参与开发的 GaitTracker 骨骼追踪系统已在多个医院住院部试点使用，与东部战区总医院 ICU 病区深度合作，应用于三项大型临床研究，涉及 80 余家医院；参与研制的感算控一体化 IXPE 反馈纠偏系统在上市企业浙江润阳新材料科技股份有限公司示范应用，每年节省数百万元人力成本，提升经济效益达 2650 万元。

在人才培养方面，自 2018 年入职以来，王楚豫联合指导硕士生 10 名、博士生 4 名，其中 1 名硕士获得南京大学计算机系优秀硕士提名奖；已指导 13 人次完成毕业设计。在指导研究生过程中，学生发表高水平论文 8 篇，相关学生获得 MSRLA 2020 最佳论文奖、PCC 2022 最佳论文奖等奖项。担任了多次大学生创新项目（大创项目）的指导教师，指导多组同学在大学期间展开了具体的科研工作，其中，“基于 RFID 标签阵列的木琴弹奏系统”获得了校内优秀大创项目，“基于摩尔纹的感知技术 - 工业界材料密度检测”项目获批为国际级大创项目。在教材撰写方面，参与撰写教材《射频识别技术：原理、协议与系统设计（第三版）》并参与相关 MOOC 课程的开发与制作。



# 在“数能一体智能感知”科研征途上开拓创新

## ——2024 年江苏省计算机学会青年科技奖傅忱忱副教授

### 个人简介

傅忱忱，博士，东南大学计算机科学与技术学院副教授、博士生导师，获江苏省优秀青年基金、ACM 分会新星奖、江苏省计算机学会青年科技奖、国际会议 EMSOFT2018 最佳论文提名等荣誉，入选中国兵器北方信息控制研究院集团创新团队。2016 年 12 月获香港城市大学电脑科学系博士学位，研究方向聚焦物联网时敏智能感知、感算优化、智能决策等。主持国家自然科学基金面上项目、江苏省优秀青年基金等国家级/省部级项目及军工、企业项目 10 余项，累计主持科研经费超 500 万元。研究成果在中国兵器、中船集团、南钢集团等国家重点领域落地应用，助力产业智能化升级。在 JSAC、TMC、TKDE、TCAD、RTSS、INFOCOM 等国际会议、期刊发表学术论文 60 余篇，其中 CCF A 类论文 30 余篇（一作/通讯 17 篇）。担任国际会议 COCOON 2025、ASP-DAC 2022 的宣传主席，以及 DAC、IPDPS 等国际会议程序委员。



傅忱忱副教授

### 科研突破：数能一体驱动智能感知新范式

傅忱忱副教授深耕物联网“感知 - 传输 - 计算”全链路瓶颈问题，提出三大创新技术体系，突破传统物联系统高成本、低效率、难扩展的局限：

1. 时空敏感移动感知：动态重构物联感知边界



首创“速度可变无人机协同检索”理论，针对时空敏感数据提出最优检索策略，首次证明多项式时间近似比下全局效率最大化，成果发表于 TKDE、RTSS 等顶刊顶会。设计“记忆增强深度强化学习路径规划框架”，融合时空约束与动态避障，实现多无人机 20 平方公里区域三维建模效率提升 35%（对比大疆智图平台），支撑南京智慧园区、西安地铁等场景精准管理。

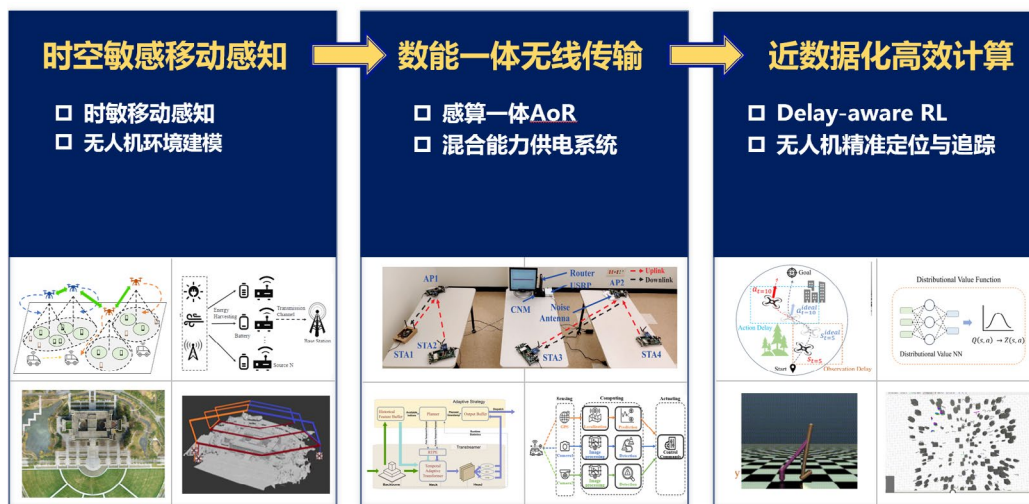


图 1. 数能一体智能感知技术体系：从理论到应用的全链路突破

## 2. 数能一体无线传输：破解终端供能桎梏

提出“环境能源采集 + 无线能量传输”混合供电模式，攻克能量转化效率低、传输距离短的难题，设计多跳网络中数据新鲜度最小化的多项式时间策略，发表于 INFOCOM、JSAC 等顶会顶刊。创新“能量 - 数据双驱动传输调度算法”，在随机供能场景下优化数据包传输与丢弃决策，点对点吞吐量提升 1.5 倍，被 IEEE Fellow 评价为“能量优化领域的里程碑式工作”。



图 2 “低空经济及智能无人系统”主题圆桌论坛

### 3. 近数据化高效计算：重构边缘智能架构

揭示物联网边缘节点“传-算-传”任务依赖规律，提出“三阶段任务调度近似算法”，结合硬件加速与层次索引技术，数据查询效率提升 50%。研发“数据预取方案与强化学习 I/O 合并机制”，在智能终端系统中减少无效数据副本 35%，运算性能提升 34%-55%。成果部署于南钢集团工业互联网平台，实现钢板缺陷检测响应时间从分钟级降至秒级。

## 研以致用：赋能国家战略与产业升级

傅忱忱坚持利用自身科研理念，持续推动学术成果服务国家重大需求与产业转型升级。与中国兵器北方信息控制研究院深度合作，研发“北斗高精度动态路网更新系统”，通过多径优选与增量融合技术，支撑边境巡逻、野外作战等场景精准导航，入选中国兵器北方信息控制研究院集团创新团队。在南钢集团落地“钢板表面缺陷智能检测系统”，结合近数据化计算与深度强化学习，实现缺陷识别准确率 98.5% 的技术。与此同时，傅忱忱引领国际前沿合作，联合美国康涅狄格州立大学 Song Han 教授团队，共同攻关数能一体传输基础理论；与香港城市大学 Tei-Wei Kuo 教授合作开发边缘计算优化框架，推动全球物联技术标准化进程。

## 学会动态

### 共谋职教新篇章，数智赋能育匠才

#### ——江苏省计算机学会职业教育工作委员会 2025 年年会在无锡召开

2025 年 3 月 28-30 日，江苏省计算机学会职业教育工作委员会 2025 年年会在无锡江苏信息职业技术学院隆重举行。

本次年会以“聚焦职教发展新机遇，推动产教融合新模式”为主题，汇聚了全省职业教育领域的领导、专家、院校代表及企业嘉宾近 100 多人，共同探讨职业教育高质量发展的创新路径。江苏省计算机学会秘书长金莹、工委会主任李畅、江苏信息职业技术学院校长张瑜、江苏电子信息职业学院副校长刘东风、江苏食品药品职业技术学院党委副书记安进等领导出席本次会议。







# 中国 AI 长卷（二）：框架立基

来源：脑极体 Unity

2021 年正值科技摩擦之际，我采访到一位工业机械公司的技术负责人，向他问到：“制造领域有没有一些“卡脖子”的情况？”

他提到，“工业智能制造的核心要素，可以归纳为“三软三硬”。三软主要是指大数据、人工智能和工业软件，三硬主要是指核心装备、制造工具和材料。卡脖子这个问题，在各行各业各个领域都普遍存在”。

“反倒是深度学习框架，现在的情况还好，没有卡脖子。TensorFlow 是开源框架，虽然也是国外的，但目前还没有封闭，不过也不排除它后期还会封闭。这也是为什么我们公司选择国产深度学习框架，一是使用门槛更低，二是防患于未然。客观地说，国产框架离 TensorFlow 还有一定的差距，但这个差距在肉眼可见地缩小。”

从传统的深度学习模型时代，到方兴未艾的大模型时代，都离不开 AI 框架的平台化支撑，其重要性不亚于芯片。但和芯片不同的是，与大模型发展相适配的国产 AI 框架，基本实现了自保。



这是基础技术领域一个非常大的进步，也是中国为什么没有错过这一轮大模型 AI 热潮的原因之一。

2021-2024 的短短数年，从机器学习到大模型，新旧技术“沧海桑田”，科技行业风云变幻，但 AI 框架之于产业的重要性，却从未改变。

如果说，从信息化、数字化到智能化的漫长进程，就像鱼类走向陆地的进化变迁，那么 AI 框架，就处于算力层与应用层的中间地带，犹如海洋与陆地之间的那道“海岸”，支撑着各行各业与智能浪潮的交融。

那么，究竟什么是大模型所需要的 AI 框架？AI 框架是如何满足产业链需求的？国产 AI 框架与海外框架的差距或差异又在哪里？

本文就让我们深入 AI 产业链的中枢地带，沿着 AI 框架的“海岸”一探究竟。

鱼要经由海岸，进化成两栖动物，适应陆地，才能具备在新环境的生存能力，拓宽种群的边界。同理，AI 模型从训练到推理的全流程落地，开发者也需要一种基础设施作为助力，这就是 AI 框架。





一个底层 AI 框架，至少具备几个特质：



1. 通用性。AI 框架作为基础设施，广泛覆盖各类模型，同时简化了 AI 开发过程，对多种算法进行模块化封装，让开发者不需要“重复造轮子”，可以快速搭建 AI 模型。比如对多元异构计算硬件的适配兼容，支持大分发多类型任务调度的分布式能力，核心算子库等，是开发各类算法模型都需要的，都要在框架层去解决。

2. 全流程。AI 框架集成了模型开发所需要的工具，为开发人员提供全流程的开发环境。具体来说，训练、调优、测试和部署的一整个标准化流程中，所需要的相应组件，都能够在一个平台获得，进行全流程的项目提升，高效满足各类场景的定制化建构需求。

3. 生态化。从产业链全局来看，AI 框架下接芯片，上承应用，是芯片厂商、应用开发者、软件服务商等多个行业主体都汇聚的中枢地带，形成了非常关键的 AI 生态系统。拥有一个集聚产业链的自研 AI 框架，就如同拥有了一条生态丰富、自主可靠的海岸线，是一企乃至一国守住 AI 疆域的关键。

因此，当 ChatGPT 代表的大模型爆火之后，焦虑无处不在，“我们没有大语言模型怎么办？”“高端算力卡被禁了怎么办？”“基础软件卡脖子怎么办？”但同样至关重要的底层 AI 框架，却没有出现“什么时候才能有自己的框架”的焦虑。

试想一下，如果国计民生重点行业的大模型，建立在海外企业的框架上，开源许可证的断供风险、数据安全风险可想而知。幸好，国产 AI 框架，早就做好了准备。

目前，国际有两大主流 AI 框架 TensorFlow（谷歌）、PyTorch（Meta），而中国自研的 AI 框架，按照其厂商可以分为三类：

一是以百度为代表的 AI 头部科技企业推出的，如飞桨 paddlepaddle，基于先进模型和产业生态积累，布局 AI 框架，建立智能业务的体系化优势。

中国软件产业 40 年功勋人物、“国家卓





越工程师”称号、百度 CTO 的王海峰，曾回忆文心一言的开发过程：2023 年要在算力需求爆发、供应紧缺的条件下，快速跟上 ChatGPT 的趋势，正是基于百度的深度学习框架飞桨 paddlepaddle，下游跟主流的芯片厂商做了适配，任何好的算力，我们都能用得起来，很快完成了大模型训练。



二是以华为云为代表的 AI 云服务厂商推出的，如昇思 mindspore，通过 AI 框架，在云基础设施和行业云用户之间搭建起桥梁，提供完整的云端大模型服务。

去年大模型的百花齐放，就是很多 ToB 企业和软件公司，利用华为云上的 AI 框架昇思 mindspore，以及盘古大模型、昇腾 AI 云服务等，支持国内各类开发者、服务商等结合行业应用场景，做出原创模型，支撑了国内多个领域训练并首发大模型，加速了大模型走向产业化的进程。



三是垂类 AI 服务商、研究者推出的深度学习框架，具备某些独特的技术特性或应用场景，比如旷视科技 (Megvii) 在计算机视觉领域的专长，使其 MegEngine 框架在图像处理任务上表现突出；清华大学计算机系推出的 Jittor，特别适合于研究和教育领域，便于快速实验和算法原型开发；腾讯优图的 NCNN 框架专为移动端和嵌入式设备优化，适合资源受限的环境或边缘计算；一流科技的 Oneflow，也是业内完整的深度学习框架类产品。

不同于英伟达基于芯片构建的软件生态体系，国产 AI 芯片厂商受限于产品规模，自研软件配套的应用范围比较有限，有待发育，就不详述了。

综上，面对大模型掀起的这一轮 AI 浪潮，海外框架平台生态蓬勃，起到了一个“海阔凭鱼跃”的作用。国产 AI 框架也没有缺席，为各行各业探索大模型，奠定了基础，汇聚了力量。

AI 框架之所以没有缺席，是中国产学研界人士“板凳甘坐十年冷”，一点一滴地构筑而成的。这个过程，遵循了技术领域的“双漏斗”规律，是一个从扩散到收敛，从收敛到扩散的过程，其间经由开发者不断选择和淘汰，最终演化成了今日格局。

## 第一阶段：早期时期的扩散漏斗 (Diversity Phase)

新技术出现的初期，由于技术尚未成熟，新的想法和产品层出不穷，市场和用户对于哪种技术会最终胜出存在很大的不确定性，因此会出现多样化的技术流派。

PC 操作系统、移动互联网 OS 都经历过百花齐放、多家争鸣的阶段，AI 框架也不例外。深度学习大行其道的时候，

数据、算法和算力激增，工程复杂度提高，开发者非常需要减少“重复造轮子”，直接调用某些模型或工具，这时候各大厂商都开始将自研算法和工具封装为软件框架，供开发者使用，涌现出了 Theano、Caffe（伯克利大学）、Torch、DistBelief（谷歌，TensorFlow 前身）等多款框架。

## 回溯框架演变 “双漏斗式”的AI筑基历程



同一时期，国内还没有互联网企业或科技公司做框架，部分高校在学术科研角度做了一些零散的工作。构建完整的深度学习框架，是 2013 年百度开始。因为很早就关注到深度学习技术，百度更早遇到了深度学习应用上的一些挑战，比如所有的算法从头写，开发效率低，经常出错；每个深度学习开发团队写的程序差异很大，模块无法复用，兼容性也不高，急需一个统一框架。于是 2013 年，百度开始在框架上投入。据了解，当时百度内部也是框架百花齐放，开发了多个深度学习框架，解决不同业务的不同问题。

值得注意的是，早在此时起，国内外的框架就已经显露出差异化的特质。以 Caffe、Torch 为代表的海外框架，更偏向于学术、工程师使用；以百度为代表的国内框架，从产业土壤上生长出来，一开始就很注重实用性、功能性、分布式训练、硬件优化等产业特性。



### 第二阶段：竞争时期的收敛漏斗（Consolidation Phase）

随着时间的推移，更主要是 AI 巨头如谷歌、Facebook、百度的优势框架相继开源，其他框架逐渐被淘汰、合并，多样化的框架格局开始向几家主导“收敛”。

2015 年开始，谷歌大脑宣布 TensorFlow 开源，2016 年百度飞桨宣布开源，2017 年 Meta 人工智能研究院（FAIR）宣布 PyTorch 开源。开发者逐渐集中到几个主导者生态中。

曾经的热点框架如 Theano、CNTK（微软）、Keras、Caffe2 都相继停止维护，或被主流框架收编，百度内部也开始将多款框架收敛为 paddlepaddle，并正式对外开源。

这一阶段，海内外并不“同此凉热”。

一方面，PyTorch 凭借极强的学术灵活性、易用性，迅速崛起，已经发布很快成为爆款，成为围剿谷歌“框架霸权”（TensorFlow 不兼容其他开发框架）的生力军。

另一方面，当时国内很多企业的 AI 意识还没有觉醒，以计算机视觉为代表的深度学习技术，很难满足产业落地的精度需求。因此，当海外 AI 巨头围绕框架“火星四溅”的时候，中国的深度学习框架依然是“冷板凳”，企业中





只有百度一家在坚持做。

如果说，当时海外框架是因竞争而主动收敛，那国内框架就是因为遇冷而被动孤守。

第三阶段：摩擦时期的再生漏斗（Renewal Phase）

当主导框架不再适应时代需求，就会出现新的创新浪潮，导致技术的多样性再次增加。“TensorFlow、PyTorch 两分天下”的局面被改变，国产 AI 框架的创新再生大爆发，是在 2019-2020 左右，中美科技摩擦逐渐增多，需求侧和供给侧都发生了诸多变化。

从供给侧来看，海外框架爆出安全漏洞，而 AI 又涉及国计民生核心领域，供应链风险不得不重点考虑，自主可靠的国产框架成为必需，供给增多。这一阶段，国产 AI 框架进入加速发展期，除了飞桨 PaddlePaddle，华为、

阿里巴巴、腾讯、旷视科技等产业界，以及清华萨苏等学术界，也都相继推出了自研框架，丰富了国产框架的活力。

从需求侧来看，随着 AI 渗透率提升，中国各行各业的开发者需要中文框架，更贴合中国市场的工具与数据集，更符合中国开发者需求的社区生态，更能满足中国产业需求的 AI 平台。

有开发者曾提到过，偏底层的 TensorFlow，没有为开发者考虑到大量细碎问题；习惯了邮件沟通的海外平台社区，无法满足中文开发者实时交流、社群互动的本土化开发需求；需求分散、场景多样的国内中小企业，很少有技术人员，TensorFlow、PyTorch 纯开源框架不能提供成熟低门槛的解决方案，这种模式无法支撑 AI 广泛落地。

当前阶段：大模型时期的再收敛漏斗



AI 框架从深度学习到大模型阶段，从扩散到收敛再到扩散，技术革新与格局嬗变的背后，一条主线从未改变，那就是从学术到产业化，变得越来越易用、实用。对开发者和产业更友好，更具应用优势的框架，生态的吸引力更强，框架的生命力也就更长，最终从群雄逐鹿的赛场中厮杀出来，成为主导。

目前，源于中国产业实践的国产 AI 框架，也逐步收敛到更懂产业应用场景、更具技术先进性和生态规模优势的飞桨与昇思。

具体表现在，飞桨和文心一言，昇思与盘古大模型，与产业结合的广度和深度，已经超越了其他国产框架的生态规模。

同时，形成了全链路、低门槛的大模型服务能力，提供从算力、模型到应用、商业层的多元多层支持，凝聚更加广泛的开发者。

产业链角色的多样性与开放性也格外显著，与模厂、硬件厂商、应用开发者、软件企业、ISV 服务商等行业伙伴，都建立起了较好的相互赋能关系，构建起智能服务的产品结构体系。





进入大模型时代的新阶段，AI 基础设施的重要性，也被拔高到了前所未有的高度。

正如基础通用模型不可能人人都做，如果企业和科研机构无差别入场做基础模型，会造成算力人力的极大浪费，也会让使用者的精力分散在各种模型的试错上，无法快速凝聚到技术更强的模型上，框架也是类似的逻辑。

一个底层框架的技术优势、工具完整度、生态规模，需要长期积累、聚沙成塔，而基础软件又格外需要生态的发展和汇集。逐步收敛到飞桨、昇思等更具潜力和繁荣的产业化框架上，构筑 AI 战略底座，将是大势所趋。

如前所说，AI 框架是技术浪潮与产业大陆的连接地带，只有在一次次潮起潮落后，仍然坚守下来的平台，才能成为中国 AI 产业链的坚定守护者。



经由时间和市场的洗练，国产框架与海外框架的特性差异，也变得越来越清晰。而这，可以作为一个侧影，让我们看到中国 AI 的差异化亮点。

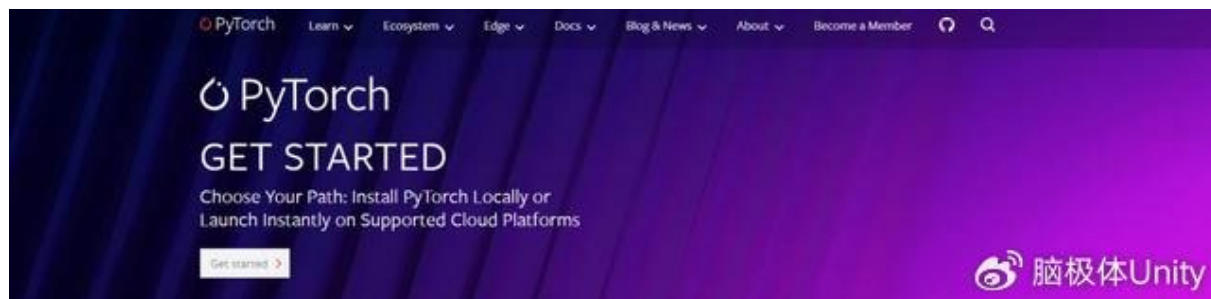
还记得 ChatGPT 横空出世之后，大家总能听到这样的言论，“中美 AI 差距有十年”“OpenAI 一心底层创新，中国 AI 还没长大就得出去赚钱”“百模大战是同质化的浪费资源”……

从 AI 框架可以看到，更强的产业化能力，本就是中国 AI 的底色，也是亮色。

基础能力上，以飞桨、昇思为代表的 AI 框架，在产业 AI 方面的实践更多、积累最早，理解也最为深刻，因此可以很好地支持 AI 模型开发与部署，让产业迅速、更大规模应用这些新技术。



举个例子，面向科研、强调学术研究灵活性的 PyTorch，对产业应用的推理部署需求，做得是比较薄弱的，而国产框架为大模型到产业铺设了一条高效通道。





飞桨很快上线了对大模型开发的功能支持，提供了一系列模型封装能力，加速大模型的产业化落地。昇思 MindSpore 提供了一整套高效、易用的大模型使能套件，形成了端到端的使能大模型开发能力。

通过 AI 框架，开发者与行业少走弯路，不重复造轮子，快速高效地把大模型用起来，这是中国的基座通用大模型快速跟进、行业大模型爆发的前提。

产品体系上，源于产业需求的国产 AI 框架，能力布局更加全面、细致，可以更好地满足产业落地 AI 大模型的实际需求。

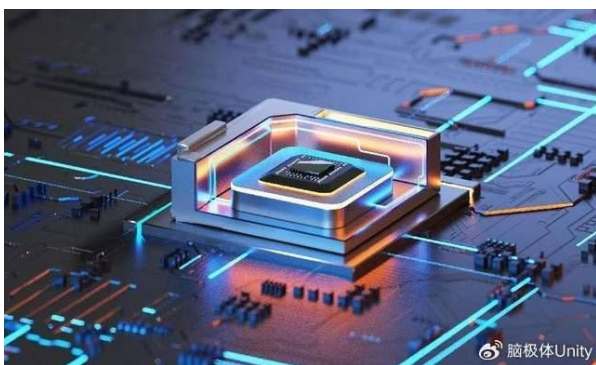
纯开源的海外模型，常常会强调自己的技术有多厉害，有多强，对开发者就主打一个“野蛮生长”，这与其数字化水平、数字人才等都有直接关系。

然而中国企业的小、分散、需求长尾，决定了 AI 框架作为产业基础设施，是不能轻易“放养”的。

比如硬件适配，海外以英伟达为主导的硬件市场，也不像中国面临多元异构算力问题的巨大挑战。作为国产 AI 框架，必须进行软硬件结合的深度融合优化，做特别多的工程开发工作，来降低开发者的硬件适配成本。

再比如模型库。模型库不是深度学习框架核心的组成部分，底层框架厂商投入精力去打造更细分的模型，看起来好像是把精力分散到了外围一些无关紧要的东西上，而不是底层核心技术。但从产业应用的角度来看，中国存在大量企业，没有专门的研发人员能够使用核心框架，从头完成一个模型的自研工作，AI 也没有办法落在产业需求中。

利用框架平台的 AI 解决方案、模型和开发套件，进行微调改写，就能得到一个贴合场景的定制化模型，这更符合中国的产业实际。



源于产业、面向产业、托举产业，以国产 AI 框架为基，如同隐藏在漫长时光深处的“海岸”，在技术潮水涌动之际，才能看出战略价值，支撑住中国产学研政各界对大模型技术的期待。

处于产业链中枢地带的 AI 框架，以稳定的底座、全产业链的贯通、较低的门槛，吸引了大量行业和从业者在这里栖身，适应并探索 AI 新技术；

在这里“进化”，从非数字原生组织，生长出数字化、智能化的能力；

在这里“融合”，多种产业角色在这里交流、融合、创新，汇聚起丰富的 AI 生态。

最终，经由 AI 框架的“海岸”，开发者和行业一步步向 AI 时代迁徙，开启产业智能进化的新篇章。

# 智能车载多音区音频管理系统及产业化应用

## ——2024 年江苏省计算机学会科学技术奖二等奖

项目名称：智能车载多音区音频管理系统及产业化应用

完成单位：科大讯飞（苏州）科技有限公司

### 项目简介

#### 1、项目背景

国外垄断与国内内卷竞争，车载音频需要新技术引领升级。汽车音响高端市场长期被欧美日品牌垄断，像欧美的 Harman Kardon、Bose，日系 Pioneer、Sony 等，国内音响难以冲击高端。随着汽车作为“第三生活空间”的功能强化，尤其是自 2004 年，我国确立新能源汽车强国战略以来，新能源汽车技术的国产化和创新突围越来越受到重视，车载音频智能化更是不可或缺的一环。智能车载音频管理系统是科大讯飞从智能音效生态到汽车用户智能化体验场景积极探索的结晶，也是 AI 技术改变智能汽车人机交互领域中又一项重大的突破。

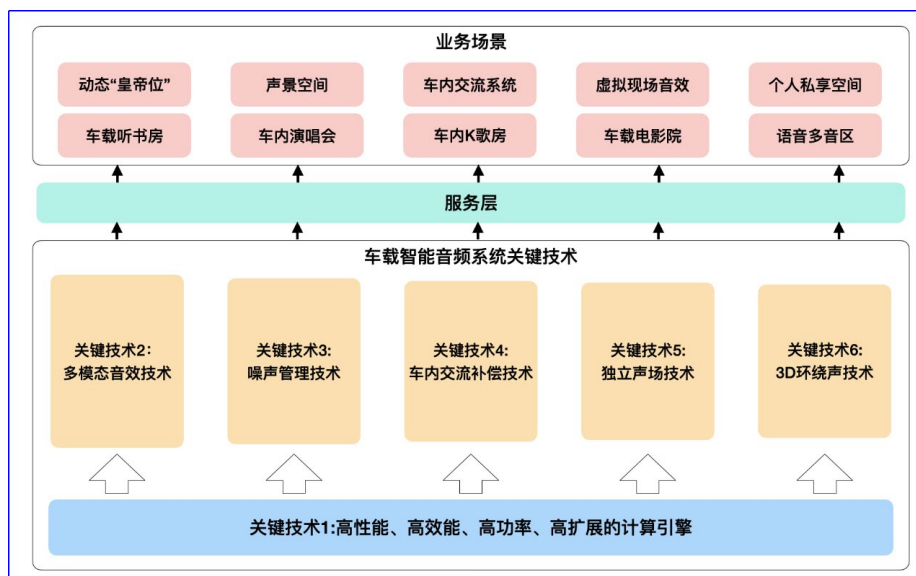


图 1 车载音频多音区管理系统开发示意图

#### 2、项目思路

项目属于人工智能技术与汽车整车装配技术交叉融合的汽车智能座舱领域，旨在运用 AI 技术赋能传统车载音响系统，具有行业引领性，通过多模态音效、主动降噪、交流补偿、独立声场、3D 环绕声等算法技术和高性能、高效能、



高功率、高扩展的计算引擎两大层面的系统性创新，打造软硬一体化的音频管理系统，实现多元化车内业务场景，提升用户智能化体验。产品打破欧美日老贵音响品牌的高端市场垄断，在基础音效相当的情况下，智能化水平实现全面超越，引领新一代智能音频系统的国产化创新与音效智能化体验升级。

与传统汽车音响品牌相比，智能车载多音区音频管理系统在 AI 技术的加持下，实现汽车声学的智能化控制和释放，突破传统声学单线程输出控制，极大提升了音响系统场景化体验能力和智能化控制水平。

通过创建汽车全域链高宽带与多音频共线的声音控制构架，打造高性能、高效能、高功率、高扩展的计算引擎底座，解决硬件系统冗余和任务难以协同的难题；通过多模态音效技术、噪声管理技术、车内交流补偿技术、独立声场技术、3D 环绕声技术的自主创新，实现车内声场的智能化控制和场景化设计。

### 3、项目产品优势

#### (1) 知识产权

项目获得相关授权发明专利 27 件、授权实用新型专利 7 件、授权软件著作权 13 件，申请 PCT 专利 2 件，获批立项苏州市 2023 年高价值专利培育计划项目。

#### (2) 关键技术指标与创新优势

①基于汽车音频处理部件的冗余过度、信号延时等不足，率先提出了传感器和处理器共用以及多音频共线的全域声音链控制构架，建立了从音源输入到声音处理再到声音播放的智能化声音闭环控制方法，实现了部件共用、信号共享和功能协调的系统优化集成。

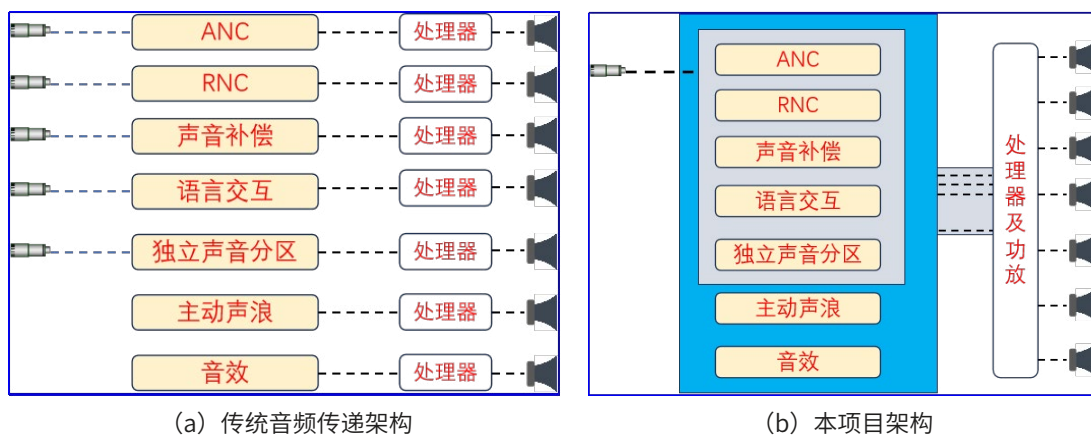


图 2 全新声音控制架构转变

新架构音频共线达到 128 通道，声音延时降低到 5ms，能耗降低 76.5%，在保证性能、功率不下降的前提下，国产化芯片应用率达到 100%，有效解决“卡脖子”的风险；

②针对噪声主动控制中的收敛慢、易爆音和噪声传递函数非线性难题，提出了频率选择性车内噪声自适应主动控制方法，构建了以车路信号深度融合、变步长 FxLMS 算法和遗忘因子为核心的前馈自适应主动降噪系统和控制策略，实现了对影响车内声品质噪声频段进行选择性有源抵消，路噪主动降噪技术实现国内首发。

③针对汽车座舱内狭小的声学空间和大量反射声等实际声学空间物理限制而难以复原音乐录制的原有真实 3D 声场的难题，发明了立体声音轨的音乐元素分离及重塑 (remix) 的声场重建技术。实现将传统两通道立体声提升至 3 维 7.1.4 多通道全景声听感体验效果，【智己 L7、LS7 量产全系标配，媒体报道：<https://www.sohu.com/>



a/677291003\_121250675, <https://mp.weixin.qq.com/s/yLupLZJdiYR6iNQf1jLP1g>】

④针对行业缺乏自主可控声场开发工具且声品质难以控制的难题，研发了全域声场动态可视化音频算法信号流设计和调控工具，相比传统的音频信号流开发方式，效率提升了 80% 以上。

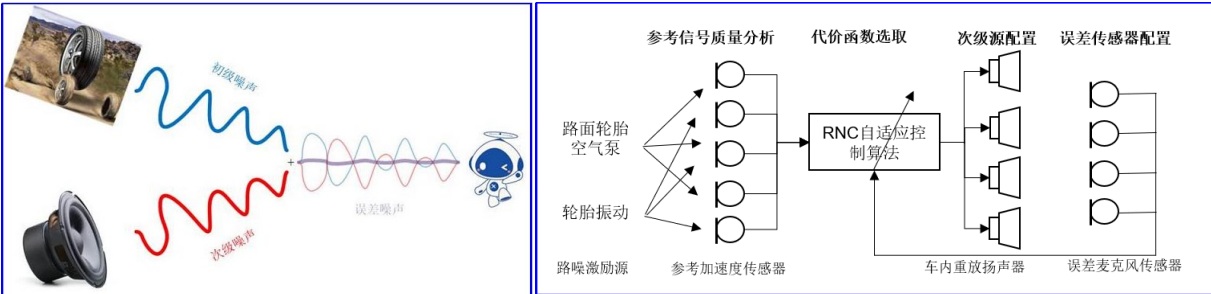


图 3 主动降噪原理 & 前馈自适应主动降噪技术示意图

(3) 推广应用与经济社会效益：

①直接经济效益：项目已完成上汽、奇瑞、广汽、江淮、一汽红旗 5 大头部车型部署，客户反映良好，2020—2023 年累计销售额 2.1 亿元，2024 年 1-9 月销售额 1.56 亿元，其中 2023 年实现销售额 1.65 亿元（详见附件），2025—2026 年预计实现销售额 15 亿元。

②间接经济效益：智能车载多音区音频管理系统对智慧座舱带来革命性的影响，提高了驾驶安全性，提升驾乘音效体验，极大丰富汽车厂商的价值创新点，为企业扩大营收创造条件，在增强民族车企智能化品牌形象，助力中国车企出海意义重大，对降低国内对外部技术依存度和建设“数字中国”具有重大战略意义。

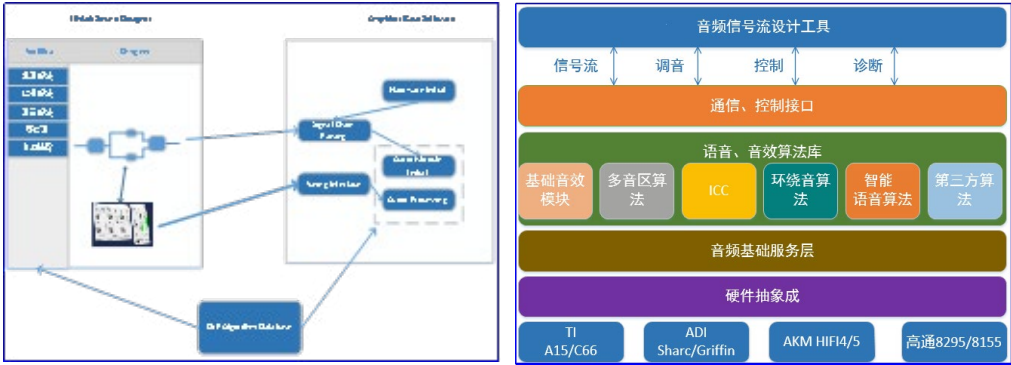


图 4 可视化和模块化调音架构图

主要科技创新

1、立项背景

在国家新能源汽车和智能网联汽车战略推动下，汽车电动化、智能化、网联化长足发展。近年来，国家相关部门陆续出台了《自动驾驶汽车运输安全服务指南（试行）》《关于开展智能网联汽车准入和上路通行试点工作的通知》《关于推进 5G 轻量化（RedCap）技术演进和应用创新发展的通知》等一系列政策促进自动驾驶、智能汽车及车联网行业的发展，为智能座舱行业的发展提供了良好的环境，在国家大力推进新能源汽车的发展背景下，我国汽车电动化、智能化、网联化方面全球前列，新能源汽车及智能网联汽车日益显示出独特的优势，带动了智能座舱产品渗



透率与性能快速提升，车载音频系统是智能座舱重要组成部分。消费者端对个性化驾乘体验、人机交互等要求也在不断提高，推动车载声学市场持续升级扩容，同时车载声学系统正积极向数字化、智能化迈进。据盖世汽车研究院预测，2025 年全球车载声学系统市场规模将突破 900 亿元。

## 2、行业发展趋势

智能座舱纵深发展，长期受国外高端音响设备垄断的车载音频系统成为车企必争之地。汽车音响高端市场长期被欧美日品牌垄断，像欧美的 Harman Kardon、Bose，日系 Pioneer、Sony 等，国内音响难以冲击高端。智能车载音频管理系统就是科大讯飞从智能音效生态到汽车用户智能化体验场景积极探索的结晶，也是 AI 技术改变智能汽车人机交互领域中又一项重大的突破。从目前的发展趋势来看，由多项人工智能技术融合集成创新的新一代智能车载多音区音频管理系统已呈现显著的竞争优势。该项技术颠覆原有车载音响领域的格局，随着智能座舱市场的渗透率不断提高，将是国内车载音频技术迅速赶超欧美传统行业巨头的极佳契机。该项目的产业化落地，一方面可培养大批人工智能领域的人才，另一方面可让国内车企在这细分赛道持续做大做强，继续引领智能座舱新的技术潮流，促进相关产业及经济发展。

## 3、项目方案与进展

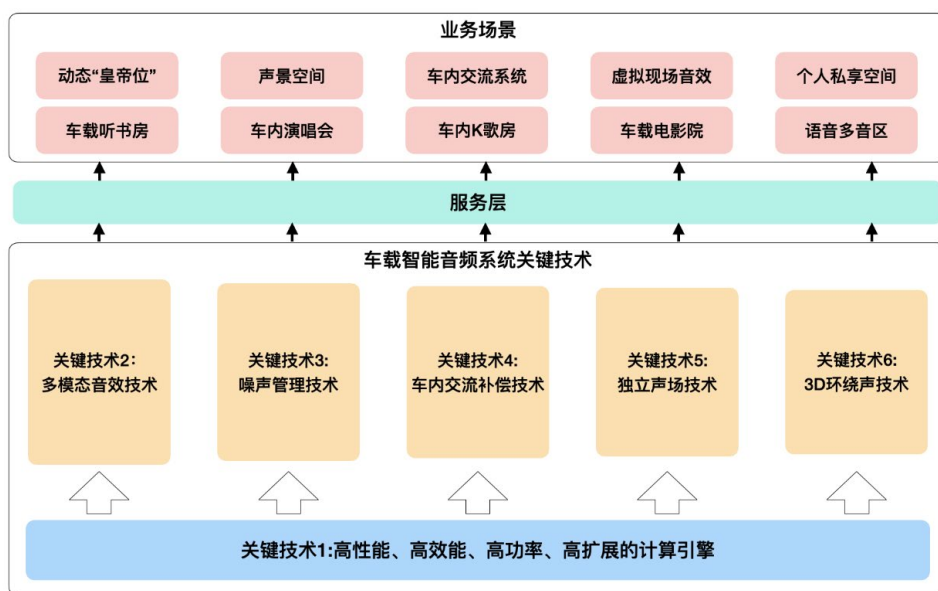


图 5 项目技术方案开发框架

智能车载多音区音频管理系统，采用科大讯飞核心的 AI 智能化技术作为底层运行逻辑，打通硬件系统，构建了软硬一体的智能车载多音区音频管理系统，由科大讯飞硬件、软件、声学、算法等多个技术团队联合打造，基于车载多音区算法，创新的多音区交互技术配合硬件，实现分区拾音和分区放音的功能。依托高性能、高效能、高功率、高扩展的计算引擎、多模态音频技术、噪声管理技术、车内交流补偿技术、独立声场技术、3D 环绕声技术等核心研究，以“让普通车也能拥有百万豪车的独享空间，用智能化将汽车声音体验升维到新的高度”为愿景，对声音进行场景化设计，开辟新一代车载智能音频系统的发展路径。重点解决在智能座舱领域，中国汽车工业与外资品牌的技术落后，突破了国外技术壁垒，形成国内领先、国际一流的技术水平。

项目获得相关授权发明专利 27 件、实用新型 7 件、软件著作权 13 件，申请 2 件 PCT 专利，并荣获以下 9 项荣誉：2020 全球人工智能应用博览会产品金奖、江苏省优秀人工智能产品奖、2021 年江苏省人工智能融合创新产品、江苏省人工智能学会科学技术奖（技术创新奖）、金智奖座舱应用系统领域年度最佳产品奖、2021 年江苏省汽车产业重点领域先进技术产品、2022 年中国汽车供应链优秀创新成果、2023 年江苏省信息消费优秀产品推广目录、2023 年江苏省信息技术应用创新优秀解决方案。

#### 4、主要技术发明内容与创新点

##### 创新点 1：创建了汽车全域链高宽带与多音频共线的声音控制构架

本项目在国际上率先提出了具有传感器和处理器共用以及多音频共线的全域声音链控制构架，建立了从音源输入到声音处理再到声音播放的智能化声音闭环控制方法，实现了部件共用、信号共享和功能协调的系统优化集成。

（所属学科：车辆工程，授权发明专利 5 件：车辆的电压调节方法、电压调节电路和电动车辆 -ZL202111531890.5，音频处理系统、方法、装置、设备及存储介质 -ZL201910810790.2，车载蓝牙通讯处理方法、车载音频管理系统及相关设备 -ZL201910789389.5，配置参数的获取方法、配置方法、电子设备及存储装置 -ZL202110391003.2，用于车内媒体源的音量补偿方法、装置及车辆 -ZL202310229563.7；授权实用新型专利 5 件：一种车载音频系统 -ZL202123058644.0，一种基于 A2B 总线的可扩展音箱系统 -ZL201921422542.2，一种音频播放系统以及车载音响系统 -ZL201921837959.5，一种基于 A2B 总线的有源音箱 -ZL201921422626.6，音频转换设备 -ZL201921373251.9 音箱及扩声系统 -ZL202120740186.X）

（1）基于深度学习的高宽带与多音频共线模型，建立了支持多通道和高扩展的平台。实现了 ENC、RNC、主动声浪、声音补偿、独立声音分区、音效、语音交互的同步协调，高宽带、多通道、信号防串的数字音频传输，音频共线达到 128 通道，在保证性能、功率不下降的前提下国产化芯片应用率达 75% 以上，大大降低了“卡脖子”的风险，新方案国产化芯片应用率实现 100%。

（2）基于从音源输入到音频处理再到声音播放的全域声音链智能实时音频开放构架，开发了全域声音链软件管理系统。攻克了多音频控制系统冗余度高和音频效果实时性差的难题，实现了融合多种 AI 技术的高精度、高性能、低延时智能音频算法，声音延时降低到 5ms；提出了实时侦测音频输出幅度、快速动态响应调整输入电压的智能电源管理算法，实现了复杂工况环境下多通道音频系统的高功率和高效率的能量分配，能耗降低 76.5%。

##### 创新点 2：提出智能座舱降噪、声浪及声场重建成套主动控制算法

（1）提出了频率选择性车内噪声自适应主动控制方法，构建了以车路信号深度融合、变步长 FxLMS 算法和遗忘因子为核心的前馈自适应主动降噪系统和控制策略，实现了对影响车内声品质噪声频段进行选择性有源抵消，路噪主动降噪技术实现国内首发，发明了多场耦合下发动机排气声浪主动控制技术，提出了零感知突变的声音粒子合成主动发声算法，攻克了复杂耦合声音参数下低延时、高精度阶次追踪主动发声控制技术。（主要授权发明专利 10 件：一种主动降噪方法、系统及相关装置 -ZL202210854874.8；一种车辆主动降噪效果评价方法、装置、存储介质及设备 -ZL202210127549.1；随噪增益方法和装置、车载系统、电子设备及存储介质 -ZL202310151888.8；一种引擎模拟方法、声浪合成方法和相关装置 -ZL202310600578.X；一种车辆主动声浪增强方法、装置、存储介质及设备 -ZL202310454222.X；一种车辆声浪合成方法、装置、存储介质及设备 -ZL202310489906.3；音频粒子提取方法和声浪合成方法及装置、设备、介质 -ZL202211590380.X；功放调试方法、声音生成方法及装置、设备和介



质-ZL202210481800.4; 语音增强方法、相关设备及可读存储介质-ZL201911283959.X; 一种音频合成方法及相关方法和设备-ZL202210371934)。

(2) 构建了融合归一化、变步长和遗忘因子为核心算法的车内前馈宽频带噪声自适应主动降噪算法及控制技术。针对噪声主动控制中的收敛慢、易爆音和噪声传递函数非线性的难题,建立了基于BP神经网络算法的车内噪声辨识模型和融合归一化、变步长和遗忘因子为核心算法的车内前馈宽频带噪声自适应主动控制模型,提出了一种宽频域大幅值高可靠性的主动降噪控制策略,构建了多级并联的多通道多频点陷波器,搭建了关键结构声传递路径贡献量识别和收敛步长及遗忘因子参数在线实时优化的标定和控制平台,实现了车内中低频噪声的声均衡,实现国内车型路噪主动控制技术的量产首发搭载。

(3) 研发了零感知突变的声音粒子合成主动发声算法及控制技术。针对复杂加速工况下车内主动声与油门踏板开度、车速、档位等多参耦合下难以精准匹配的难题,提出了基于最小方差Void-Kalman滤波阶次追踪方法的动力声阶次定位及提取方法,构建了主动发声系统声音粒子特征数据库,融合基于状态空间矢量(State Vector)和注意力机制CNN-LSTM深度神经网络的建模实现链路,实现了基于波形相似叠加(WSOLA)算法的声音粒子零感知突变合成,声重建误差 $\leq 1\text{dB}$ ,实现了车内主动声增强技术的国内自主量产首发。

创新点3: 研发了立体声音轨的音乐元素分离及重塑(remix)的声场重建技术。

针对汽车座舱内狭小的声学空间和大量反射声等实际声学空间物理限制而难以复原音乐录制的原有真实3D声场的难题,提出融合有监督和半监督模式的深度学习训练范式,发明针对立体声音轨的音乐元素分离及重塑(remix)技术,提出降低算法原型复杂度的剪枝、量化以及模型压缩等技术,实现将传统两通道立体声提升至3维7.1.4多通道全景声听感体验效果,此项技术在该领域为国内首次研发成功,突破国际大厂的专利壁垒限制,同时实现国产车型的首个规模化量产落地。【智己L7、LS7量产全系标配,媒体报道:[https://www.sohu.com/a/677291003\\_121250675](https://www.sohu.com/a/677291003_121250675), <https://mp.weixin.qq.com/s/yLupLZJdiYR6iNQf1jLPIg>】(授权发明专利6件:音频上混方法、装置、电子设备和存储介质-ZL202011578902.5;声场重建方法、装置、电子设备和存储介质-ZL202011454645.4;一种声场重建方法、装置、设备及存储介质-ZL202110836253.2;基于多拾音场景的防串音方法、装置以及设备-ZL202010975920.0;一种声场重建方法、装置、设备及存储介质-ZL202110836253.2;一种测试方法及系统-ZL202110668720.5)

创新点4: 研发了全域声场动态可视化音频算法信号流设计和调控工具

针对音频信号流开发需求多并且变更频繁的特点,通过软件分层化、模块化设计思路,首创研发了实时动态音频信号流设计工具,实现音频算法可视化、模块化快速设计开发,支持资深声学专家或专业调音师在没有软件工程师参与下直接设计音频信号流,快速缩短定制特定音效功能的音频信号处理系统的交付时间。相比传统调音模式,效率提升了80%。(主要授权发明专利3件:车载音响参数辅助调节方法、装置以及音频处理器-ZL201911109034.3;调音方法、相关设备及可读存储介质-ZL201911282714.5;一种混响构建方法及其相关设备-ZL202111373427.2;软件著作权2件:科大讯飞音效调音软件V1.0-2021SR1935199、科大讯飞车载音效软件V1.0-2021SR2106528)

## 5、国内外同类技术的主要参数/效益及市场竞争

智能车载多音区音频管理系统融合了三大方向的人工智能技术的系统方案,采用模块化、平台化、可运营的设计理念,打造了新一代高性能、高效能、高功率、高扩展的计算引擎,实现全量智能算法搭载。此外,该系统还具



有以下独特优势：

- (1) 突破车辆空间限制的 3D 环绕声技术：通过立体声音源重塑，营造出极强的沉浸感与包裹感，将传统的声音体验提升至新的维度。
- (2) 系统性地提出结合主动降噪与声浪合成为一体的车辆噪声解决方案：为乘客创造一个舒适的车内环境以及震撼的驾驶体验。
- (3) 创新性提出具备 AI 感知的车内交流技术：可实现全双工的智能车内交流补偿，方便前后排乘员沟通，提升了沟通体验。
- (4) 创新性提出具备 AI 感知的独立声场技术：通过多模态融合，打造专属的私享空间。
- (5) 在硬件功放方面，智能车载多音区音频管理系统拥有丰富的硬件连接能力、高效的音频能耗管理、优异的音频硬件性能、超低延时的音频链路设计。

科大讯飞音频系统与国内外厂商产品对比：

硬件参数	行业同类技术水平	讯飞产品技术指标
输出 CH 数	8~16ch	8~24ch
单通道最大输出功率	80W/Ch @4Ω	150W/Ch @4Ω
通道分离度	> 65dB	> 70dB
信噪比（SNR）	> 70dB@1W	> 80dB@1W
总谐波失真（THD）	< 0.15%(1W)	< 0.1%(1W)
底噪	< 100mVpp	< 50mVpp
静态电流	≤ 0.1mA	≤ 0.05mA

产品技术指标与同行对比如下表  
与同类竞品对比的核心竞争策略如下

分类	竞品	客户核心要素	竞争优势 / 劣势	科大讯飞竞争策略
欧美大牌	Harman Kardon、BOSE、Dynaudio	品牌力方案成熟度功能	优势：性能优越，稳定性好，有很强的品牌效应。 劣势：价格较高，服务一般。	1. 结合飞鱼 OS，展示差异性的多种丰富功能，并可以向客户展现实施路径，给客户展现讯飞整体产品厚度； 2. 提供面向客户的贴身服务，快速响应； 3. 提供高性价比的解决方案，让客户感知用低价格切实买到领先产品力的产品。
日本品牌	Pioneer、SONY、ALPINE、Panasonic、YAMAHA	品牌力方案成熟度性价比	优势：品牌力中等，具有成熟的供应链体系，整机价格不高。 劣势：功能不足，服务一般。	1. 对比讯飞整体汽车方案规划，展示在交互和音频领域的全面解决方案； 2. 在服务中，提供更多的解决方案建议，让客户产品具备差异化卖点，并处于行业领先地位； 3. 阐明和表现传统音频产品已经不能满足行业的需求，需要以全新架构规划智能驾舱。



分类	竞品	客户核心要素	竞争优势 / 劣势	科大讯飞竞争策略
国内厂商	苏州上声、 航盛宏宇	成本供应链成 熟度合作关系	优势：成本低，有扬声器及低端 AMP 供货经验 劣势：功能缺乏，无亮点，无品牌特色。	1. 展示差异化功能和智能驾舱的全面布局； 2. 带领客户体验超越竞品的调音水平和实力，并协助车厂构建有效的听音评价能力； 3. 通过工具链的完备，逐步展示面向品牌合作的包容力。

## 社会效益

智能车载多音区音频管理系统的发布，已在业内形成了极大的影响力，间接引导整个车载音频行业向下一代智能化方向演进，车载智能音频系统在汽车行业的落地，与工信部把发展智能网联汽车作为重要战略方向的目标一致，协同促进国内汽车市场在智能化领域的蓬勃发展，将为中国企业提供在国际市场上竞争的机会，有助于提升国内企业的国际地位和影响力，随着智能音频系统的行业普及，将带动整个行业转型及发展，新兴产业规模预计达 300 亿 / 年。

# 重点人员关系网络挖掘及可视化平台关键技术及应用

## ——2024 年江苏省计算机学会科学技术奖二等奖

项目名称 重点人员关系网络挖掘及可视化平台关键技术及应用

完成单位 江苏警官学院 东南大学 智器云南京信息科技有限公司

### 项目简介

本项目来源于江苏省犯罪网络分析及可视化的公安实战需求，总投入 822 万元，由江苏警官学院牵头组织了 400 多人的联合攻关队伍，通过四年半（2015 年 -2019 年）的技术攻关和示范以及两年以上（2019 年 10 月 - 至今）的应用推广，攻克了人员关系挖掘及可视化方面的关键技术，取得了显著的应用效果。

项目主要成果如下：①完成了“公安技术”特色学科体系的研究，探索了适合我国国情的“校局企”一体化合作模式，建成了相关的产学研用合作基地和江苏公安实战教学联盟；提出科研与产业相融合、技术与服务相结合、理论研究与实际应用相契合的产学研用新模式。②攻克多模态数据的深度融合、重点人员关系网络挖掘、海量动态图数据的可视化等制约涉众类案件侦破的三类关键技术，重点突破数据的关联式双向脱敏、防欺骗处理、重点人员甄别、人员关系挖掘、金融风险评估、聚类降维表示、三维数据可视化等核心技术，开发了一系列具有自主知识产权的模块化软件系统。③研发了面向多类行业数据的重点人员关系网络挖掘可视化平台，为各业务子系统提供一个通用的集成环境，适用于大规模的系统集成。提出了针对不同行业案件特点的个性化解决方案，适用于经济侦查、疫情流调、黄赌毒整治等三类典型的公安实战场景。④组织并实施三类不同类型的示范应用，在全国 34 个省市自治区建立应用示范点，使用人数超过 18 万人（均为一线民警），累计收到各级公安机关感谢信 500 多封，挽回经济损失超 4000 亿元人民币，取得了良好的示范效果。

### 主要科技创新

#### 1、贯彻国家科技强警战略、江苏高质量发展的产学研用“公安技术”特色学科体系

完成国家科技强警战略、江苏高质量发展的研究报告，探索并建立新时代“公安技术”特色学科体系。面对新型涉网类犯罪高发态势，强化问题导向，立足服务公安实战，积极探索犯罪网络分析及可视化的“江苏经验”。

(1) 公安技术“十四五”江苏省重点学科体系。学科研究聚焦公共安全，已形成网络安全执法技术、刑事科学技术、交通管理工程和安全防范技术四个稳定的学科方向；学科成果服务公安实战，推动警务硕士学位点的建设以及公安技术硕士学位点的申报。

(2) 江苏 9 市公安实战教学联盟和产学研用基地合作。与东南大学和智器云科技公司三方展开深入合作，探



索科研与产业相融合、技术与服务相结合、理论研究与实际应用相契合的产学研用新模式，分享“江苏经验”。

## 2、面向多类行业数据的重点人员关系网络挖掘可视化平台及解决方案

本项目团队融合 985 高校科研优势、行业院校实战应用特色及企业多年研发经验，设计并实现了一套面向多行业数据分析处理的关系挖掘及可视化平台，凝练各类案件处理的标准流程规范和技战法，提出针对不同行业案件特点的个性化解决方案。

(1) 重点人员关系网络挖掘可视化平台。本平台以公安实战及社会民生需求为导向，以典型的层次式结构为基础，设计了一套面向多类行业数据的重点人员关系网络挖掘可视化平台。本平台的核心层级包含数据汇聚层、数据处理层、模型库层、业务应用层，平台涉及的关键技术见创新点 3-5，平台的架构如图 1 所示。

(2) 经侦大数据治理及分析解决方案。所有经济犯罪都涉及资金流，以经济金融数据为核心，基于团队多年积累的各种数据类型特点及类罪模型，挖掘数据特征、抓取案情线索，找出嫌疑人及嫌疑单位。包括：资金关系分析、资金统计分析、非法集资预警分析、网络传销预警研判、涉税犯罪研判等模型工具。

(3) 疫情流调溯源及密接研判解决方案。依托大数据和人工智能技术，建设抗疫知识图谱中台，为抗疫各部门提供决策支撑。包括：流调支撑、核酸人员比对、医疗资源调度与人员检测的统筹安排、黄码 / 红码人员流动预警等功能。

## 3、多模态数据深度融合的关联式双向脱敏和防欺骗技术

解决多模态数据深度融合时的隐私泄露、篡改欺骗和缺失补全等问题，满足多行业数据访问过程中对用户隐私安全的全面保障需求、对潜在篡改行为的有效识别需求和对潜在可疑隐藏行为的有效补全需求。提出行业数据业务关联式双向脱敏技术，支持用户隐私的分级管理，同时尽可能保障脱敏数据的可用性；提出多模态行业数据的反欺骗检测技术，分别支持对行人轨迹数据和车辆车牌信息的反欺骗检测；提出基于移动模式和社群环境感知的轨迹补全模型和行为预测算法，实现对行人和车辆行为的分析和预测。

## 4、基于机器学习和关联规则算法的重点人员关系网络挖掘模型

基于人体脉搏波数据提出一个改进的随机森林模型来识别吸毒人员；基于物流数据建立了特定案件的嫌疑人画像，用于甄别涉枪、涉毒等案件的重点人员；提出一个综合考量重点人员之间的通联或转账交易行为前后的关联性，以及人员之间交互行为特征、活动规律等多因素的隐性重点人员挖掘方法；基于位置的社会网络或自媒体平台，如移动电话网络、微博、微信等，研究提出基于好友聚类的 KNN 算法，进一步挖掘重点人员的同伙；针对近年来频发的非法集



图 1 车载音频多音区管理系统开发示意图



资类案件，基于 P2P 借款申请数据信息，提出评估 P2P 网络借贷平台的借款人违约风险的方法；在此基础上，根据企业经营数据计算毛利率、资金回笼率和收入的增长率三个影响企业实力的因素，提出基于信贷风险的中小微企业信贷决策方法。

#### 5、基于图数据的数据模型转换及海量动态数据可视化呈现方法

图形数据库能够有效的存储、管理、更新数据及其内在关系，并可以通过关系能够包含属性这一功能来提供更为丰富的关系展现方式，从而执行多层节点查询等复杂操作，提高复杂关系数据的查询效率。为有效避免重复的数据模型转换开发工作，提供一种基于图数据的数据模型转换方法及图数据结构转换器，有效解决现有技术中数据模型不能根据不同的应用场景进行转换的技术问题；提出一种基于图数据库的微博用户转发关系导入及可视化方法，能够在仅仅知道部分转发节点的情况还原出真实的转发关系，同时在后续随着爬虫获取节点数量的增加而不断完善直至构建出整体的转发关系网络并可视化；为提高数据分析结果展示的便捷性和直观性，提出一种用于大数据可视化分析的动态呈现方法以及一种支持三维可视化分析图表的展示方法及装置、可读存储介质、终端。

### 社会效益

#### 1、在全国各公安部门有较好的推广应用，社会效益显著

本项目的核心技术成果经过转化，形成了一系列大数据可视化情报分析产品。系列产品在全国各公安部门在侦破各类涉网涉众案件的过程中，针对案件数据进行全维分析，对资金、通联、物流、虚拟身份、人员关系等海量数据进行可视化展示和深度挖掘，多次为案件的破解做出了重大贡献。

##### (1) 经侦类案件应用

2019 年，在“713”专案中，基于本项目研发出“绒球资金分析”等模型工具，协助公安部证券犯罪侦查局第一分局，在 6 千亿元资金流水中成功梳理出 300 亿元涉案资金的去向，为地方公安机关侦办案件提供了数据支撑。

2020 年 4 月，本项目核心技术转化为经济犯罪大数据可视化信息研判综合作战平台，为扬州市公安局针对经济类犯罪数据进行精准分析，实现对各类犯罪信息实现风险掌控、预警，并对不同层面的犯罪活动、犯罪事实分析。

2020 年，“火眼金睛”系列产品协助北京市公安局朝阳分局经济犯罪侦查支队，先后对 52 起经济案件进行资金研判，清洗梳理资金数据 9861773 万余条，涉及金额 268976 亿元，提供了许多重要成果。

2022 年 4 月，为西安市公安局经侦支队情报大队打击虚开增值税发票案件过程中，提供了强有力的数据分析、研判技术支撑。

##### (2) 黄赌毒类案件应用

2020 年，“火眼金睛”可视化情报分析系统协助广西梧州市公安局治安警察支队，在“325”组织卖淫案件中对案件涉及的全国 23 个省、缅甸木姐市、涉案人员 458 人，进行了全面的关系网构建和数据分析，取得了重大战果。截止 2021 年 9 月，该案抓捕涉案嫌疑人 166 人，逮捕 96 人。

##### (3) 其他涉网涉众类案件应用

2019 年起，“重点人员关系网络挖掘及可视化平台”在南京市公安局网络安全保卫支队、南京市公安局玄武分局禁毒大队、南京市公安局江北分局、南京市公安局刑事科学技术研究所以及南京市公安局秦淮分局止马营派出所等部门充分发挥了“智慧警务”作用，能对各类涉网涉众案件进行快速研判，准确地甄别出重点人员，提高了打



击涉网涉众案件的准确性和时效性。该平台极大提高了南京市公安局相关部门的工作效率，减少了由相关案件带来的人民财产损失。

## 2、协助企事业单位提供大数据分析解决方案

依托本项目的核心技术，为烟草公司、银行等企业单位提供了一系列大数据可视化分析解决方案。例如，2020 年为中国烟草总公司四川省公司构建了“基于知识图谱库的经济犯罪研判技术研究（涉烟）—系统主平台”，对专卖稽查业务数据进行挖掘涉烟案件情报，为执法人员打击涉烟犯罪提供数据支撑。2021 年为驻国家开发银行纪检监察组开发数据分析软件，为江苏建行分行构建了反洗钱智能图谱分析平台。

## 3、服务社会，为抗击疫情做贡献

2021 年 12 月，陕西省疫情严重，本项目的大数据可视化情报分析平台帮助延安市公安局宝塔分局刑事警察大队，针对海量的疫情密接人员的信息与轨迹数据进行处理，高效地梳理出确诊病例与密接的人群，为疫情防控工作做出了重大的贡献。

截至 2021 年底，江苏警官学院、东南大学和智器云数据分析服务团队加大全国各公安部门和企事业单位推广应用，已协助侦破大案、要案 800 余起，包括特大虚开骗税案、跨境网络赌博案等。据不完全统计，2019 年以来，每年为全国各执法调查单位提供数千次案件分析服务；累计挽回经济损失超 4000 亿元人民币。

[1] 项目组积极服务社会，为抗击疫情做出贡献。尤其在 2021 年陕西疫情流调中海量密集人员数据处理上，高效梳理出确诊病例密接的人群，获广泛好评。

## 学会动态

### 江苏省计算机学会专家组赴无锡、常州开展计算机科普教育基地现场评审

2025 年 5 月 8 日，江苏省计算机学会秘书长金莹教授率专家组赴无锡学院 - 车联网科普教育基地和常州工业职业技术学院 - 智能网联创新示范基地，对两家单位申报的江苏省计算机科普教育基地进行现场评审。常州工学院胡智喜教授、南京大学张洁副教授及学会秘书处严诚老师共同参与评审，通过实地考察、听取汇报和互动交流对基地进行了全面评估。

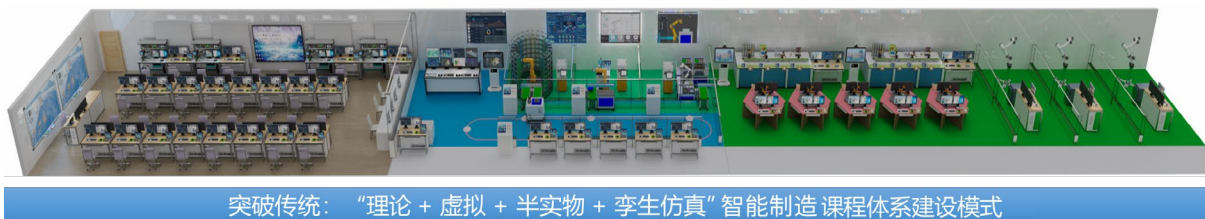


# 南京普拓信息科技有限公司介绍

南京是智能制造数字孪生仿真软件和教学资源优秀的解决方案供应商，成立于2013年，是一家专注于高等院校、职业院校教育辅助软件研发、教学虚拟仿真系统研发、教学实训考核平台软硬件研发、教学资源库建设、一体化实训室建设、师资培训服务的创新型科技企业。

公司拥有一支来自南京大学、东南大学、南京航空航天大学博士、硕士组成的高素质研发团队，从2012年开始从事智能制造的研发和应用工作，目前已申请了多项软件著作权及发明专利，研发了多个具有自主知识产权的教学产品，得到职业院校、相关行业协会的一致好评。

针对职业教育人才培养特点，结合企业对智能制造高端人才的需求，公司在机器人及智能制造专业形成了一套完善的实训室建设方案，研发了智能制造MES系统、智能制造数字孪生仿真平台、智能制造3D可视化系统、智能制造VR虚拟体验系统等；解决了智能制造教学难、危险系数高、维护困难等难题。



突破传统：“理论 + 虚拟 + 半实物 + 孪生仿真”智能制造课程体系建设模式



南京普拓公司累计申请软件著作权30多件，专利授权数量一直持续增长。南京普拓公司是国内最早开发智能制造数字孪生仿真软件的公司之一，也是国家级高新技术企业和双软企业。

核心技术：数字孪生、建模与仿真引擎、多学科协同仿真、实时数据交互与虚实联动、人机交互（HMI）与可视化、云边协同架构

## 1. 数字孪生（Digital Twin）

定义：基于物理实体（如设备、产线）的实时数据，构建1:1虚拟映射模型，实现物理世界与虚拟世界的双向交互。

技术要点：



通过数字孪生、建模与仿真引擎、多学科协同仿真、实时数据交互与虚实联动、人机交互（HMI）与可视化、云边协同架构构建虚拟工厂世界与真实控制系统的仿真设计平台

多源数据融合：集成传感器数据（IoT）、MES 系统、PLM 系统等实时信息。

动态更新机制：通过 OPC UA、MQTT 等协议实现数据同步。

预测性分析：结合机器学习算法（如 LSTM、随机森林）预测设备故障或生产瓶颈。

## 2. 建模与仿真引擎

物理建模技术：

基于有限元分析（FEA）、计算流体力学（CFD）的机械 / 热力学仿真。

多体动力学（MBD）用于运动学与动力学模拟。

离散事件仿真（DES）：模拟生产流程中的随机事件（如设备停机、物料延迟），优化产线节拍。

实时渲染技术：采用 Unity3D、Unreal Engine 或工业级引擎（如 Tecnomatix）实现高精度 3D 可视化。

## 3. 多学科协同仿真

实现机械、电气、控制、软件等多领域模型的联合仿真（如 FMI 标准下的模型接口）。

案例：机器人控制算法与产线物流仿真的同步验证。

## 4. 实时数据交互与虚实联动

硬件在环（HIL）：将 PLC、数控系统等真实控制器接入虚拟环境，测试控制逻辑。

虚拟调试（Virtual Commissioning）：在虚拟环境中验证设备动作逻辑，减少现场调试时间。

## 5. 人机交互（HMI）与可视化

AR/VR 集成：支持头显设备（如 HoloLens）的沉浸式操作培训与远程维护。

Dashboard 设计：通过数据可视化工具（如 Grafana、Tableau）展示 KPI 指标。

## 6. 云边协同架构

云端：利用高性能计算（HPC）处理大规模仿真任务（如数字孪生体训练）。

边缘端：部署轻量化模型实现低延迟响应（如设备实时监控）。



## 应用场景介绍

### 1、虚拟仿真实训教学



传统的实训教学是在实验室利用 PLC、工业机器人及各种被控对象，完成程序编制和程序调试。被控对象可分全实物与仿真实物两种。全实物被控对象通常是固定的，在使用过程中不易实现机械拆卸、电气接线过程，也很难在实验室配备较全面的工业控制对象；仿真实物被控对象通过接口板与控制器相连，也存在成本高、机型单一、升级困难和软件开发难度大等缺点。无论使用哪一种被控对象构成实验教学系统，实验教学都仅仅根据实验的控制要求编程，缺少设备选型、电气设计等内容，没有软硬件协同设计的环节，使学生无法全面掌握一个控制系统的设计全过程。

智能制造数字孪生仿真软件可以很好地解决实训设备教学不足的问题。智能制造数字孪生仿真软件实训系统是依托虚拟现实、多媒体、人机交互、数据库和网络通信等技术，构建高度仿真的实验环境和实验对象，实验效果可以达到教学大纲的要求。

### 2、数字孪生车间生产过程监控





数字孪生车间生产过程监控系统将参与生产作业的现场设备运行状态、计划执行情况、生产异常信息等数据与三维孪生模型相融合,实现生产现场的三维可视化及动态映射。

包括产线布局、产线计划、各工序在制品、各工序设备报警信息等,而且产线和设备由实时数据驱动同步映射生产实况。通过对各个生产工艺的工艺流程、设备关键动作进行模拟,快速展示各个生产工序的流程,同时针对不同的工序进行深度开发,将生产数据与三维模型设备进行融合,可实现三维模型设备与现实物理生产设备的联动和控制,真实还原现场设备实时运行数据。

当单击某台设备时,进入单机查看界面,动态显示设备当前加工动作。当光标放在某设备上时,显示该设备的运行参数信息及设备的图表分析。

单位信息

联系人:翟忠华

联系电话:17368015871

Email 地址:zzhzzhcnc@163.com

## 学会动态

### 第二届江苏省软件大会在南京大学苏州校区举行

由江苏省计算机学会主办,江苏省计算机学会计算机软件专业委员会、南京大学软件学院、南京大学智能软件与工程学院、东南大学计算机科学与工程学院承办,计算机与人工智能领域重点实验室联盟、江苏省软件新技术与产业化协同创新中心、江苏省科协电子信息领域学会联合体协办的第二届江苏省软件大会于2025年4月12-13日在南京大学苏州校区顺利举行。

会议于12日上午9时开幕,江苏省计算机学会计算机软件专委会主任王林章教授主持开幕式,南京大学校长助理姜田教授、江苏省计算机学会秘书长金莹教授、南京大学软件学院院长仲盛教授做大会致辞,欢迎各位与会专家,并祝本次会议取得圆满成功。





# 上海金桥信息股份有限公司简介

上海金桥信息股份有限公司（603918.SH）成立于1994年，2015年5月于上海证券交易所上市，在全国拥有20多个分支机构，现有员工700余人。



公司主营业务为：为客户提供定制化的智慧空间解决方案及服务。成立三十年来，公司始终专注于主营业务，秉承“真诚是金，共享为桥”的核心价值观，以服务“人与人、人与信息、人与环境之间的沟通”为主线，充分发挥信息化领域综合优势，聚焦政务、法治、教育、企业和金融等优势行业，融合客户需求、叠加行业应用，打造智慧空间信息化系列解决方案。同时，基于公司在主营业务多年的积累，积极布局金融法律科技板块，为金融法律纠纷提供全生命周期的系统解决方案，发力新的增长曲线。公司不断提升“IT+AV+ 软件”的融合能力，加速“互联网+应用+云服务”业务的叠加升级，以行业数字化、智能化为主线，加大研发和技术创新力度，将大数据、区块链、人工智能、物联网、云计算等新一代信息技术与行业应用深度融合，坚定不移推进基础业务、新兴业务双向发展，



平台驱动模式持续纵深迭代加速新兴业务进一步落地发展。

在“自主开发、服务化和平台化转型”的战略部署下，公司持续扩展服务空间的边界，提供深入定制化、平台化服务，形成三大业务结构：智慧场景解决方案、智慧建筑解决方案、大数据及云平台服务。目前公司各主要产品在技术水平、工程质量以及售后服务等方面均具有独到的优势，获得客户的认可，具有较高的品牌知名度和美誉度，占据了重要的市场地位。

公司坚持自主开发，稳步开拓市场，在各行各业积累了广泛的客户基础。先后实施近万项信息工程项目，连续超过 10 年为上海市两会会议服务；在司法行业承建了最高人民法院信息集控中心系统，并以点带面覆盖了全国各级人民法院；在教育行业，为包括哈佛商学院上海中心、中欧国际工商学院、长江商学院在内的超过 90% 的国内高端 MBA 课堂及清华大学、浙江大学、上海交通大学、复旦大学、同济大学、华东理工大学等高校建设智慧教室；头部企业方面，持续为华为、腾讯、字节跳动、华润、三一重工、米哈游等企业提供优质服务；在数字音视频方面，为 LV、PRADA、MiuMiu、Cartier、Chaumet、Tiffany、蔚来汽车、通用汽车、梅赛德斯奔驰等高端客户提供数字化服务。



公司获得中国建筑工程“鲁班奖”、上海建设工程“白玉兰奖”、上海智能建筑“申慧奖”等荣誉，公司被评为上海市智能建筑设计施工优秀企业、上海市智能建筑设计施工品牌企业等。同时，公司是国家火炬计划高新技术企业、上海市科技小巨人企业、上海市明星软件企业、上海名牌企业等。公司是上海市软件行业协会副会长单位，上海市智能建筑建设协会副会长（轮值会长）单位，具有电子与智能化工程专业承包壹级、建筑智能化系统设计专项甲级、信息系统建设和服务能力（CS4）、上海市公共安全防范工程设计施工单位壹级等资质。



作为高新技术企业，公司一贯坚持技术引领业务的发展战略，将云计算、大数据、5G、区块链和人工智能等相关技术应用到行业解决方案中去，满足客户个性化的需求。公司是中国数字音视频解码技术标准工作组会员单位，并作为中国专家代表参与 ISO 及 ITU 国际音视频技术标准制定工作。2019 年公司通过了 CMMI5（软件能力成熟度模型集成五级，为 CMMI 体系的最高等级）的评估认证，标志着公司软件研发的过程组织、技术水平和项目管理等能力达到较高水平。公司拥有众多中高级职称技术人员，目前专业研发团队超过 300 人，合计拥有软件著作权 270+ 项，软件产品登记 15 项，实用新型专利 13 项，发明专利 7 项。通过自主研发掌握了多项业内领先的专业技术，获得国家级及省市级的科研项目立项和科技成果共 15 项，有 8 项研究成果被认定为上海市高新技术成果转化项目。公司亦通过产学研用合作将前沿技术与业务实践相结和，共同开发行业领先技术，推动技术应用。公司与浙江大学共同建设了“浙江大学——金桥信息联合研发中心”，与上海交通大学联合承担了国家级“两高一部”重点课题的科研任务，与南京大学、西南政法大学等院校建立战略合作关系，实现产学研用一体化，加快科技成果产业化，形成了多元化研发方式。

随着新技术的不断发展，信息化建设和升级有着广阔的空间。公司积极布局，利用丰富的行业实践经验，将产品和服务向云端迁移，开发适用各种场景、满足各类需求、面向各大行业的“互联网 + 应用 + 云服务”智慧空间信息化解决方案及服务，并不断加强服务价值，提升竞争优势，为公司业务增长带来持续的发展动力。

## 学会动态

### 第三届“长三角”计算机系统能力培养教学与实践高峰论坛在金华举办

2025 年 5 月 16 日至 17 日，第三届“长三角”计算机系统能力培养教学与实践高峰论坛在金华顺利举办。论坛由江苏省计算机学会、浙江省计算机学会、中科工业人工智能研究院联合主办，江苏省计算机学会系统结构专委会、浙江师范大学、CCF 金华会员活动中心共同承办，清华大学出版社、机械工业出版社、电子工业出版社、江苏省科协电子信息领域学会联合体协办。





## 学会动态

### 加强产学研合作，江苏省计算机学会大数据专委会走进省联合征信

为了加强与企业的交流和合作，江苏省计算机学会大数据专委会（简称大数据专委会）于 2025 年 3 月 28 日走进江苏省联合征信有限公司（简称省联合征信），共同探讨大数据以及人工智能技术在金融领域的创新应用，明确双方在金融大数据领域的合作契机，共同推动数据要素和金融产业的深度融合。

本次走进企业活动是大数据专委会 2025 年度的首次活动，大数据专委会主任吉根林教授对大数据专委会负责人的辛勤工作表示了诚挚的感谢，并对省联合征信领导对大数据专委会工作的重视和支持表达了谢意。

省数据集团联合征信公司总经理、党委副书记周云松对大数据专委会的来访表示了热烈欢迎。省联合征信是一家以数据要素为核心资源、数字技术为核心引擎的金融科技公司，通过数据要素驱动金融场景创新。周经理认为大数据专委会和省联合征信具有广泛的合作空间，希望后面能够建立长效合作机制，通过产研协同，打造数字经济时代征信服务的标杆。

省联合征信平台建设部、信息技术部总经理王治平随后对省联合征信的基本情况进行了介绍，并且重点介绍了省综合金融服务平台以及企业征信服务平台，这两大平台作为江苏普惠金融的重要基础设施，在助力“数字江苏”建设过程中发挥了重要的作用。王经理也带领大家实地参观了省联合征信数字化建设成果，大数据专委会各位负责人对省联合征信的工作给予了高度的评价和认可。

最后，双方围绕省联合征信的核心业务，针对大数据与人工智能技术在金融大数据场景的应用与挑战，从金融 AI 模型的可解释性与可靠性、金融大数据的安全性、金融大数据的实时性与权威性、以 DeepSeek 为代表的大模型技术与金融场景的结合等方面，展开了深入交流，并共同探讨了产学研协同的合作模式。

吉根林主任最后在总结中指出，省数据集团联合征信的各项业务与大数据专委会高度契合，希望未来利用大数据专委会在大数据与人工智能领域的研究成果，赋能省数据集团的应用创新，充分发挥金融数据要素的经济价值，助力“数字江苏”高质量发展。









## 简介

### 江苏省计算机学会理事单位

#### 南京秉蔚信息科技有限公司

南京秉蔚信息科技有限公司（简称“秉蔚信息”），成立于2016年，坐落于创新名城江苏南京，致力于成为“国内一流的新工科实践教育产品专家”。秉蔚信息具备独立自主的产品研发体系，拥有发明专利3项，软件著作权40+项。在产教融合能力方面，秉蔚信息支持了国家级赛事1项，完成教育部协同育人项目5项，教育部就业育人项目10项，江苏省科技计划项目2项。产教融合产品涵盖大数据、人工智能、数据安全与区块链、国产信创教育、云计算平台，围绕自主研发的“蓝鲸智课平台”打造1个平台、4个方向，10余款产品”，推进AI+实践教育体系创新和升级，服务新质生产力。

在产教融合服务层面，秉蔚信息努力将企业级生产技术平台和工程项目资源引入实践教学，构建以学生为中心的服务模式，在师资培养、课程建设、学科竞赛、教学实践、创新课题等方面已于全国超50所高校、职业院校开展合作，秉蔚信息正逐步成为引领实践教育，拥抱数智时代的产教融合与高新技术企业。

#### 荣誉资质

高新技术企业

江苏省创新型中小企业

江苏省科技型中小企业

江苏省科技计划项目合作企业

中国大学生计算机设计大赛企业赛道合作单位

ISO9001 质量管理体系认证企业

ISO20000 信息技术服务管理体系认证企业

金链盟人才培育合作单位

FISCO BCOS 开源社区突出贡献荣誉榜企业