



NANJING UNIVERSITY

南京大学

科技成果汇编

电子信息篇



编委会主任： 陆延青
编委会委员： 高新房 周剑峰 古公亮

主 编： 周剑峰
副 主 编： 杨思军 吕春梅 张佳瑜
责 编： 柳 青 李 芷 余文超
编 辑： 李亦竹 席盼盼 宋万耀 袁 明 刘 莉



南京大学技术转移中心

网站：<https://ndsc.nju.edu.cn/>

邮箱：sc@nju.edu.cn

电话：025-89686645



南京大学创新创业与成果转化工作办公室
南京大学技术转移中心

前言

FOREWORD



南京大学紧密围绕“四个面向”的科研工作要求，积极融入地方经济建设和社会发展事业，大力推动科技成果转化，自觉履行高水平科技自立自强的使命担当。2020年以来，南京大学先后入选首批国家知识产权示范高校、高校专业化国家技术转移机构建设试点单位和科技成果赋权试点高校。

南京大学科研基础雄厚，16个学科入选“双一流”建设名单。学校拥有两院院士33人、国家实验室（筹）1个、国家重点实验室7个、国家工程技术研究中心1个。南京大学依托雄厚的基础研究力量和多学科的综合优势，遵循“（基础研究→创造技术）→成果转化”的全链条科研指导思想，取得了众多拥有自主知识产权的科研成果。

我们根据应用领域对成果进行了粗略的分类，编辑整理碳中和与环保、电子信息、生物医药等3个专辑，以及空间科学与应用特辑。“碳达峰碳中和”已经成为国家长期战略目标，也是“两山”理论的具体实践，碳中和与环保专辑包括了减碳技术、零碳技术、新能源、节能技术、污染处理技术等内容。电子信息领域是国际科技竞争最激烈的领域，人工智能、智能制造、半导体材料及器件、电子信息材料等领域是成果需求和转化的热点。疫情的肆虐让社会更加注重生物医药领域研究，促进了药物、医疗器械、诊断及检测技术、健康产品等方面的需求。

习近平总书记在2022年元旦贺词中专门提到了包括“羲和”号太阳探测卫星在内的空间研究成果。星链等商业航天公司的成功也为我们开启了航天应用的新视野，为此，我们整合了南京大学天文与空间科学学院、现代工程与应用科学学院、地球科学与工程学院、电子科学与工程学院、化学化工学院等单位的相关成果，制作了空间科学与应用特辑，希望与社会各界有识之士共赴星辰大海。

肇始三江，科学研究铸校魂；教开四区，成果转化谱新篇。在建校120周年之际，南京大学开启仙林、鼓楼、浦口、苏州四校区联动发展的新局面，数字经济、智能科学与技术、软件工程、集成电路设计与集成系统等新兴交叉学科获得更大发展空间，为校区所在区域提供科技产业支撑增添了新的力量。在新的历史起点，南京大学将立足江苏，服务“长三角一体化建设”等国家重大发展战略，扎根中国大地，走出一条建设“中国特色、世界一流”大学的新路，力争实现我校科技成果转化新突破，按习近平总书记要求建设好“第一个南大”！

二〇二二年五月



目 录

安全弱监督学习.....	1
面向 RNN 驱动的对话系统自动化测试技术.....	2
高智能低延时的量化交易系统.....	3
面向闪存纠错的高性能 LDPC 码译码器.....	4
高效强纠错的 5G LDPC 码译码器设计与实现.....	5
面向视觉任务的算法优化和高效硬件实现.....	6
针对神经网络落地的推理硬件加速器设计.....	7
新型密码算法高效实现.....	8
面向检测任务的算法优化和高效硬件实现.....	9
面向高能效神经网络训练的算法压缩与硬件架构设计.....	10
一种应用于神经网络量化的对数块浮点数值表达格式.....	11
面向移动端的低延时、低功耗、高安全性 AI 算法-硬件联合设计方案.....	12
高性能 NB-LDPC 译码算法设计及其高效硬件实现.....	13
一种仅基于最小值的 LDPC 码最小和译码算法.....	14
高性能端/云 AI 加速器硬件 IP 及其编译器的技术研究.....	15
基于置位网络的可重构高效硬件地址加密技术的研究及应用.....	16
面向操控训练与任务预演的大型无人机控制仿真系统开发.....	17
高精度小型化三维重建系统 (Hi3D)	18
基于机器人技术的全无人自动化学实验系统.....	19
社会工作人工智能机器人设计与应用.....	20



数据赋能的智能电商物流创新服务平台.....	21
基于用户心理行为特征的人机交互界面测评系统.....	22
EvoMass 基于性能的建筑体量设计生产及优化系统.....	23
基于图像和视频的全智能艺术创作系统.....	24
量测型裸眼立体显示器.....	25
基于电荷感应的智能运动感知系统.....	26
基于变分自编码数据融合的社交网络产品推荐方法.....	27
基于深度神经网络的类型推导技术.....	28
AutoML 人工智能自动化建模关键技术与工具平台研究.....	29
高效贝叶斯优化技术研究及落地应用.....	30
司法知识图谱构建研究.....	31
自然场景视觉感知技术.....	32
大数据分析技术—海关及国网应用案例.....	33
南大图客——智能图书盘点机器人.....	34
细粒度的舆情识别技术研究.....	35
基于预训练的代码补全技术研究.....	36
面向海量用户的在线服务健康度维持技术.....	37
虚实融合的移动 AR 教学平台.....	38
开放不确定环境下实时系统验证与监控技术.....	39
面向智能运维的高维时序数据流异常检测方法.....	40
数据中心无损传输与流控架构.....	41
舱室有源降噪技术.....	42





面向高端智能制造的多目视觉测量系统.....	43
高性能超快激光精密微加工装备.....	44
建筑物开口的有源噪声控制.....	45
真空射频连接器的国产化及其应用.....	46
新型超晶格激光器系统.....	47
基于计算机视觉的发泡塑料智能制造技术.....	48
基于电能指纹的 RFID 标签防伪技术.....	49
基于雷达数据扩增的自动驾驶系统测试技术.....	50
大型机械自动驾驶控制软件.....	51
港机智能远控自动化系统.....	52
智能无人锁钮机系统.....	53
司方无线精确定位系统.....	54
全空间智能表面无线通信技术.....	55
面阵激光三维成像雷达技术.....	56
高效率 Micro-LED 芯片显示与驱动技术.....	57
面向显示的高光效、长寿命 Micro-LED 制备关键技术.....	58
基于 Micro-LED 光源的高性能可见光通信系统.....	59
超可拉伸 micro-LED 显示集成应用.....	60
MicroLED 巨量转移及成像光度和色度检测技术.....	61
基于多参量分布式光纤传感的电力设施在线监测技术.....	62
高分辨率分布式形变感测仪.....	63
功能集成化光纤传感器.....	64



特种光纤激光加工设备和医用压力传感器.....	65
用于波导和光子芯片的无包层超紧凑光子回路.....	66
快照式单纳米颗粒 CD 检测技术.....	67
氧化镓功率半导体晶圆及器件制备.....	68
新型日盲紫外探测器的开发及应用.....	69
基于拉盖尔-高斯变换的旋转物体成像器件研发.....	70
高端薄膜材料生长系统.....	71
带间级联中红外激光器的研发及产业化.....	72
大口径大角度液晶光束扫描器件研发.....	73
片上集成的全光控制的光隔离和非互易光子晶体管.....	74
高密度极性拓扑畴在硅基片上的集成与阻态调控技术.....	75
基于 MoS ₂ -BN-Graphene 范德华异质结的多功能半浮栅晶体管.....	76
低频矢量网络分析仪器.....	77
偕二氟双环己烷型 TFT 液晶材料低污染生产新技术.....	78
梦幻显示和照明技术--OLED.....	79
白光圆偏振 OLED 材料.....	80
高活性低粘度功能有机硅树脂.....	81
电子显示用压敏胶的研制.....	82
可生物降解的柔性电子器件衬底材料.....	83
电子级无机微米颗粒球制备工艺与设备开发.....	84

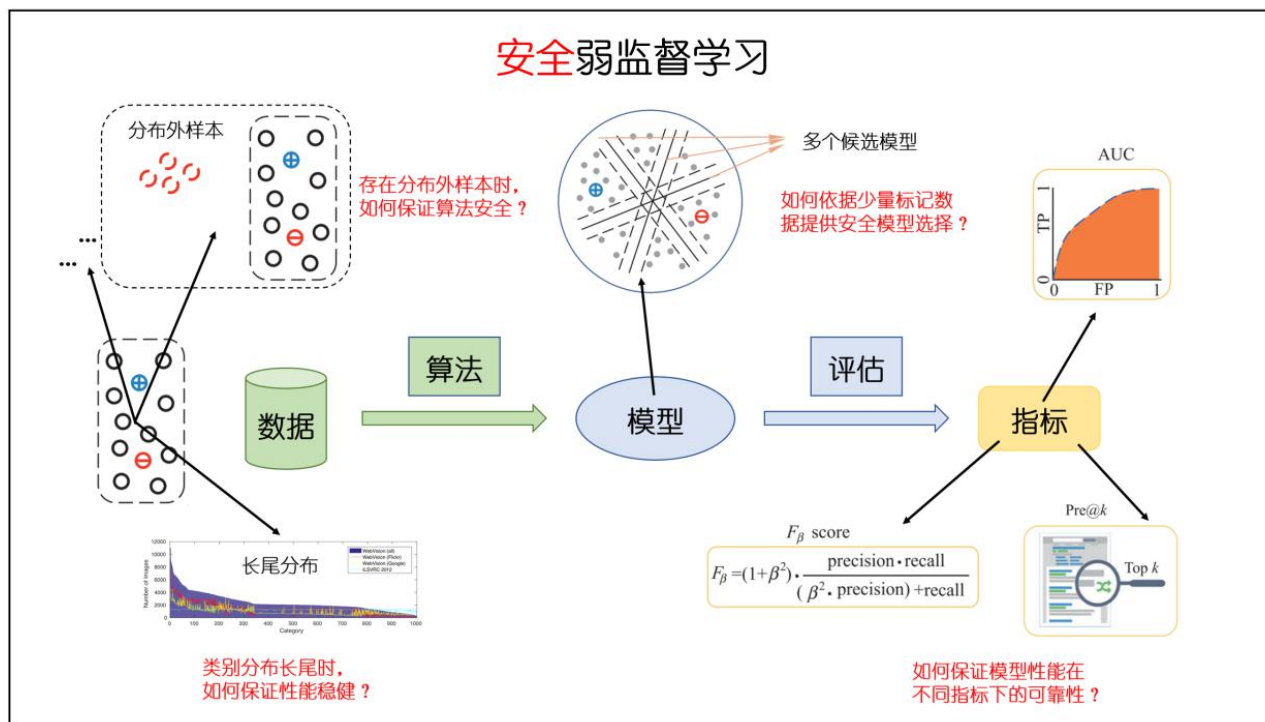


安全弱监督学习

训练机器学习模型需要大量的监督数据，然而在很多现实场景中，监督信息的获取是非常困难的，如在智能医疗场景中，希望医学专家标注大量的医学数据几乎是不可能的；在智能金融场景中，以反欺诈检测为例，欺诈交易的数据标注相比于正常交易的数据标注天然就是稀缺的。在真实应用场景中，保证模型的稳健性和安全性是其中非常关键的科学问题，因此安全的弱监督学习具有非常广泛的应用场景。

针对数据来源的不确定性，团队提出了基于双层优化的样本赋权方案，通过为无标注数据学习一个权重函数，为未见类样本赋予较低的权重，降低其影响，从而保证利用了无标注数据之后半监督学习的安全性。针对模型选择的不确定性，研究人员针对通用弱监督学习场景提出了安全的集成学习框架。针对评价指标的多样性，研究人员针对多种评价指标优化其在最坏情况下的性能增益，并且利用凸松弛、割平面等优化技术，对多种不同的评价指标求出其闭式解。

团队的工作在工业界真实场景中得到了实际应用，比如华为、阿里巴巴、滴滴、爱奇艺等公司，受到了产业界的一致好评。团队的工作也得到了学术界同行的认可，安全半监督支持向量机相关的工作已经被引用 330 余次，安全弱监督学习的学术成果受邀在人工智能国际顶级会议 IJCAI 2021 做 spotlight 特邀报告（大陆高校仅入选 3 位）。

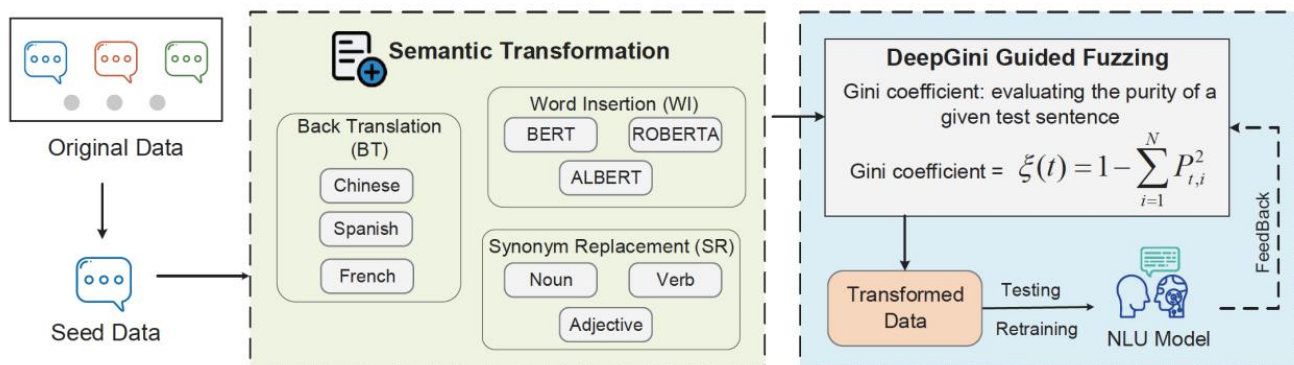


面向 RNN 驱动的对话系统自动化测试技术

本项目提出一种针对 RNN 驱动对话系统的自动化测试工具，名为 DialTest，它利用特定的文本关系来自动测试对话系统的自然语言理解模型，证明了不同的文本转换方式（包含同义词替换，反向翻译和单词插入等）可以有效地生成测试用例；同时创造性地提出采用 Gini 系数引导测试用例选择，有效降低了测试成本，同时提高了测试效率；实验结果表明，DialTest 可有效测试对话系统的鲁棒性。在工业对话系统上进行的案例研究结果表明，DialTest 可以检测出对话系统的错误行为，并通过模型重训练提高准确性。

与现有的对话系统测试工具相比，DialTest 的主要优势体现在以下几个方面：（1）现有测试工具大多采用黑盒测试方法，测试效率较低，而我们的灰盒测试方法可以通过系统地最大化 Gini 系数来分析神经网络并生成测试数据；（2）DialTest 中生成测试样本的转换方法专门针对对话系统中的槽填充和意图检测任务，而其他工具随机生成的测试样本缺乏任务特征的针对性；（3）DialTest 可以生成海量标记数据用于重新训练和改进 RNN 驱动的对话系统，而现有测试工具难以实现对话系统的优化。

DialTest 可应用于智能对话系统的自动化测试、评估及优化，保证智能对话系统测试的充分性和完备性，提升智能对话系统的质量，有助于以电子客服为代表的各类智能对话系统进行快速测试与改进，协助互联网与服务企业构建和优化对话系统。

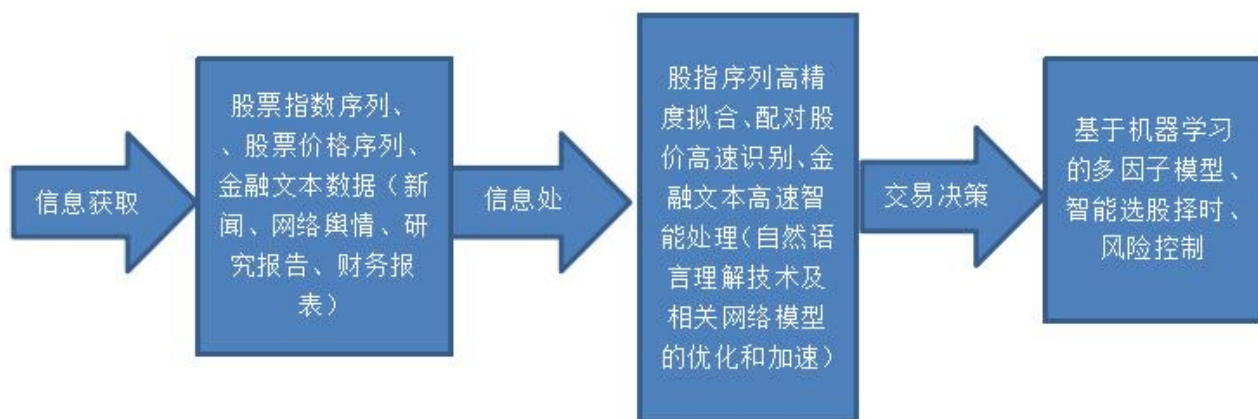


高智能低延时的量化交易系统

越来越多的量化投资机构正把目光转向目前炙手可热的人工智能技术，如何利用人工智能技术来改造传统的量化模型或是构建一套新的交易系统，以避免不合规的套利方法，实现高效智能化的选股、择时、风控，从而达到持续稳定的盈利，正在成为行业内大家关注的重点难题。

本项目从最先进的 AI 技术和高速的计算系统两点切入，以信息智能获取、信息智能处理、智能交易决策作为系统三大模块，研发了大量的相关优势技术，形成了一定的技术壁垒，目前也正在与产业界相关机构开展合作、积极推动成果转化。该项目的关键技术在于：1）建立高精度股指预测模型；2）设立用于高频序列配对的硬件加速器；3）金融文本智能处理；4）基于机器学习的选股择时模块；5）自然语言处理模型的算法优化和硬件加速。

人工智能技术应用在二级市场投资，尽管有很广阔的前景和迫切的需求，但同时面临两大难题：如何帮助投资者盈利，以及如何保证系统的延时以减少滑点损失。本项目从算法模型，以及系统的算法硬件联合优化加速两大方面，从技术上部分解决了上述问题。未来团队也将继续攻克这两大难题，为其赢得更广泛的市场应用空间。



面向闪存纠错的高性能 LDPC 码译码器

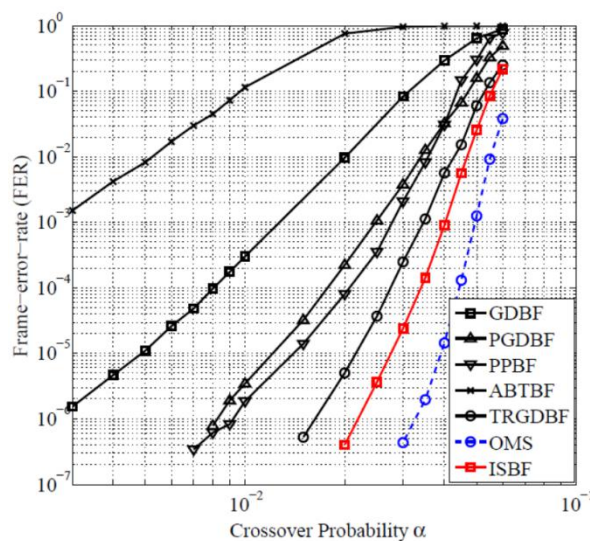
NAND 存储领域存在冗余少、存储密度高、硬件空间有限等问题，给 LDPC 码的应用带来了更多挑战。本项目对 LDPC 码译码进行算法和硬件的协同优化，采用多种技术提升译码性能，降低译码延时，提升吞吐率。

(一) 首创提出禁忌列表辅助译码，能有效解决译码过程中重复翻转的问题，从而显著降低错误平层，所提出的 TRGDBF 译码器将现有硬判决算法的误码率降低近百倍。此外，充分优化最大值搜索的电路结构，有效缩短关键路径，降低硬件实现复杂度。

(二) 在译码过程中引入细粒度分类的方法，更加充分利用迭代信息。该方法可通用于主流译码算法用于进一步的性能提升，最高可将误码率降低 5 倍。

(三) 提出更有效的比特翻转机制，融合随机操作，能更有效地打破陷阱集，加快译码算法的收敛速度。

(四) 提出基于信息存储的 ISBF 译码方案，将译码流程拆分后进行并行处理，能够显著缩短关键路径，在保证性能最优的前提下，进一步将译码吞吐率提升 30%。



本项目设计的面向闪存纠错的 LDPC 码译码器能广泛应用在需要闪存控制芯片的各类产品中，在计算复杂度、译码延迟、吞吐率和译码性能方面均表现优异，为 NAND 存储系统提供了一种新型实用的解码候选方案。

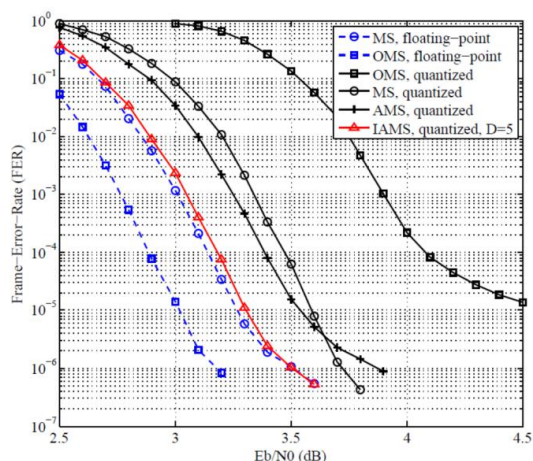


高效强纠错的 5G LDPC 码译码器设计与实现

本项目从定点化译码入手，通过分析译码失败原因来提出新的解决方案，缓解了 5G LDPC 码定点化译码性能退化严重的问题。

（一）高精度定点化校验节点更新方程：通过在校验节点更新计算中引入“第二最小值”这一概念提升了传递消息的可靠性，有效地保护了易出错比特的信息。此外，结合数学推导和理论证明，简化了校验节点更新计算方式，消去了对数，指数等复杂运算操作。

（二）列重自适应更新准则：针对 5G LDPC 码不规则这一特点，在计算校验消息时，对不同列重的比特接收到的消息采用不同的放缩因子，可以有效平衡“强消息”的强纠错能力和其对译码过程的不利影响。仿真结果显示所提出 IAMS 译码算法相较其他工作有 0.2~0.6dB 的性能提升，即可将误码率降低 5~50 倍。



（三）高效的硬件优化设计：通过分析 5G LDPC 的结构特点，针对性的设计了层合并、分存、选择移位存储、映射表等优化手段，将译码器的面积消耗降低了 32%，时钟频率提升了 39%，同等面积下的处理速度提升了近三倍。该方案对降低译码器延时和资源消耗，提升处理速度具有显著增益。

本项目通过算法设计和硬件实现的协同优化，有效地降低了数据出错概率，同时给出了更加高效的实现方式，能够达到更高速的处理速度和更少的资源消耗。

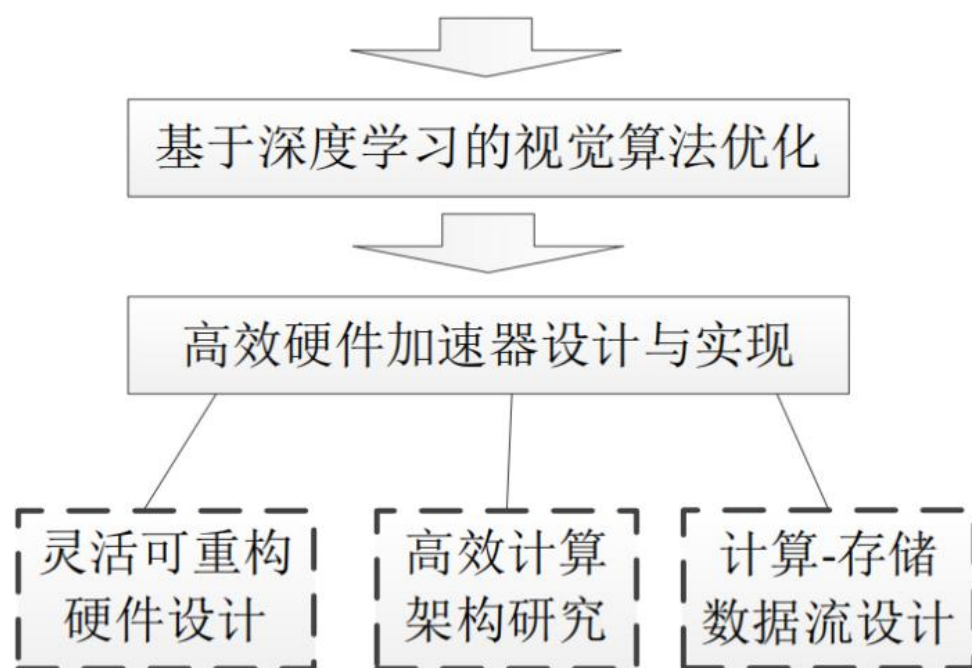


面向视觉任务的算法优化和高效硬件实现

深度网络模型往往具有很高的计算复杂度和参数量，难以在资源和功耗受限的应用侧（例如嵌入式设备、移动设备等）高效部署。为应对以上挑战，本项目研究人员提出一系列基于视觉任务的高效加速算法和加速器，推动相关应用的高效部署。

在硬件高效的算法优化层面：为用于风格迁移的卷积神经网络 ITNet 设计了一种网络压缩方法，并提出了一种轻量级的风格迁移图像转换网络，设计了一种全新的知识蒸馏损失，将未压缩的网络当作教师网络，并将其输出作为轻量级网络（学生网络）输出所对应的真实标签，从而将风格迁移这种无监督学习任务转化为监督学习，该轻量级网络可以实现 67 倍以上的模型体积压缩和 63 倍的浮点计算的减少。在生成对抗网络加速器研究方面，首次基于数学层面挖掘算子加速潜能并开发计算强度缩减的快速算法。

该研究可用于计算机视觉任务的加速应用和高效部署上，例如图像分类、风格迁移、图像增强、图像合成等，可以大幅度提高硬件效率，推动人工智能模型的高效应用。



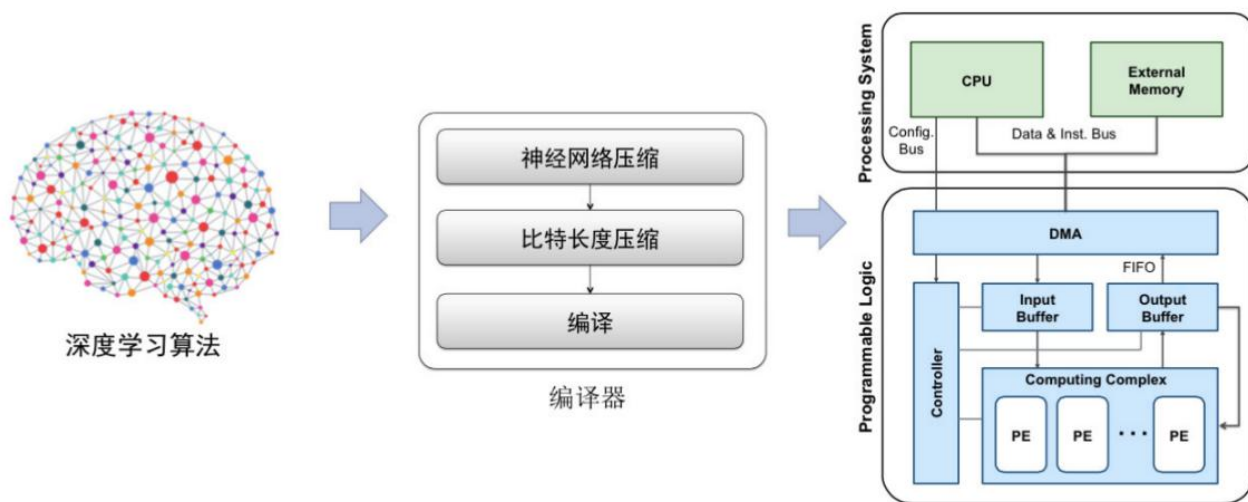
针对神经网络落地的推理硬件加速器设计

深度学习目前在各行各业都已经取得了优异成绩。但是，为了达到优越的性能，模型经常会引入大量参数以及冗余结构，如何将其进行有效落地是深度学习目前面临的问题。CPU 和 GPU 等通用加速平台往往无法兼顾模型性能与系统功耗，因此压缩网络模型和开发可落地的专用加速器成为了迫在眉睫的问题。

使用网络压缩以及快速算法等手段可以在保证网络性能的前提下有效减少网络计算量。首先考虑简洁有效的神经网络压缩方法，包括快速算法、网络稀疏、提前退出等方法。由于网络稀疏、提前退出的搜索空间过大，耗费了大量人力时间的手工设计架构易陷入局部性能最优，因此，团队将自动架构搜索技术引入上述模型压缩手段，以便获得更高的性能增益。

针对 Winograd、FFT 等快速算法，团队设计的加速架构可以有效减少乘法运算数目，并且不增加过多逻辑资源来实现性能提升。针对非结构化稀疏，团队设计加速器可以完成性能的线性增益。此外，一些“算法-架构”联合优化手段，例如层间融合、并行度动态映射等技术可以有效降低存储带宽压力，解决硬件加速中存在的“存储墙”瓶颈问题。

架构的硬件资源消耗与算力灵活可配置，能够支持从 IoT 设备到云端计算等多种应用场景。该架构后续可广泛应用于自动驾驶、智慧安防、智慧医疗、智慧城市、智能制造等多种行业。助力深度学习先进技术赋能实体产业。



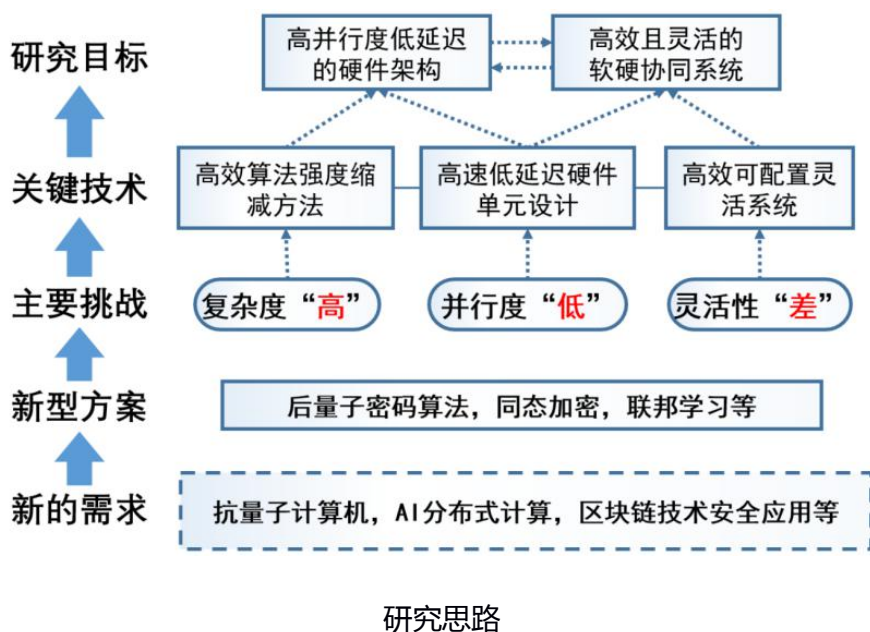
新型密码算法高效实现

密码学是当今许多重要应用的安全性的基础，其中，公钥密码方案应用最为广泛，被用于移动电话、云计算、网络通信等领域。

在后量子密码算法方面：（1）团队首次对 LMS 进行基于 FPGA 的硬件实现与加速。首先团队设计了一个软硬件协同系统，将核心的哈希运算用硬件进行实现；其次，团队提出了一个高速的密钥生成架构来加速 LMS。此外，设计中的控制逻辑被设计为在适应不同参数集的情况下保持一定程度的恒定功率，以抵御功率分析攻击。（2）团队提出了高效的基于超奇异同源椭圆曲线的密码封装（即 SIKE）算法的优化方法，从分析超奇异椭圆曲线模数结构入手，提出了一种新的数据表示方法，借鉴传统有限域乘法方案，探索了适用于特殊模数结构的高效有限域乘法方案。

在 AI 同态加密方面，我们提出通过构造特殊形式的素数以加速模乘的算法，同时设计了对应的低复杂度模乘器并将此模乘器部署在格加密中常用的数论变换中。

在下一代区块链核心单元 VDF 函数上，团队通过算法层面的调整，优化了其中的平方和约减算法，并且在算法上实现了部分并行计算。同时团队设计了低延迟的大数除法、乘法以及加法器用于 VDF 函数的实现。

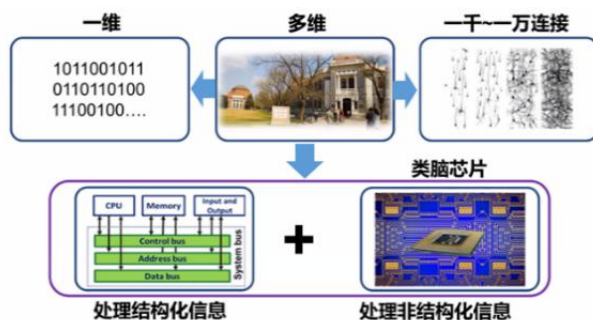
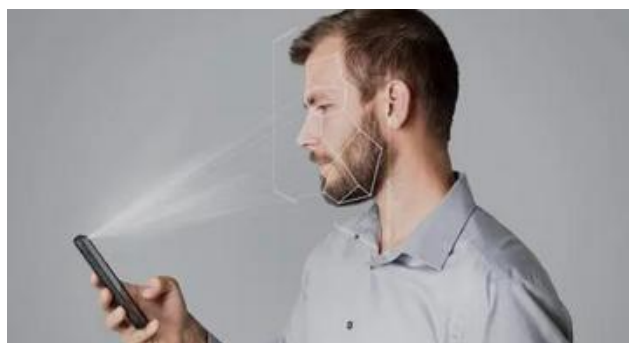


面向检测任务的算法优化和高效硬件实现

随着移动设备上人工智能应用的增多，能够部署在端侧设备的轻量化模型显得越发重要。而目前的移动端计算平台还难以满足深度学习算法的计算量要求，因此有必要从算法和硬件两个方面同时进行优化，以达到最优的效果。

本项目从算法和硬件两个角度出发，一方面对人脸检测算法进行针对性的优化，使模型本身的计算量和内存使用量大幅下降，另一方面，对检测中常用的可变形卷积算子进行针对性的硬件设计。类脑芯片的快速发展，也使得类脑模型有望得到大规模的应用，本项目还提出一种新的针对 CNN 到 SNN 的转换算法，能够让 CNN 在 SNN 芯片上得以快速部署。

本项目可以应用于各类移动设备上计算机视觉相关任务，如自动驾驶，安全领域，医疗系统等计算机视觉相关方面，提高目标检测的精度和效率，达到低功耗高效率 and 实时性要求。SNN 可以作为神经形态芯片直接在计算硬件中实现，将模拟大脑生物学的神经网络加载到微芯片上，以实现更快、更有效的人工智能，如图像分类、目标检测等领域。



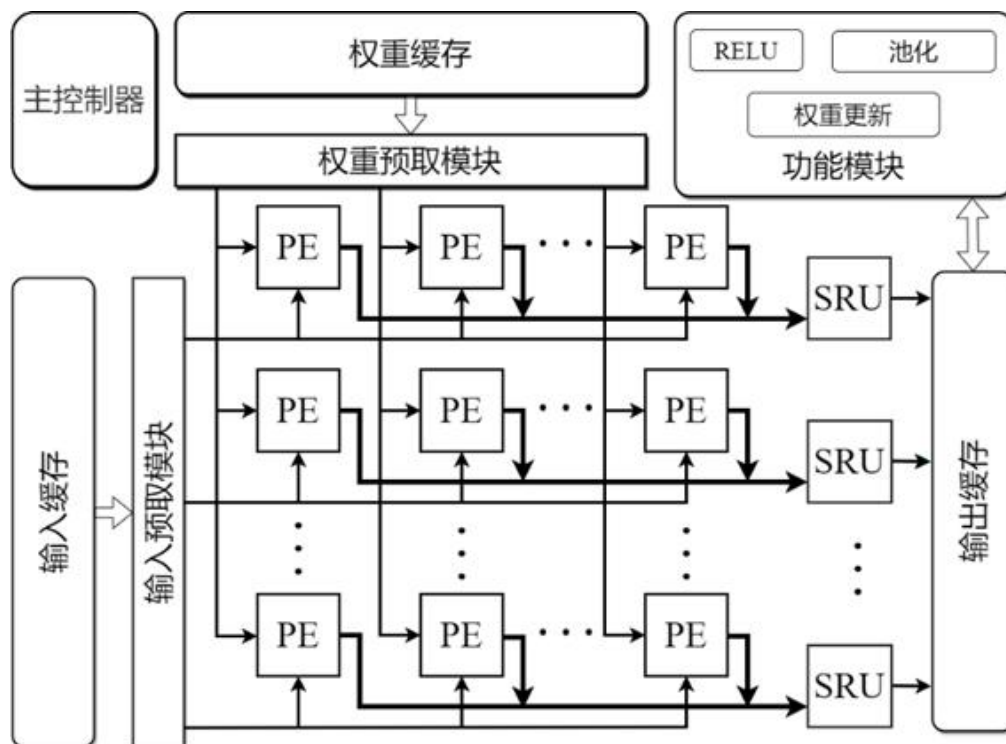
面向高效神经网络训练的算法压缩与硬件架构设计

本方案面向神经网络的训练，提出高效的数据表示形式，并设计硬件训练加速器。主要的关键点在于：

1) 从理论分析和实验验证的角度分别比较各类数据格式的表示能力，证实了 posit 数据格式在神经网络中数据表示的优越性。并基于此提出两种基于 posit 格式的数据量化方案，并将其应用到神经网络训练的全流程中，实现 8-bit 无损失训练，从而实现 4 倍的存储和通信带宽需求。设计了基于 Posit 的乘累加计算单元，包括 Posit 数据转化电路，乘法电路和加法电路。其面积与功耗相比于浮点表示格式具有显著降低。

2) 设计了一种可重构的处理单元（PE），用于网络训练的核心计算，该单元可以根据卷积神经网络训练的不同阶段和网络参数动态地配置 PE 单元内部的连接方式，避免无效计算，从而提高硬件资源地利用效率。为 PE 阵列设计了相应的输入数据预取模块（prefetch module），可以将来自片上缓存的数据根据 PE 的计算模式重新排列，并正确地传递到 PE 阵列。提出了一种新颖的方案，将量化神经网络训练算法的高位宽中间结果映射到低比特最终结果的过程分为局部缩放和全局缩放两个阶段，以减少片上内存资源需求。

本方案能够有效降低神经网络在训练过程中的计算和存储开销。



训练加速器整体架构

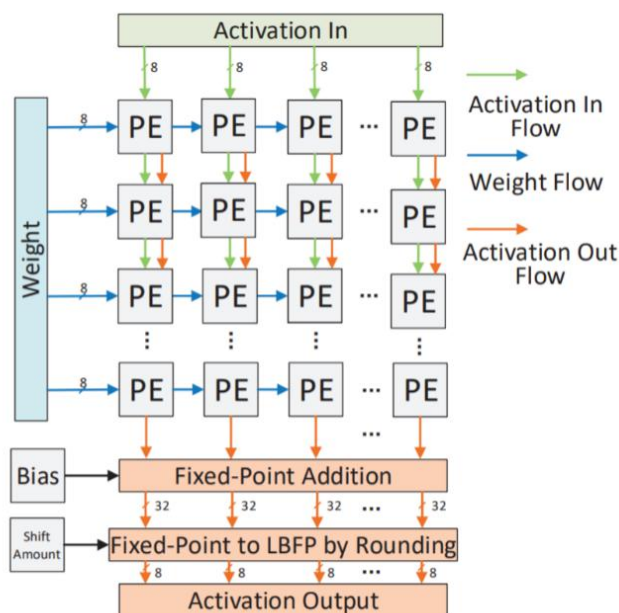


一种应用于神经网络量化的对数块浮点数值表达格式

本方案面向神经网络的推理，提出了一种高效的数值表达格式，用于无需重训练的量化算法，并降低了神经网络中乘法运算的复杂度。主要的关键点在于：

- 1) 提出了对数块浮点数值格式，其融合了对数数字系统的高效计算与块浮点数的数据表示能力。在消除神经网络中的乘法计算的同时，还能够在不重新训练前提下，以 8 比特的表示位宽在神经网络模型上实现几乎无性能损失的量化压缩。
- 2) 设计了在线和离线量化的两种不同方案，以及灵活的分块方案，能够有效权衡精度和计算复杂度。
- 3) 设计了基于对数块浮点的计算单元及其脉动阵列，其面积与功耗相比于同等位宽下的定点数实现具有显著的降低。

本项目提出的对数块浮点数值表达格式，有效降低了神经网络在硬件上的部署成本和计算开销，极大地提高了硬件加速器的能效，并且减少了片上存储大小和数据传输的带宽要求，为在资源有限的边缘计算平台神经网络部署提供了基础。基于脉动阵列的架构能够有效加速神经网络运算中的基础矩阵运算，因而具有较高的普适性。



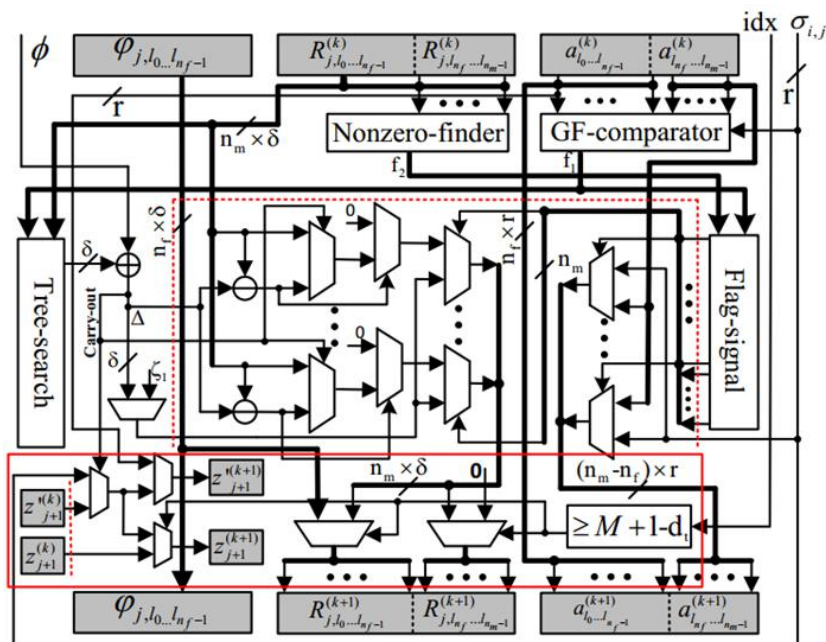
基于对数块浮点格式的脉动阵列



高性能 NB-LDPC 译码算法设计及其高效硬件实现

针对 IISRB 算法译码失败的主要原因：周期点问题。团队提出了一种高性能低复杂度的 NB-LDPC 译码算法，称为 P-IISRB 算法。主要创新点在于提出一种周期性引入修正的方法，有效帮助译码摆脱周期点，从而极大程度提升性能。对于低列重码字，提出的 P-IISRB 算法将传统 IISRB 算法的误码平底压低了至少两个量级，解决了传统 IISRB 译码算法对于低列重码字不适用的问题。同时对于高列重码字也有不错的效果，对测试码字性能提升在 0.25dB 左右。在复杂度方面，团队提出一种实时计算的方法，把存储复杂度从 $O(2^r)$ 降低为 $O(r)$ 。此外，通过算法变换与架构设计联合优化的方式，团队在提升性能的同时实现了一个低复杂度的 IISRB 译码器。

本译码算法在保证译码性能的同时极大程度降低了 NB-LDPC 译码算法的复杂度，且提供了一种高效率 NB-LDPC 译码器的设计方案。本方案可应用于数字信息传输以及存储等技术领域，在高性能低复杂度译码器的设计中有着极为广泛的应用前景。



核心处理单元架构

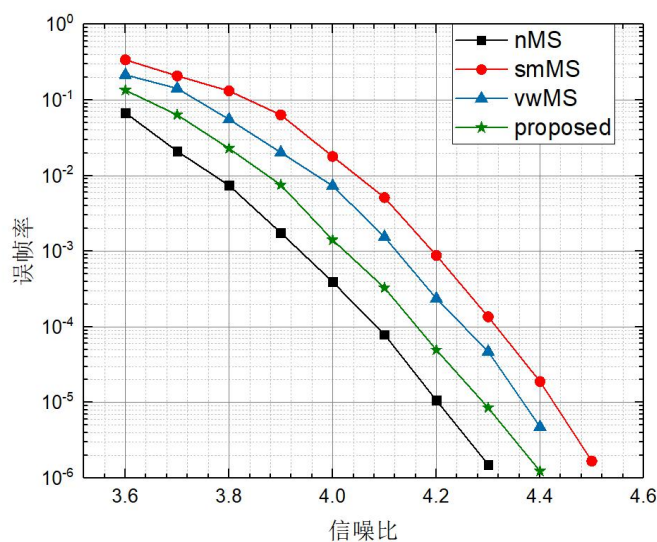


一种仅基于最小值的 LDPC 码最小和译码算法

LDPC 码是一类具有稀疏校验矩阵的线性分组码，其在使用 BP 算法进行迭代译码时，具有逼近香农限的良好性能，是近年信道编码领域的研究热点。但是，BP 算法对实现该算法的软件和硬件配置要求均非常高，为了降低 LDPC 码的译码复杂度，本研究团队提供一种仅基于最小值的 LDPC 码最小和译码算法。

在使用本译码算法前，需预构造一个码字本征函数：引入一个易于获得的动态变量，通过蒙特卡罗法构造和拟合得到次小值与最小值的差值和动态变量之间的固定函数关系；然后运用本译码算法进行译码：在常规译码流程的校验节点更新阶段中，只求最小值，并利用最小值、本征函数和实时获得的动态变量，动态计算次小值，再进行后续的常规译码流程。本译码算法能在保证 LDPC 译码复杂度降低的同时，减少译码性能损失。与传统的 LDPC 码译码器相比，使用本译码算法的译码器具有更少的资源、面积开销。

本译码算法可应用于数字信息传输以及存储等技术领域，在低功耗 LDPC 译码器的设计中有着极为广泛的应用前景。



译码性能对比



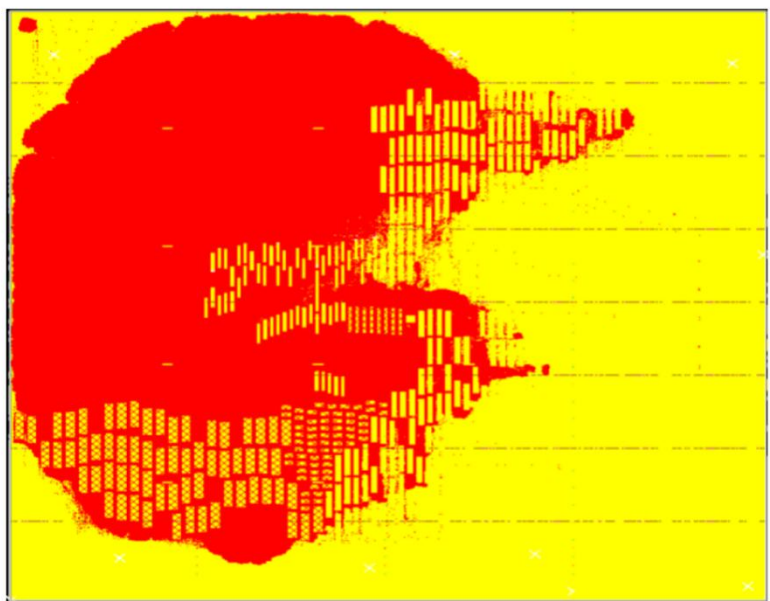
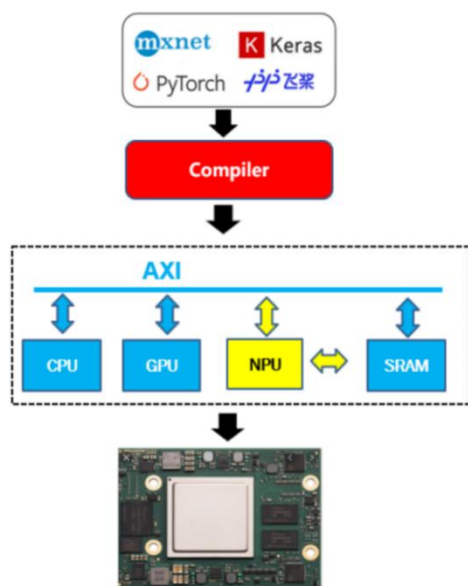
高性能端/云 AI 加速器硬件 IP 及其编译器的技术研究

深度学习有着计算量密集，存储需求大的特点，往往需要百万次的乘加操作和几十兆的权重、中间层结果的存储，对其在计算和存储资源受限的边缘设备上高效执行提出了挑战。

为了解决上述问题，本项目实现了从上层软件框架到底层硬件 IP 的 GDS 实现的全套 AI 处理器相关技术的开发，包括支持各种 AI 算法开发的编译器框架、支持 ARM 总线的可级联扩展的处理器 IP 及其版图实现、基于上述 AI 处理器 IP 及 RISC-V 核的集成处理芯片等。

关键技术在于：1) 设计了 AI 处理器配套的顶层编译器，支持包括 Tensorflow, PyTorch, 飞浆到硬件 IP 执行指令的全套编译。2) IP 在 28nm 工艺下实现了 700MHz 主频，4608 计算单元，4M 片上 SRAM 的设计开发；IP 支持任意尺寸卷积及 Depth 卷积，池化，Batch Normalization 和 ReLU 等算子；支持 ResNet, MobileNet, Yolo 及 SSD 等主流网络结构。3) IP 实现了中间特征图压缩和权重压缩优化片上存储及片下带宽需求。针对不同网络实现了 30%-70% 的特征图压缩和 50% 以上权重压缩。

本项目实现了端到端的 AI 处理器系统，可应用于各类移动及物联网设备。目前芯片已实现 28nm 流片验证。

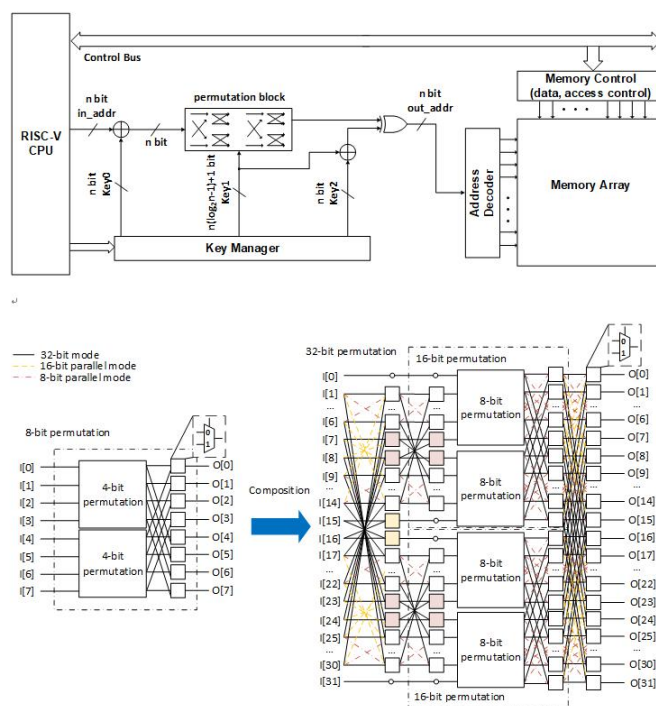


基于置位网络的可重构高效硬件地址加密技术的研究及应用

现有的若干硬件地址加密技术结构过于简单，缺乏量化的性能参数统计和系统化的安全性分析。本项目提出了一种可重构的基于组合学置位网络的地址加密（Permutation based Address Encryption，即 PAE）技术。PAE 技术在面积、功耗、实时性、安全性方面均有较大优势。以 32 比特地址场景为例，TSMC 40nm 工艺综合的 PAE 用 0.826 千等效门数（Gate Equivalents，即 GE）实现了 193 比特密钥长度。PAE 地址加密和数据加密的结合能够实现对于数据位置和内容的两个维度的保护。并且相比于单独的数据加密带来很小的面积和性能的损失。

关键技术在于：1）PAE 应用了一种组合学置位网络，其消耗的 Mux 少于许多传统的置位网络，如 Benes 置位网络和 Omega Flip 置位网络。2）作为地址加密模块，PAE 适用于与数据加密相结合的场景，为存储器当中的数据同时提供内容和位置两个维度的安全性。3）作为一个即插即用的地址加密模块，SoC 平台当中 PAE 模块的集成几乎无需修改 SoC 的其它模块的源码，减小工程开发难度。

硬件地址加密结构拥有低加密周期、低面积、低功耗和高效率的特征，具有很强的灵活性，同时能有效增强纯数据加密结构的安全性。可以被广泛应用在 IoT 设备、移动嵌入式设备等小型设备。



基于置位网络的地址加密模块顶层架构及置位网络内部硬件架构



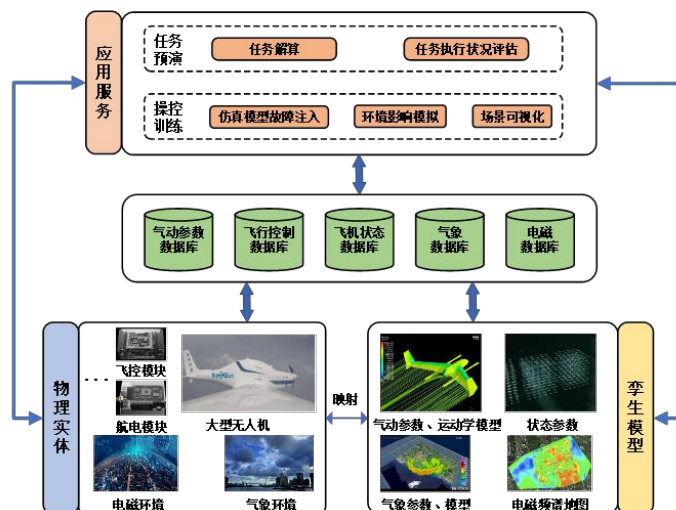
面向操控训练与任务预演的大型无人机控制仿真系统开发

本项目建设大型无人机控制仿真系统，以数字化方式创建无人机物理实体的虚拟模型，借助数据模拟无人机在现实环境中的行为，通过虚实交互反馈、数据融合分析、决策迭代优化等手段，实现无人机操控训练以及任务预演。

系统中通过孪生模型对物理实体进行映射，将飞机的气动参数、运动学模型、状态参数，以及气象环境数据、电磁环境数据映射到虚拟空间。使用孪生数据中心存储管理海量数据。数据来源主要为构造大型无人机实体和飞行环境全要素监测，包括实时数据和历史数据，数据库分类存储并支持调用，各数据库间按时序进行关联。应用服务根据操控训练与任务预演的需求，对飞行过程进行演练，支持飞行过程动态展示、现场数据统计，为任务执行决策提供服务。

大型无人机有美国捕食者无人机、全球鹰无人机、火鸟无人机、牵牛星无人机，我国翼龙无人机、拓攻星辰无人机等。国内外民用的大型无人机控制仿真系统极少，但随着大型无人机在物流、巡检、应急救援等领域的应用，对大型无人机控制仿真系统的需求越来越多。

拟开发的大型无人机控制仿真系统可以应用于大型无人机操作员培训、无人机和无人机集群任务预演。经前期调研，拟开发的系统在通航、国防等领域均有广泛的应用前景。



高精度小型化三维重建系统（Hi3D）

高精度小型化三维重建系统（Hi3D）采用被动式的重建算法为现实物体建立三维模型。该系统形成一套包含硬件系统、算法实现和交互界面的完整三维重建系统。拍摄时，Hi3D 系统协调转台转动和相机，自动完成多视点图像拍摄。算法部分包括相机标定、深度初始化、立体匹配、点云优化、网格化、上色，构成一套完整的三维重建流程。该系统还具有友好的 PC 端用户界面，具有高精度、小型化、全自动、低成本的优点。可为三维打印、三维渲染、虚拟现实等技术提供素材，应用于文物保护、电商宣传、电影电视制作、三维摄像馆等领域。

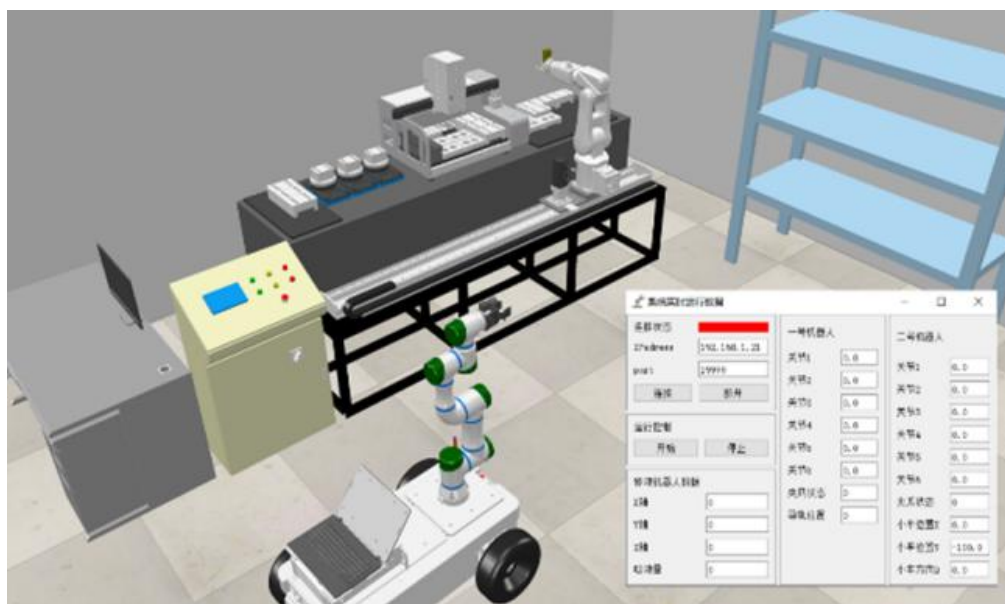


基于机器人技术的全无人自动化学实验系统

传统化学实验研究需要消耗大量人力、时间，效率低；长时间、重复性、枯燥的工作易带来研究人员的生理疲惫，影响数据的可靠性及实验安全问题。已有的自动化学实验设备的专用性强、无人化程度不高、应用受限。

本项目主要通过对（1）硬件系统设计和实现：开发移动机械臂工作站；设计专用的移液机器人用化学实验中液体试剂的自动化分配，除此之外还包括加热、搅拌等典型化学反应装置的集成，工作环境信息的采集与化学反应数据的检测依靠视觉模块、温湿度测量传感器。（2）软件系统设计及实现：主要为工作站控制和化学数据处理两部分。移动机械臂工作站设计在流程仿真软件建立3D场景并进行动态仿真测试，并且能够通过仿真软件实现针对移动机器人运动的可视化编程与控制。（3）智能感知及任务调度算法设计：除机器人智能控制自身所需设计控制算法外，设计了以视觉为主的智能感知系统和化学实验整体任务调度算法。

本项目借助人工智能和机器人技术，推动化学研究范式从“劳动密集型和经验试错型”向“智能化、自动化”升级。设计了多台多种类机器人系统，通过多机器人协作来完成化学实验的全无人自动化系统，实现24/7全无休提供服务的无人自动化学实验室。

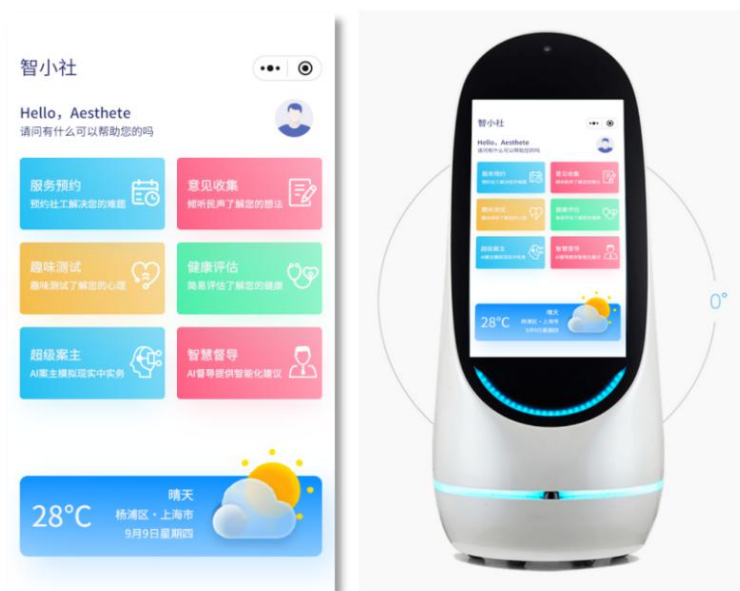


社会工作人工智能机器人设计与应用

本项目将人工智能技术引入到社会工作领域，通过研发社会工作人工智能机器人提升社会工作教学效果及科研水平，以及促进社会工作实务的开展。主要功能可包括：加强社会工作者与服务对象间的沟通、辅助社会工作者开展专业服务，辅助社会工作专业教师进行实践教学和科学研究，以及满足社会工作实务领域的实践技能培训需求。

项目创新点主要包括：1、应用创新：本项目将人工智能技术首次引入到社会工作服务和教育领域，并进行产品化开发。2、技术创新：1）本项目构建了国内首个可供社会工作人工智能训练的实务案例数据集，并基于该数据集训练社工工作服务方案智能评估的机器学习算法，可用于支持超级案主和智慧督导服务。2）本项目提出了基于算法驱动的心理测评和健康评估预警技术，通过将量表数据和社会工作服务数据结合，训练机器学习算法，从而更好地筛选潜在健康风险的服务对象，预警相关服务人员提前干预。

应用场景：开发和销售社会工作人工智能机器人产品，并能够在教育机构、医疗机构、养老院、社区等场所大面积推广使用。



“智小社”小程序和机器人应用



数据赋能的智能电商物流创新服务平台

一直以来，物流成本对企业经营和交通运输环境都有着巨大的经济影响，而新商机、新技术与新零售业态的出现将会迅速改变传统运输和物流方式。这就迫切需要通过智慧升级，提升物流业发展水平与核心竞争力。本项目通过对大量数据的深度学习来智能精准匹配配送计划，并在此基础上构建深度学习模型，根据专家经验数据的自学习和磨合，从而能为数据赋能的电商物流提供创新服务,并产生经济和社会效益，意义明显。

本平台不但提供了基础的供应商内部信息管理功能，如 CRM、管束信息管理、部门信息权限管理等，还结合人工智能技术，运用深度神经网络预测模型、启发式算法等对物联网实时数据进行计算分析，对运输时间、运输数量、运输路线等做出合理规划，减少人工干预，降低人工成本及出错概率，保障运输安全性、效率性和准确性。同时，平台提供多种接口，PC 端、app 端、微信端等都将给供应商、司机、接收员等提供方便快捷的查询、修改、确认等服务。该项目整体盈利模式将依托于线上广告服务、行业分析与行情预测服务、会员服务及附加价值服务进行。

本平台已在工业气体电商领域运行，长期积累的大量行业数据将进一步指导平台进行升级更新，在信息化服务、行业预测等方面具有巨大的发展空间。



大数据存储运维中心



基于用户心理行为特征的人机交互界面测评系统

本项目利用心理学、软件工程等多学科交叉背景，深入研究用户心理特征，建立人机交互测试平台，这一平台建立可以测评产品是否符合用户期望，满足用户需求，易学易用。这一测试平台一方面可以促进与人机交互相关的心理特征研究，另一方面可以为企业提供产品可用性和用户体验的针对性测试。

技术方案：1.系统采用心理学研究方法标准化测试人的心理和行为特征，如观察，访谈等，对于必要的行为特征可以用运动捕获仪器进行数据分析。2.对产品可用性和用户体验进行定性和定量测量，分析产品人机交互方面的问题。3.采用程序编制软件整合心理行为测量和产品可用性和用户体验测量。

市场前景：目前产品用户体验的研究部门集中于北上广深等经济发达地区的大型品牌的研发中心，众多中小企业很难建立自己的研发中心，该平台为中小品牌产品研发和上市提供测试服务，也可以为华为等大型企业产品提供针对性测试，为后期深入测评和人因素研究奠定基础。因此这一测试平台具有广阔的市场前景。

人机交互实验设施

行为实验室

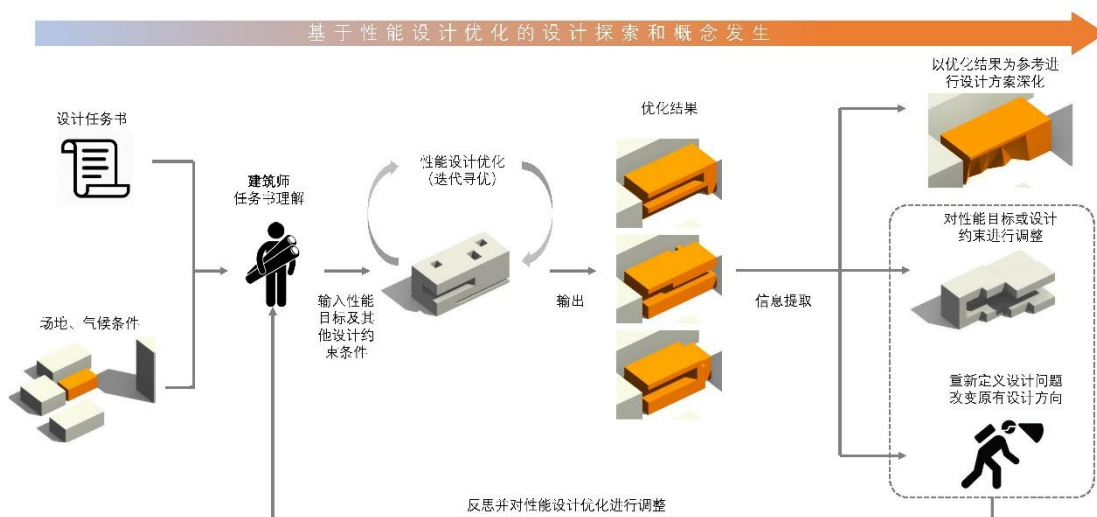
包括行为观察室，电脑室等，有摄像系统，Optotrak三维动作捕获系统等设备。



EvoMass 基于性能的建筑体量设计生产及优化系统

EvoMass 是一个基于环境性能的建筑体量设计生产及优化系统（软件）。该系统由一组能够生产具有较高多样性和差异性建筑体量设计的生产算法，以及一个具有较高探索性的进化算法组成。该系统在主流参数化设计平台 Rhino-Grasshopper 下进行二次开发，可以与该平台上各类建筑性能模拟分析工具进行无缝连接，以此能搭建面向不同建筑性能的设计优化流程。在使用中，在用户输入与设计相关的少量自定义参数后，EvoMass 便能够根据设计条件搜索具有较优性能的设计。EvoMass 的开发克服了传统参数化设计生产和优化中设计多样性、适用性较低的不足。

EvoMass 可以应用于建筑方案设计初期，帮助建筑师在设计中快速进行面向不同建筑性能或设计可能性的探索。其输出的优化结果可以为建筑师提供具有场地和任务针对性的设计方案。同时，优化结果也传递了丰富的设计信息。这些信息一方面可以帮助建筑师更好地理解设计中潜在的性能问题，另一方面建筑师也可以由此推断出相应的被动式设计策略。这也进一步帮助建筑师更主动地将建筑性能因素融入建筑方案阶段的设计构思和深化之中。EvoMass 目前也开始受到学界和行业的关注，如清华大学、同济大学、米兰理工、瑞士洛桑联邦理工大学、哈佛大学等，也包括如奥雅纳（Arup）、赫尔佐格和德梅隆建筑事务所、中国建筑设计研究院有限公司等建筑行业企业。



基于图像和视频的全智能艺术创作系统

该团队研发了基于图像和视频的全智能艺术创作系统，其目的是打造一款功能完善的AI软件产品，使它能完成包括图像风格迁移、漫画生成、视频风格迁移等在内的各种艺术创作任务。

全智能艺术创作系统主要以三个艺术迁移算法为核心技术。包括基于内容和风格图像语义对齐的艺术风格迁移算法、基于几何形变的漫画生成算法、基于知识蒸馏的高压缩视频风格迁移模型。

基于图像和视频的全智能艺术创作系统作为一款功能完善的AI软件产品，让艺术图像创作及视频重渲染过程高度智能化，为用户提供个性化、可交互的友好接口，打造便捷、开放、智能、灵活、多样的SaaS艺术图像生成及艺术视频生成服务，能在很大程度上弥补目前应用市场上潜在的不足，具有良好的发展潜力和发展前景。



量测型裸眼立体显示器

在测绘数据的原始处理以及测绘信息的综合运用等方面，都需要能显示三维信息的立体图像显示技术，直观地显示具有三维空间场景和立体数据分布的全景图，从而充分运用地理信息数字化资源。为满足测绘以及相关技术领域对立体影像展示、观察、量测等需求，为摄影测量与遥感立体显示装备更新换代和其他三维可视化应用提供技术和装备支撑，开展了通用量测型裸眼立体显示技术的研究。

综合利用裸眼立体，眼球追踪和双屏叠加立体等新兴技术，以用户体验和量测精准度为追求目标，遵循影像信息不丢失的基本原则，突破了通用量测型立体显示总体技术、液晶裸眼立体显示技术和双液晶面板偏振立体显示技术等关键技术，完成了液晶裸眼立体显示系统工程样机研制，形成全球范围内首台适用于高精度测绘测图作业的裸眼立体显示系统，通过了军民测绘用户试验。

量测型立体显示技术可用于测绘导航、快速建立电子立体沙盘、全数字摄影测量、仿真模拟等领域。可以更准确地观察三维态势状态、更快地解释和理解立体态势、更好地传达意图信息甚至平面显示无法传达的信息，可以实现更为准确的描述、分析、沟通。



基于电荷感应的智能运动感知系统

该项目提出一种基于电荷感应的运动感知系统，通过自主研发的电荷感知芯片，可以感知 3m 范围内的人体逼近，0.5m 距离的手势，2cm 距离的非接触按键和手写数字等，具有全方位探测，抗环境噪声，抗遮挡，成本低和可运动姿态识别的显著优势。该项目团队目前已经完成了电荷感知芯片的设计与流片，完成了手势识别演示系统，手势控制的窗帘装置，以及运动姿态识别演示系统。相比于图像传感技术、雷达主动技术而言该技术具有简单、成本低、抗遮挡、隐私性好等显著优点。

基于电荷感应的运动感知技术，具有 1 个电极感知，2 个电极测速，多个电极定位和姿态可识别的显著优势，且可穿透、抗遮挡，系统简单，成本低，克服了现有技术系统复杂，成本高的明显不足，可助力智能家居控制、工业控制以及 VR 多个领域。

运动目标姿态识别

手势识别演示系统



运动感知智能灯控

技术优势一：实现大于10 m范围全方位探测，不受噪音，环境热源，物体遮挡等影响，全天候适用。

技术优势二：具有低成本、节能显著优势，可大大降低每年1000多亿元照明费用。



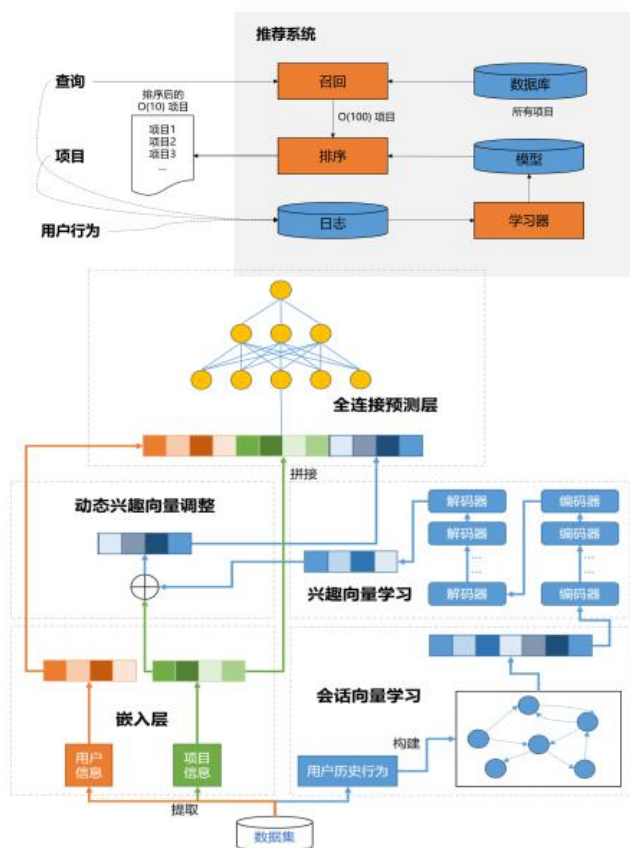
1个电极感知-2个电极测速-多个电极定位、可穿透、抗遮挡



基于变分自编码数据融合的社交网络产品推荐方法

互联网中的信息量不断增大，在网络中过滤信息所需的工作量也随之增大，搜索引擎可以在用户目标明确的情况下帮助用户找到有用信息，推荐系统则根据用户过去的行为去发掘用户可能感兴趣的信息。协同过滤技术被广泛应用到推荐系统中，很多年来协同过滤始终是一个受研究人员关注的研究方向。传统的协同过滤方法可被分为两类，基于近邻的方法和潜在因素模型方法。基于近邻的方法通过提前定义好的相似度计算方法找到用户的或项的近邻，之后基于近邻来进行预测。潜在因素模型的典型方法是矩阵分解方法，该方法将用户和项投影到一个联合向量空间，用代表用户的向量和代表项的向量的内积来表示用户和项的交互信息。近些年随着深度学习的发展，神经网络被应用到推荐系统中，基于神经网络实现的生成模型的目标与协同过滤方法的目标存在着很大的相似性。玻尔兹曼机、自编码器、降噪自编码器以及变分自编码器被研究人员应用到推荐系统中。

本项目提出了一种基于变分自编码数据融合的网站推荐方法，基于协同过滤方法与神经网络、变分自编码器、边信息提取方法，实现了网站推荐算法，模型方法将边信息提取与变分自编码器相结合来完成附带排名信息的网站推荐任务，因为提取了隐式反馈数据中的边信息，模型输入的信息更加全面，具有良好的网站推荐效果。

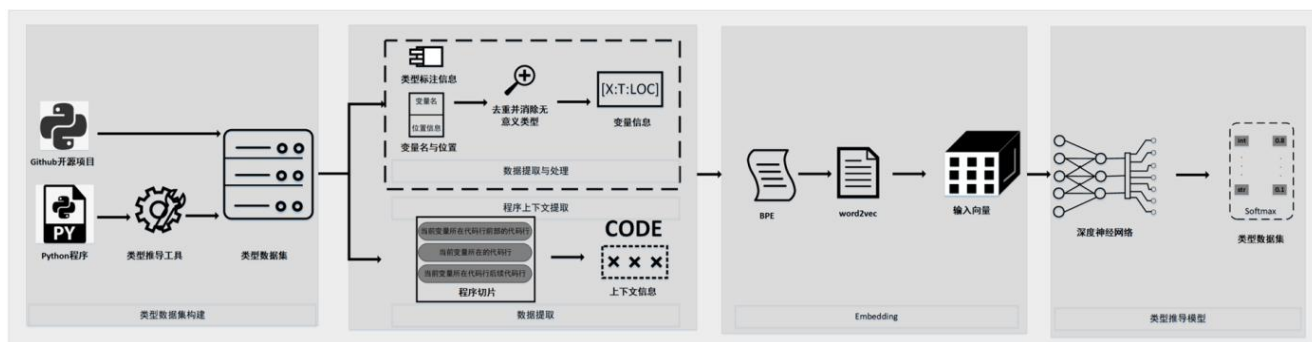


基于深度神经网络的类型推导技术

针对动态语言程序类型推导面临的诸多问题与挑战，本项目提出一种基于程序切片的深度神经网络类型推导技术，该技术使用程序切片技术提取标识符相关信息，训练深度神经网络模型，训练好的模型可以自动化地对动态语言程序标识符如变量或函数进行类型推导。

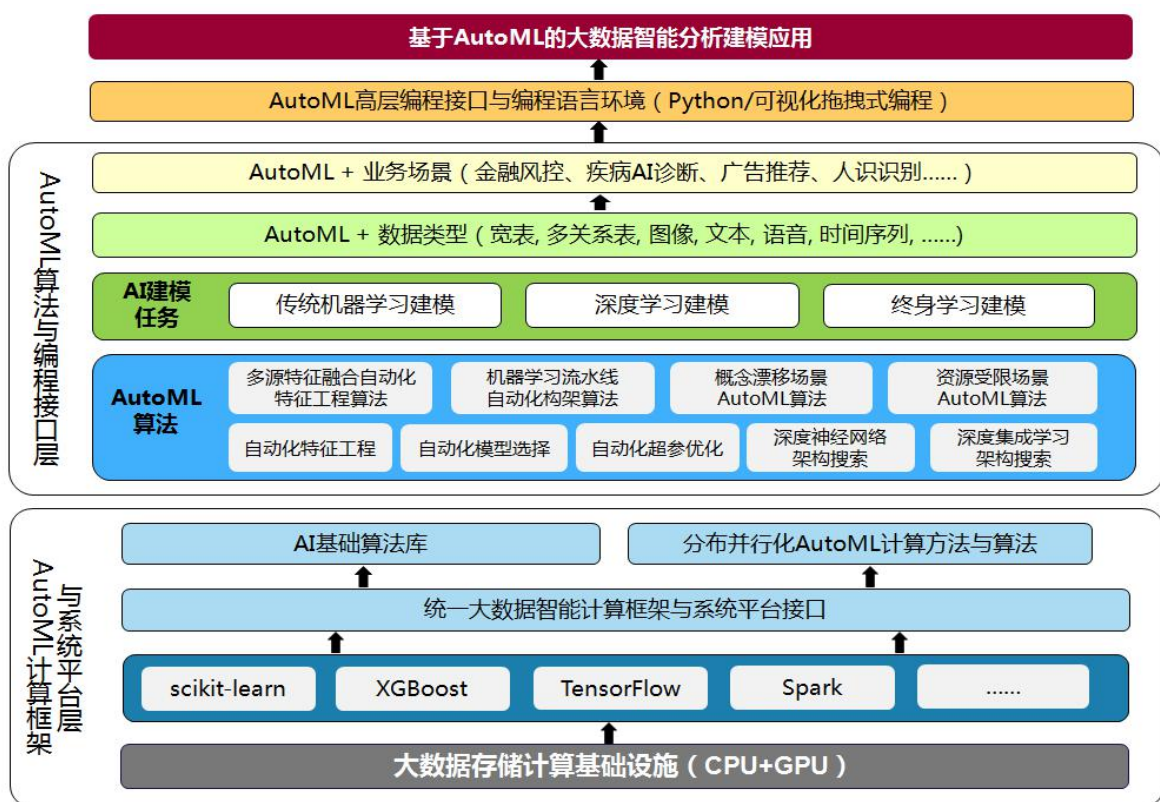
该技术有以下三方面创新与优势：第一，该技术结合了程序切片技术，充分利用了程序中标识符相关信息，从而有效提升类型推导的准确率；第二，该技术创新了数据嵌入的过程，先将数据集中文本信息预处理成子字符串的形式，然后对子字符串进行嵌入，有效避免了嵌入过程中 OOV (Out Of Vocabulary 输入数据不在词汇表) 的问题；第三，该技术还结合了深度学习技术，不仅可以推导程序中的变量的类型，还可以推导函数签名。该技术可以显著提高类型推导的准确率和推导过程的效率，有效地提高软件研发和软件维护的效率。

基于深度神经网络的类型推导技术属于软件工程中程序分析与类型推导领域，尤其适用于动态类型语言程序的类型推导领域，其目的在于自动化提高类型推导的精度，是一种提高软件可读性、可理解性、可维护性的软件质量保障方法。



AutoML 人工智能自动化建模关键技术与工具平台研究

项目的总体研发方法和技术路线是：首先围绕传统机器学习和深度学习自动化建模问题，研究实现面向 AutoML 的贝叶斯优化、遗传学习、强化学习、迁移学习等理论方法，以及自动化特征工程、自动化模型选择和参数优化等关键技术方法。在上述基础理论方法和基本技术指导 and 支撑下，研究开发面向多种数据类型的自动化数据增强与特征工程技术、机器学习流水线自动化设计技术、动态变化与资源受限场景下的 AutoML 技术、深度神经网络架构搜索以及超参数优化技术等 AutoML 关键技术。基于上述基础理论方法与关键技术研究，进一步构建面向大数据智能分析应用的高效易用和一体化 AutoML 自动化建模系统平台，底层融合大数据存储处理与智能计算编程环境支撑能力，与上层的 AutoML 建模算法融为一体的系统平台，并进一步开展大数据智能分析自动化建模示范性应用开发，提出的 AutoML 关键技术方法、算法以及系统平台的有效性在多个应用场景获得验证。



高效贝叶斯优化技术研究及落地应用

将贝叶斯优化应用到复杂的现实问题中依然面临挑战，其中主要问题在于这些问题不仅评估代价高昂，而且待优化参数的维度也很高。贝叶斯优化维护的高斯过程模型计算复杂度很大，运行时间在待优化参数维度提高时显著上升。因此，在复杂的高维昂贵黑盒优化问题中，贝叶斯优化的运行效率无法令人满意，如何设计高效的贝叶斯优化算法是一个备受关注的问题。

为了高效求解实际产业应用中的黑盒优化问题，本项目对高效的贝叶斯优化技术进行研究，从而提高贝叶斯优化算法的可扩展性和适用范围。同时，我们也与华为技术有限公司开展了合作项目，拟将算法应用到 5G 无线网络优化、多目标多对象协同参数优化、Massive MIMO 波束优化等实际产业应用问题中，促进相关领域的发展。

实际产业应用中的许多问题由于没有明确的解析表达式、涉及加密数据等原因，只能获得目标函数的评估值信息，无法借助目标函数的梯度信息进行优化，需要通过黑盒优化算法求解。由于黑盒优化问题的广泛存在和重要价值，吸引了越来越多的企业的关注和研究，其中代表性的研究问题为自动机器学习（AutoML）。

$$\max_x f(x) \quad \text{数学表达形式未知}$$

实验或仿真



黑盒优化应用广泛

高铁头部形状设计



优化
→



天线设计



优化
→



司法知识图谱构建研究

法律知识体系是多种逻辑的结合，且非常复杂。司法专有领域的知识图谱构建需要专家的指导和监督，区别于通用百科类知识的融合和构建。在“智慧法院”建设背景下，司法知识图谱的构建时机日臻成熟。

该项目对裁判文书进行摘要，把涉案事实结构化，找到知识图谱中对应的实体概念，采用实体链接技术，利用外部公开知识库对司法领域稀疏的知识图谱进行了补充，然后使用向量化方法描述实体特征，从而以迭代的方式构建司法知识图谱。该项目包括基于司法知识图谱的语义检索系统和基于司法知识图谱的案件推送系统。

在该项目的研究开发过程中，主要涉及了三块技术攻关：

在构建该司法领域知识图谱的过程中，构建了新颖的统计关系学习模型来学习知识图谱中的潜在关系和属性；

采用了图与深度学习技术，即基于图的挖掘技术和深度学习技术，为该领域的技术创新提供了新的贡献，包括子图挖掘算法和各种距离计算方法；

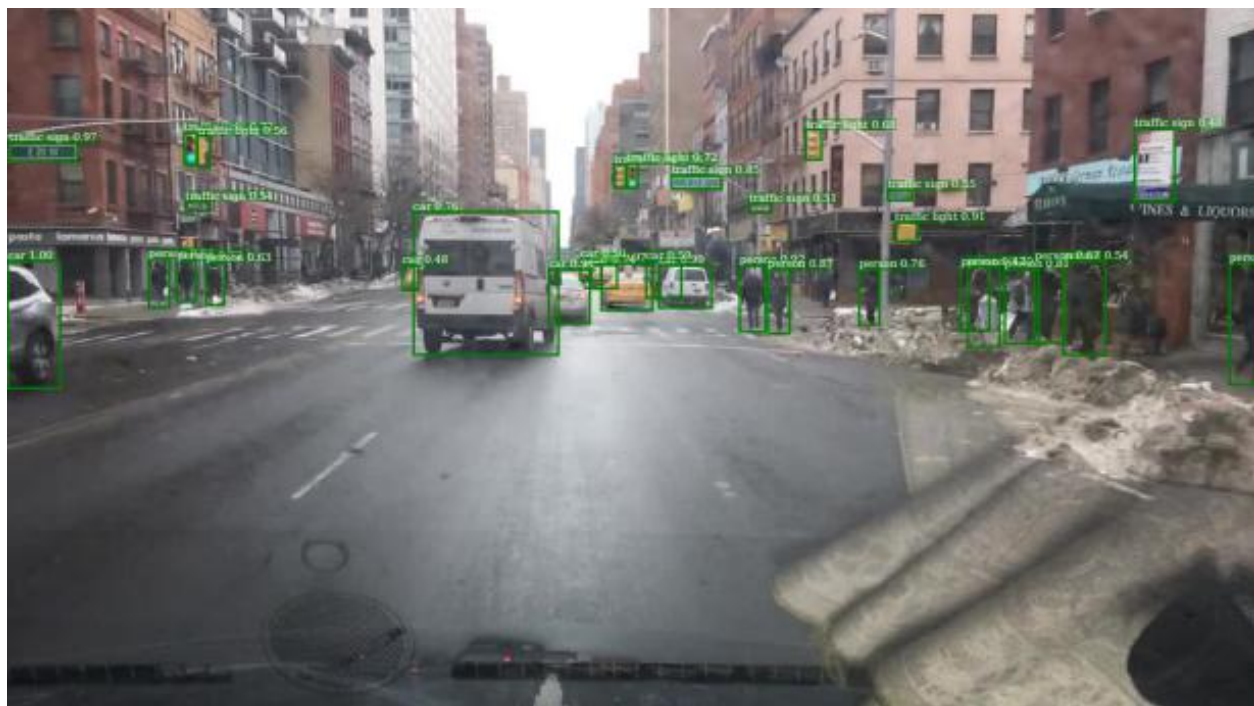
开发了基于司法领域知识图谱的创新应用，主要是语义检索系统和类案推送系统。

研究开发的基于司法知识图谱的语义检索系统，主要用于辅助律师、法官对平时案件信息的处理；基于司法知识图谱的案件推送系统，则为大众和寻求司法帮助的人群实现个性化地案例推送，大大的减轻了司法成本。该系统已在甘肃和天津部分法院进行试用。



自然场景视觉感知与理解是人工智能的前沿热点，其主要任务是对场景中的视觉要素进行认知，进而推断出其中包含的场景语义。

团队近年来相继从场景构成分析、场景内容推理、场景结构建模等角度对这一问题展开了系统研究，着重探索了融合先验建模与深度学习的自然场景视觉理解这一问题。相关成果在工业生产、安全监控等多个行业中进行了推广，先后获中国发明专利授权 20 余项，部分专利成果已在国家级高新技术企业和江苏省高新技术企业得到应用转化。



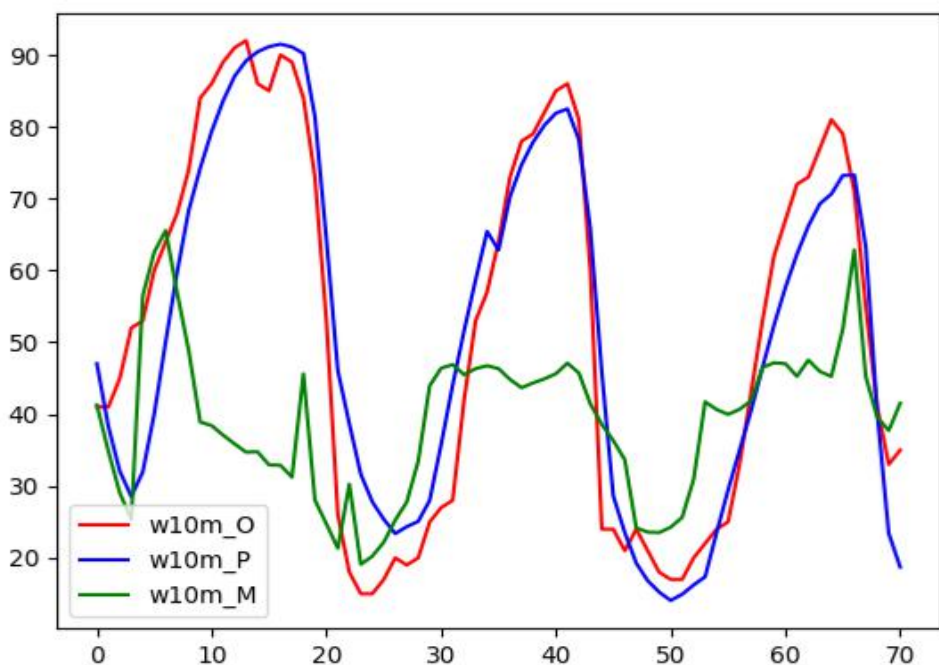
大数据分析技术—海关及国网应用案例

大数据分析:团队近年来结合深度学习前沿技术和传统数据分析方法进行数据分析和预测,并在海关大数据分析项目和国网电力冰风灾害预测项目中进行应用。

1) 海关大数据分析项目:该项目中,我们利用模式识别与文档分析技术,实现了对于海关随附单据的特定关键信息提取;通过提取数据及对数据进行一致性检验,实现了单单相符;通过对商品进行聚类 and 分类分析,完成对贸易数据的风险分析;利用统计分析和数据挖掘方法和组合多维度信息,实现了贸易异常数据检测;使用可视化的方法,为海关提取到大量异常数据;完成海关数据多属性可视化分析,为海关全周期实时监管提供了技术保障。

2) 国网电力冰风灾害预测项目:针对部分应用中数据量偏少的问题,开展了小样本学习和输电线典型冰风灾害预测研究。

系统分析小样本条件下的自动特征提取、特征筛选、推理总结,以及小样本条件下的机器学习和数学预测模型,具有较强的针对性和实际应用价值,有助于提高对典型输电线路冰风灾害预测的准确率,从而降低典型输电线路冰风灾害导致经济损失发生的概率,最终提升人工智能预测系统产生的经济效益与价值。



国网电力冰风灾害预测项目成果展示

红色：真实值 蓝色：我们预测的值 绿色：气象局发布结果



南大图客——智能图书盘点机器人

图书错架是图书馆长期以来的痛点问题。目前，图书管理具有盘点效率低下，人力成本高，图书漏读率高、定位精度低，操作繁琐等问题。

针对这些不足，团队在物联网、人工智能与机器人融合方面开展大量系统深入的研究工作，自主研发全球首台 RFID 图书盘点机器人——南大图客，实现了全自动化图书盘点。图客机器人，彻底解决了图书错架导致的找书难的问题，极大降低了海量图书盘点所需的人力开销，将图书馆员从繁冗重复的盘点工作中解脱出来，全面实现了传统手工盘点向全自动化智能盘点的升级与转型。

南大图客将 RFID 感知、计算机视觉和智能机器人技术进行有机结合。机器人：替代图书馆员，实现自动化图书盘点，解放人力；RFID 感知：随机器人移动扫描，定位图书内嵌的 RFID 芯片，解决图书错架问题。计算机视觉：实现机器人智能避障。

技术优势：1) 双激光雷达，无死角覆盖；2) 自适应 SLAM 导航；3) 高效盘点，精准定位；4) 一键操作，定时盘点；5) 超长待机，自动充电；6) 双升降盘点扫描装置；7) OPAC 无缝对接，图形化直观展示；8) 多模态智能感知凸出图书；9) 大数据分析，自动发送报表。

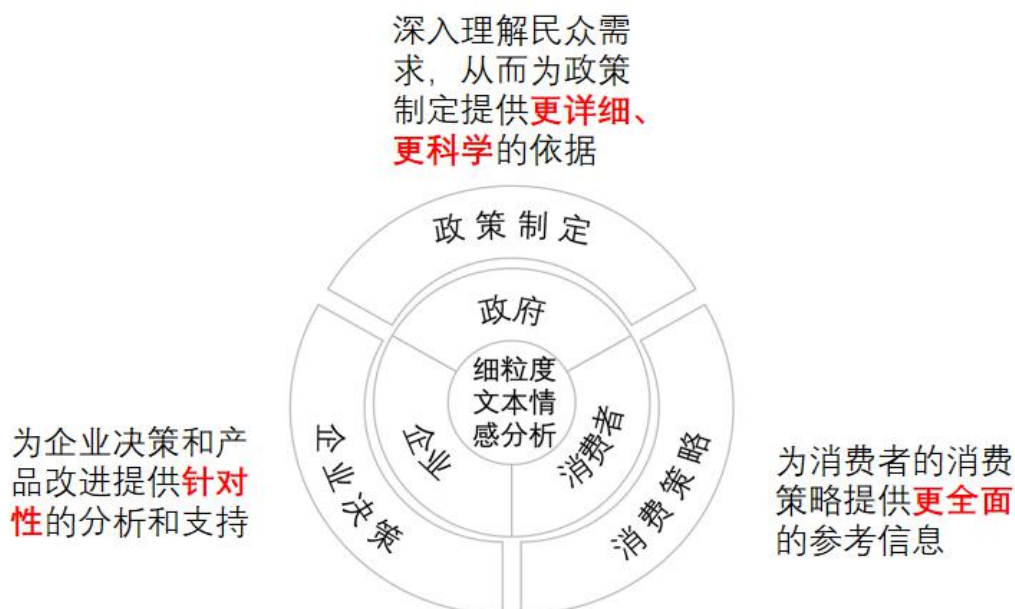


细粒度的舆情识别技术研究

团队提出开展端到端的、具备全局优化和领域自适应特性的细粒度舆情识别技术研究。对于核心的细粒度舆情识别技术，团队采用预训练的语言模型 RoBERTa 作为骨干网络，从而使得舆情识别系统获得领域迁移的能力。此外，为了研发出能够全局优化的细粒度舆情识别技术，团队提出网格标注框架，将舆情三元组<属性词，观点词，情感极性>中的元素抽取转换成词对关系分类任务，用一个统一的任务来解决细粒度舆情识别问题，以保证模型的端到端和全局优化特性，从而取得更好的识别性能。

竞争优势分析：由于各厂商的技术不成熟，它们只构建简单的规则系统对自己的产品进行分析，并未将细粒度舆情识别视为一个广泛存在的行业需求，因此市场上并无相同的竞品出现。淘宝、京东等电商平台提供了商品评论的观点摘要，但它们只对自身平台内的文本进行分析，无法对全平台的评论文本进行细粒度舆情分析。目前，本课题组的原型技术已应用在某手机厂商的舆情系统中，在手机领域的细粒度舆情识别上获得了极大的性能提升，受到了手机厂商的好评。

应用场景：1) 产品分析：通过评论文本分析用户对产品的情感态度，从而分析产品的质量与市场前景；2) 股票预测：通过互联网文本分析股民和市场的情绪，从而预测股市的涨跌；3) 舆情监控：挖掘公共热点事件以及群众针对事件的情感态度，从而及早地采取措施，防止事件升级。



基于预训练的代码补全技术研究

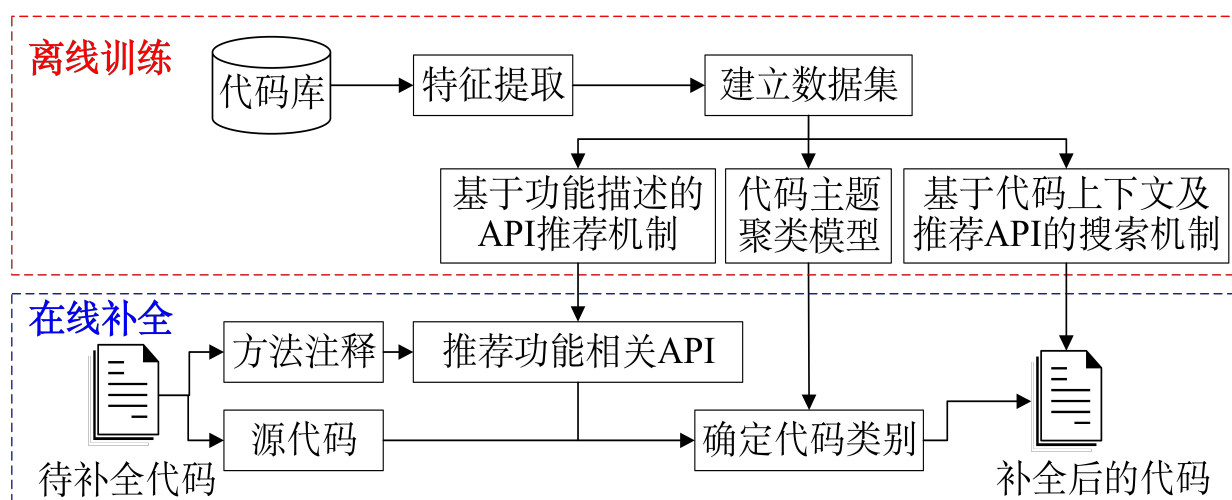
已有代码补全功能主要是对代码的参数、关键词和代码行进行补全，但由于软件应用的领域越来越多，实现的功能也越来越复杂，开发人员所需要掌握的知识也越来越多，编写代码的挑战也越来越大，而已有代码补全的功能已经难以满足开发人员的需求，所以需要更加自动化和智能化的代码补全方法，提高程序员的编程效率。本技术关键功能已在相关环境中得到验证。

关于代码补全，本项目考虑以下三个方面：

1、代码主题聚类模型。由于代码库的数量庞大，为了优化搜索效率，这些源代码需要预先进行分类，将功能相近的代码块划分到一起，搜索时利用特征来缩小搜索范围。该模型旨在筛选可以描述代码功能的特征，使用这些特征来对代码进行聚类分析，抽取出一些代码特例来代表一类代码，进而辅助代码搜索。

2、基于功能描述的 API 推荐机制。利用相关软件制品，比如代码托管平台中大量的功能描述和源代码文件、API 说明文档中对应的 API 及其功能描述，我们可以抽取出<功能描述，API>这样的键值对。在代码补全时，使用功能描述找到对应的 API，通过这些 API 来辅助搜索代码，可以提高搜索效率，提高代码补全的质量。

3、基于代码上下文及 API 的搜索机制。在代码搜索时，综合考虑源代码相似度和关联 API 的调用，在候选代码库中对代码的关联性排序，为程序开发人员推荐更合适上下文的代码块。



基于功能描述的代码补全整体流程图



面向海量用户的在线服务健康度维持技术

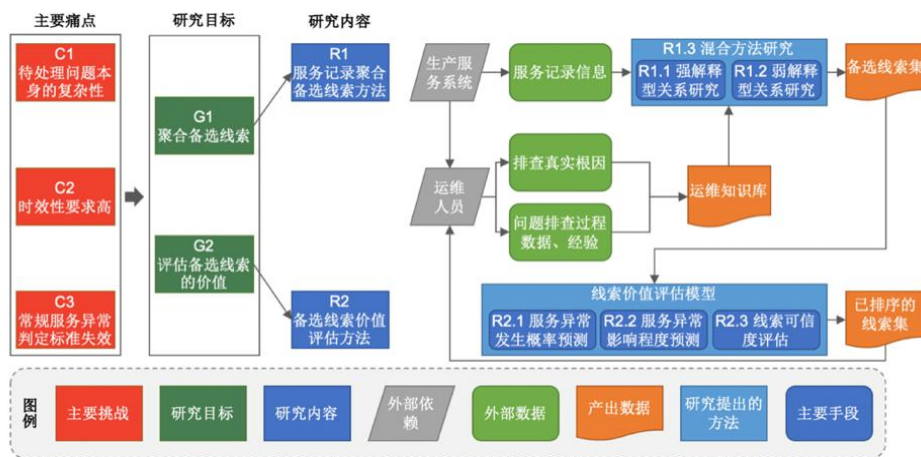
团队以有海量用户的大型在线服务系统为研究对象，提出应对服务异常的预防式的“体检”策略，改变现有运维实践中往往要等明显的服务异常信号产生之后，运维人员才干预的方式，从而为在线服务赋能可观测性，实现在线服务系统健康度的维持。具体而言，可以进一步细分为：

（1）建立一套服务运行时的监控机制，持续分析服务记录，并动态生成备选线索列表。

（2）建立一套对备选线索的价值评估方法，从潜在异常发生概率、影响程度以及线索可信度三个维度评价线索价值，动态调整线索列表，给运维人员指引排查方向。

创新点：1）一种用于分析庞大的监控数据中的不显著特征的算法；2）种由三源数据（日志、指标和链路）构建“服务异常事件”的技术。

因为部分工作已经在某现有平台的相关环境中验证了关键功能，并且已经实际部署在生产环境，因此本研究项目技术成熟度达到5级，可以在进一步完善功能后，大规模推广。



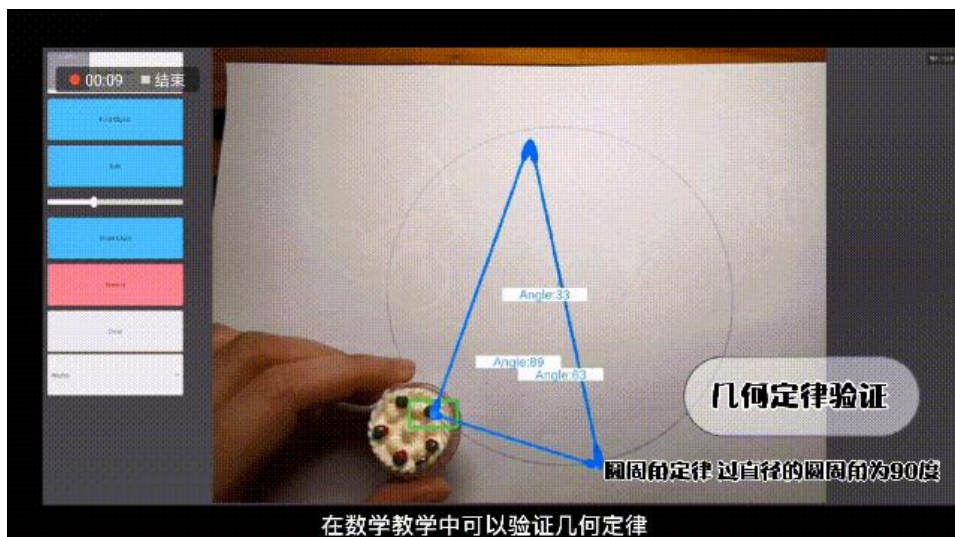
虚实融合的移动 AR 教学平台

将 AR 技术引入教学活动场景能够帮助学生更好地分析现实世界的现象，理解物理现象的本质，弥补传统教学手段的不足，增强课堂的互动性，提高教学质量。

团队构建一个虚实融合实验教学平台，虚拟 3D 物体可通过简单的笔式交互进行创建，从而解决大部分用户自行创建 AR 应用较为困难的问题；同时借助 AR 技术实现虚拟物体与真实环境的融合，学生可以与真实世界交互，来增强课堂的互动性和教学内容的可理解性，提高教学质量，激发学生的学习兴趣。

本项目核心技术方案在于：

- 1) 以用户为中心的设计思想为指导，基于参与式设计、半结构化访谈技术并结合“Think-aloud”方法对中学教学场景的具体需求进行分析调研；
- 2) 以实物操作、运动物体跟踪和手势交互作为项目的主要交互通道，借助笔式交互实现移动 AR 应用的快速构建、虚实融合提升学生的沉浸感和学习积极性；
- 3) 基于用户全方位交互数据的解析，准确发现学生学习环节的薄弱之处，更好地支持学生的个性化学习。



开放不确定环境下实时系统验证与监控技术

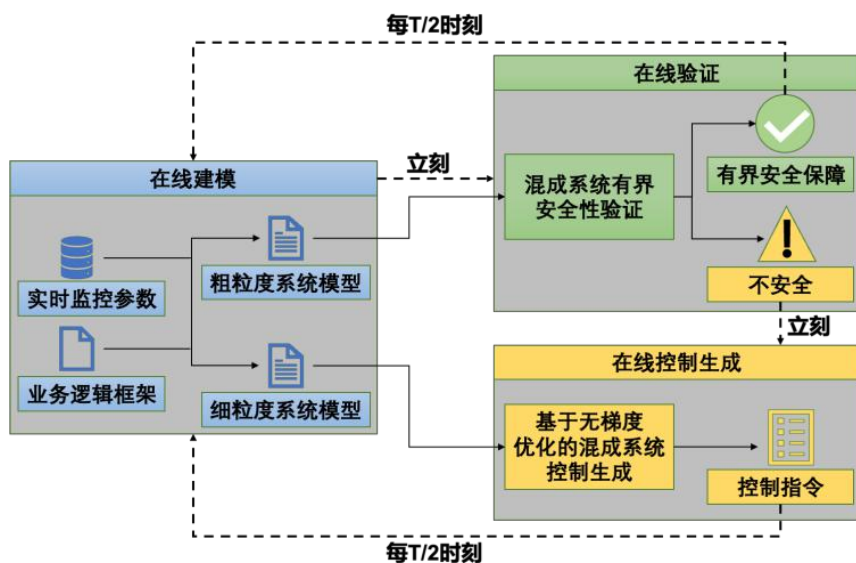
针对混成实时系统验证的高复杂度，面向工业实际应用挑战，本团队专注于实时系统验证与控制技术开展十余年持续性系统深入研究工作，在复杂性控制方面取得系列突破，有效提高了可验证系统的规模与验证效率、相关指标基本达到工业界应用需求。

一方面，本团队提出面向路径验证途径，不直接处理整体空间，而是从单条路径着手有效控制单次验证任务的复杂度，在此基础上将整体问题分而治之，进而由单路径验证扩展到有界乃至全局验证。

另一方面，针对开放不确定环境下的复杂实时系统的安全性难以保障的问题，本团队提出一套周期性的系统运行时验证与监控的框架，在系统运行过程中根据实时环境信息，周期性、自动化地对系统短期内的行为进行快速建模与在线验证，从而能够提前发现系统潜在的不安全行为并及时进行预警。

在此基础上，我们进一步提出了一种基于无梯度优化的运行时系统控制参数自动生成的方法，从而在发现系统潜在危险时接管系统控制，保障系统安全。我们通过确保在线监控、验证、反馈、控制等模块的高效运行以及在线验证窗口对系统运行时全周期的覆盖，进而保障系统在整个运行时的安全。

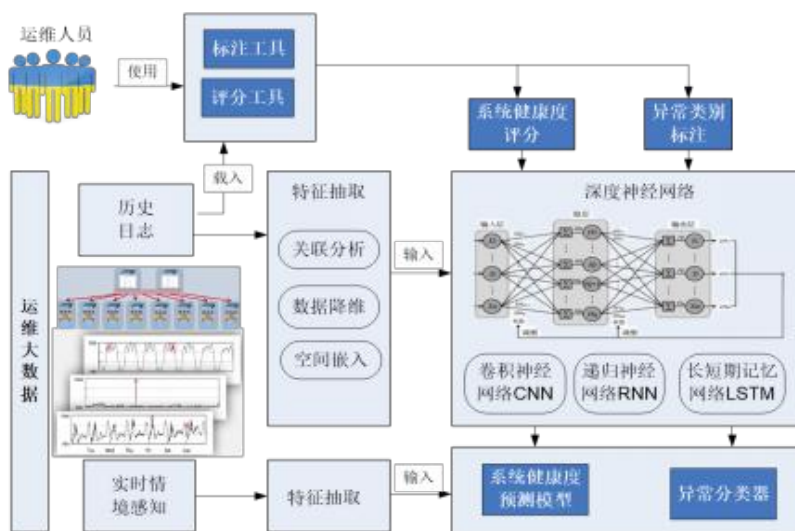
我们的方法主要应用于自动巡航系统、车辆防撞系统，更智能制造系统，医疗救生系统，探测器系统等等。



面向智能运维的高维时序数据流异常检测方法

本项目提出了一种基于多变量时间序列预测的鲁棒性异常检测方法，具体包括：获取互联网服务性能历史数据，构建多变量时间序列；通过小波变换将多变量时间序列分解为多个子分量，并去噪滤除噪音；将滤除噪音后的子分量输入到 LSTM 网络中，并训练网络，得到 LSTM 分量预测模型；根据 LSTM 分量预测值构建线性回归模型，并利用历史数据估计线性参数；将新产生的互联网服务性能数据输入 LSTM 分量预测模型，将得到的子分量预测值输入线性回归模型中，计算得到互联网服务性能时间序列的预测值；当计算得到的预测值与真实值的误差值大于预设的异常阈值时，判断为互联网服务出现异常。

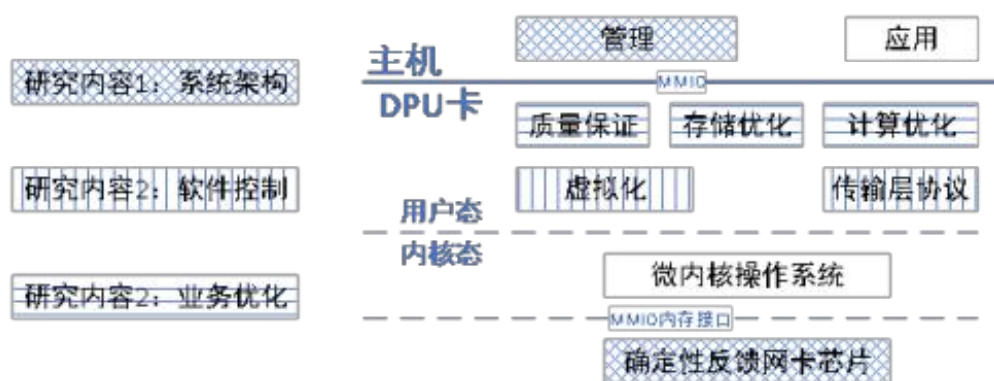
本项目提供面向企业信息系统的流式大数据分析平台，提供高维数据的压缩、采样、表达和融合机制，有效显示使用者所关注的数据和特征，实现系统可扩展性和快速构建能力。提供丰富的数据挖掘算法库，支持数据关联规则自动发现、趋势预测、智能化数据模式识别和异常检测等功能，提供一体化的智能流式大数据可视化分析解决方案。本项目可应用于工业制造、环境监控、医疗健康、金融、IT 服务等生产和生活领域产生的流式大数据的分析和挖掘，提升企业大数据的应用价值。



数据中心无损传输与流控架构

本项目充分考虑数据中心网络中高带宽需求的现实挑战，支持超低时延的网络缓存整体控制新型架构，实现链路层和传输层协议机制配合。流量控制是核心挑战，负责将已经注入网络的流量尽可能均匀的分布到整个网络多层交换机的缓存中，从而减少缓存峰值，减少头阻带来的损害；拥塞控制配合流量控制的工作，负责控制源端向网络注入的新流量。我们期待用这个协议替代掉 RDMA 架构的传输和链路层，从而消除 RDMA 对二层优先级流控的依赖，为 RDMA 架构在数据中心的大规模商业集群部署铺平道路。总之，面向数据中心网络，研究数据包无损/微损保证的新型传输控制理论和算法是一项具有巨大应用价值和科学价值的技术。

本项目创新之处：1)第一次系统性的分析了数据中心传输协议混合驱动模式非调度包和调度包的丢包成因；2)创新性的提出了以最小化流量注入为基石降低网络设备缓存占用，进而降低丢包率来改善流完成时间的传输机制和算法；3)创新性的提出了抛弃每个流独立管理探测包额度的传统做法，改为每个源主机统一管理所有流的探测包额度；4)创新性的提出了由发送端与接收端共同协调沟通非调度包占用资源的机制，避免了调度包被非调度包挤占造成的丢包。5)创新性的提出了交换机辅助和长距离网络等新兴应用场景。



舱室有源降噪技术

针对汽车舱室，2000 年左右就已经有了针对发动机低频谐波噪声控制的成熟商业产品。同时期，国外研究单位就已针对道路行驶的宽带噪声开展应用研究，2019 年起陆续有商业产品发布。上述情况说明了舱室有源降噪的可行性，面向应用的挑战是针对人员移动，在双耳处实现高降噪量的同时尽量不影响其它位置处的声场。

舱室有源降噪的应用涉及次级源配置、控制策略设计、误差信号传感、参考信号拾取、数字信号处理硬件、自适应算法等多个方面。具体实施时，需要针对特定的场景，分析物理极限，根据系统复杂度和降噪性能要求，在各方面进行系统化的优化设计。

舱室有源降噪技术可应用在航天航空机舱、潜艇舰船舱室、火车车厢、车辆座舱等多种载人舱室中，在国防建设和经济发展两方面都有着广阔的应用前景。



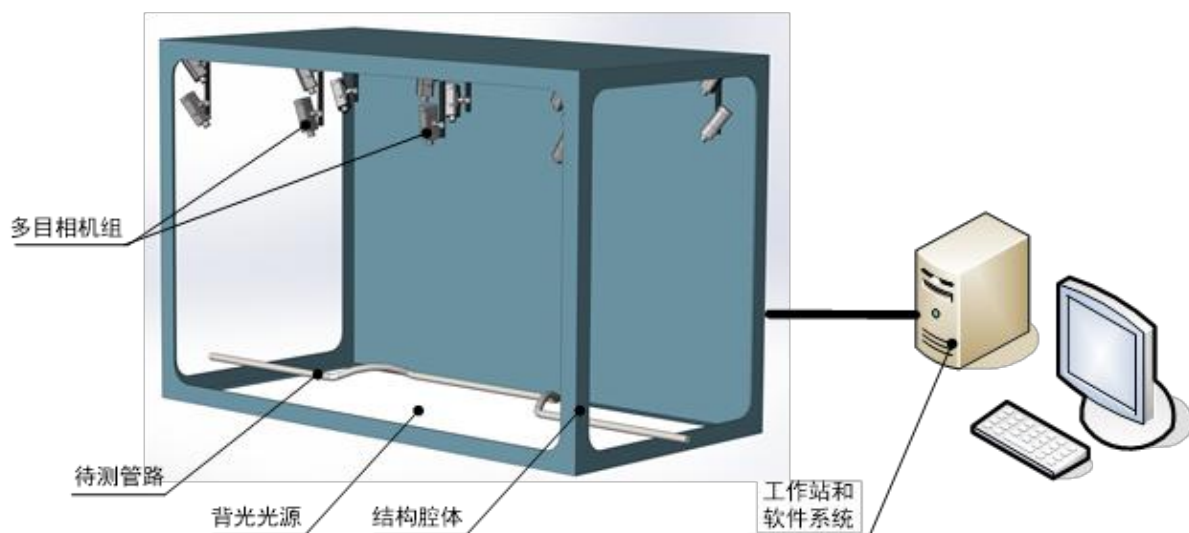
面向高端智能制造的多目视觉测量系统

本项目针对管路非接触快速准确测量难题，对基于多目视觉的管路数字化测量方法的基本原理和实现技术进行了深入研究，研制了原型系统，并进行了应用验证。

关键技术在于：

(1) 基于机器学习的多目相机标定方法。管路测量对精度要求达到毫米级别，而尺寸范围达米级，这就要求测量方法既能保证小尺寸管路的测量精度，同时保证大尺寸管路的测量范围要求及精度。传统的相机标定方法由于标定材料的限制，难以实现大范围标定。本项目采用基于机器学习的多目相机标定方法，通过高精度的三坐标系统和标定板来保证测量空间内的测量精度，利用机器学习的方法对数据参数进行拟合的方法拥有高扩展性，保证大尺寸的管路测量范围下测量精度的均衡与可优化性。

(2) 基于模拟投影的无标记特征匹配。特征匹配是管路三维重建的关键，核堆用管路的表面为光滑的金属材料，这就造成了其表面自然纹理仅含有少量的明显特征。同时由于工程实际中对产品的要求，其表面不允许人工添加标记和散斑。因此，如何解决无标记特征匹配问题，是管路三维重建的一个研究难点。本项目采用对多目相机进行反向标定的方法建立模拟投影矩阵，对特征点进行模拟投影，根据猜点和立体变换的方法对特征点进行匹配。



基于多目机器视觉的管路测量原型系统



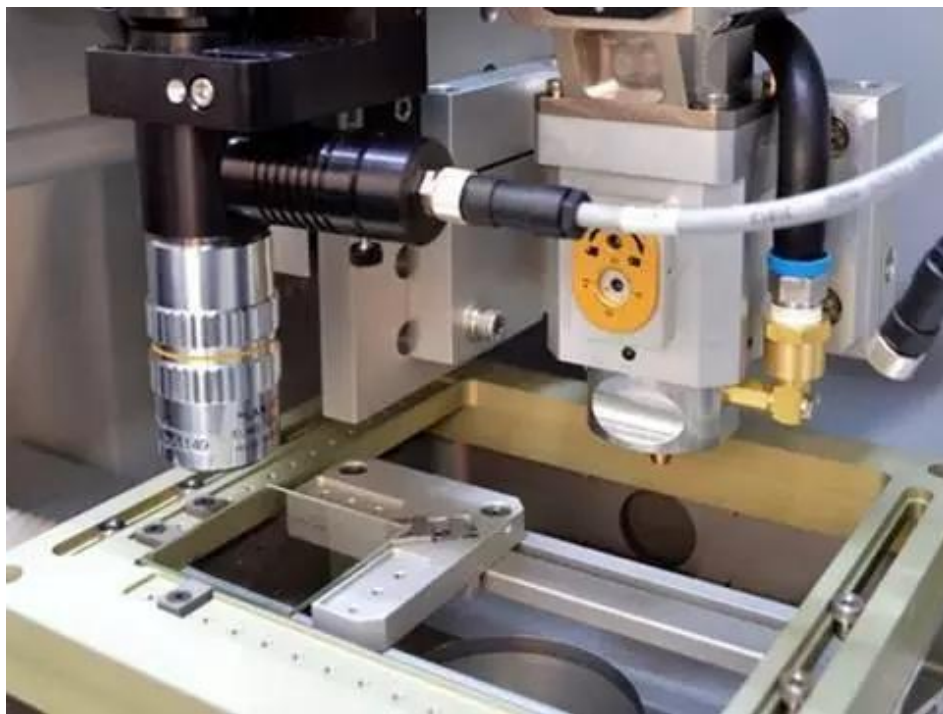
高性能超快激光精密微加工装备

目前团队正积极布局研发工业级超短脉冲激光器，并已经突破了一系列关键技术，自主研发的全波段超短脉冲生成技术已处于国际领先水平，可提供覆盖“可见光-近红外-中红外”的超快激光器，多款产品已获得 ISO9000 质量体系认证以及欧盟 CE 安全资质认证。

团队主要创新成果为掌握从锁模光开关、超快种子源、光纤放大、谐波产生（倍频）到最后组装工艺一整套完整的超快激光技术方案。尤其是团队独创的宽带锁模光开关技术，有效地克服了目前制约超快光纤激光器工业应用的“波段窄”，“结构不紧凑”瓶颈，实现全波段的超快光纤激光产品系列。锁模光开关是超快激光器产生皮秒或者飞秒脉冲的核心功能器件，直接影响众多光纤和固体锁模激光器的输出指标和运行可靠性。目前，商业上的光开关器件大多采用基于半导体的 SESAM 技术，主要掌握在全球少数几个公司（如德国 Batop 公司等）。

团队研究发现三维狄拉克半金属薄膜材料在红外 1-6 微米范围具有宽谱光吸收特性，还具有开关时间大范围可调这个重要优势，是制备高性能中红外脉冲激光器的理想开关材料。

该成果已经在新型锁模激光器上得到技术验证，其高度可调控特性非常适用于智能化工业精密加工设备的研发生产。相关成果入选“2017 中国光学十大进展”。



建筑物开口的有源噪声控制

（一）自然通风隔声窗

团队提出的有源降噪隔声窗，使用了无源和有源相结合的噪声控制技术，无源结构或材料降低中高频噪声，有源降噪系统降低中低频噪声，二者结合降噪效果好。通风结构可以横向划分为多个通风通道，如此所要求的有源降噪系统通道数少，系统复杂度低，并有很好的鲁棒性。

在某大城市快速路旁的高层小区试验结果表明，有源降噪隔声窗的在打开通风通道并开启有源控制系统的情况下，等效于关闭通风通道单层窗户的降噪效果，演示环境室内噪声可从约 50 dBA（通风通道的开口打开，有源控制系统关闭）降低至 40 dBA 以下（通风通道开口打开有源控制系统开启）。

（二）虚拟声屏障

大型开口的虚拟声屏障：使用扬声器阵列、麦克风阵列、控制器构成可以通风透光，但阻隔噪声的“虚拟的”声屏障。

在汕头某变电站的 15 通道虚拟声屏障系统成功降低了变压器噪声的低频嗡嗡声，虚拟声屏障系统起到了原有窗户的隔声作用，但提供了通风散热的开口，起到了“虚拟屏障”的作用。



真空射频连接器的国产化及其应用

真空射频连接器采用陶瓷和金属封接，由于陶瓷介电常数较大，往往存在阻抗匹配不好的问题，射频信号的传输质量不高，带宽窄，损耗大，给真空射频连接器的使用带来了很大的限制。项目团队联合相关单位，依据射频理论，采用计算机仿真技术，对内部结构做了阻抗匹配和优化，大幅扩展了真空射频连接器的带宽并降低了对传输信号的损耗，突破了真空射频连接器的应用瓶颈。

研制的真空连接器具有以下特点：

- (1) 广泛的工作温度，从 1.5K~920K，可用于太空和高温环境；
- (2) 极低的真空漏率， $\leq 5 \times 10^{-13} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ ，适用于超高真空应用；
- (3) 高达 K 波段的频率范围，DC~18GHz，突破以往的使用限制；
- (4) 低的插入损耗， $S_{21} < -1\text{dB}$ ，在使用频段内传输高质量信号。

该器件尤其适用于涉及真空、极端使用温度且有提取直流和射频信号需求的装置，如科研院所的各种粒子加速器，产业及定制化的真空设备、航天航空器件等，具有广泛的应用场景。随着我国真空射频领域技术的发展，对真空连机器的需求是持续性的，规模化的市场应用存在且不断上升，国内目前每年需求量正呈增长趋势。

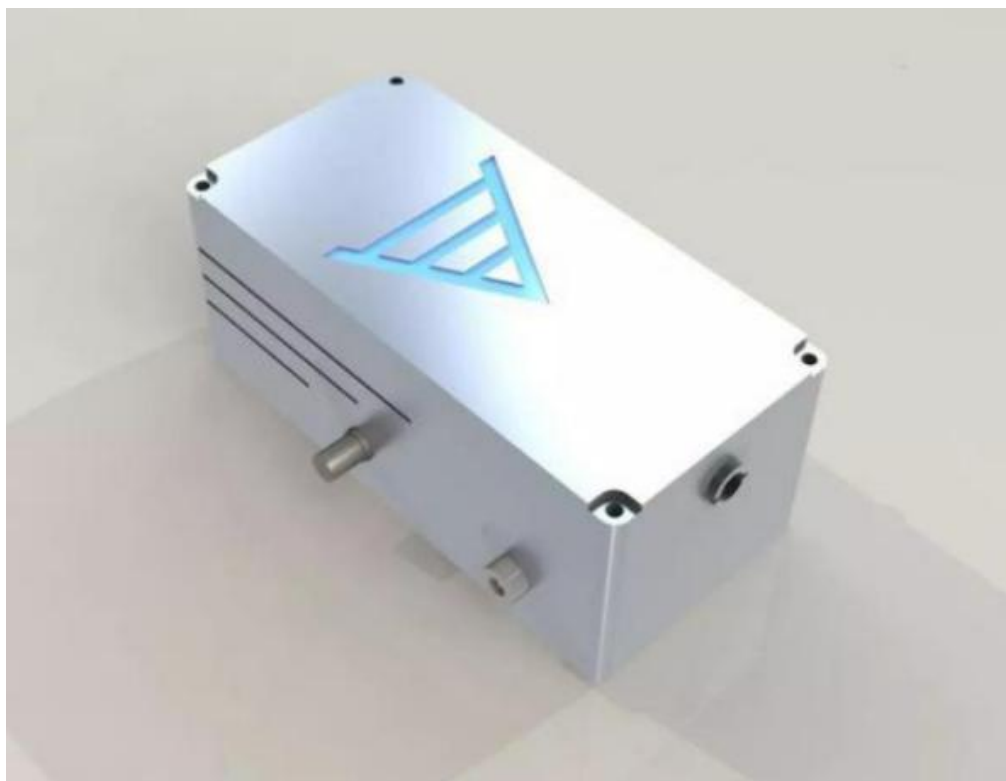


新型超晶格激光器系统

可见光全固态激光器是当前国际上关注的热点领域，在科学研究、激光医学与医疗、工业加工、激光显示、娱乐、能源、环境等领域具有广阔的应用前景。

团队研究了基于准位相匹配原理而建立的光学超晶格晶体材料，并由此开发出小型全固态紫外-绿、红-蓝双波长、红绿蓝三基色，红黄绿三色和红黄绿蓝四色激光器。这些成果是从基础研究到新材料设计、制备和新器件研制的研究成果，是自准晶发现以来，在非线性光学与新型激光器件中有关准晶，准周期材料的最有价值与应用前景的成果。这些成果均具有自主知识产权，已申请中美两国相关专利十余项。

基于“介电体超晶格”制备技术，开发了一套适合量产的超晶格材料制备工艺。超晶格材料在激光非线性波长变换、量子纠缠源产生、声学滤波换能等领域有重要应用。以超晶格材料为核心材料，开发出红光、绿光、蓝光、准白光、钠黄光、皮秒锁模以及中红外等多种新型激光器。



基于计算机视觉的发泡塑料智能制造技术

本项目提供的“IXPE 发泡塑料的精准智造解决方案”实现了 IXPE 发泡塑料生产过程中的高精度、低延时的自动纠偏控制。我们分别设计了“慧眼”和“智脑”两大模块，实现了自动化片材位置检测的“感知智能”和智能化边缘偏差纠正的“决策智能”，节省了 90% 的人力，材料控制误差从 5 厘米下降到 5 毫米，原材料利用率从 87% 上升至 94%，进而提升实际综合产值约 200 万元/月。

创新性体现在“感知”、“决策”、“控制”三个层面，通过智能化算法形成自动控制闭环。具体地：在感知层面上，利用摄像头捕捉熔炉中片材的实时处理图像，进而通过计算机视觉算法分析片材的生产状态；在决策层面上，根据人工控制模式下系统的历史运行大数据，通过大数据挖掘以及深度神经网络分析机器控制参数和成品质量的内在关联，提供优化生产参数的决策方案；在控制层面上，建设自动控制平台以取代人工手动控制，实时智能调整电机转速，保障生产安全和效率。

本项目提供的案例能够对塑料、纺织等类似产品的精准智造提供借鉴，示范效应将辐射到相关领域的制造行业。



工业互联网“赋能”精准智能制造

基于计算机视觉的高精度实时纠偏系统

- 助力智能制造2025
- 「慧眼」「智脑」双核驱动
- 「减员」「增效」两大目标
- 人力成本节约90%
- 材料利用率提升7%

南京大學 NANJING UNIVERSITY

Dislab distributed computing laboratory

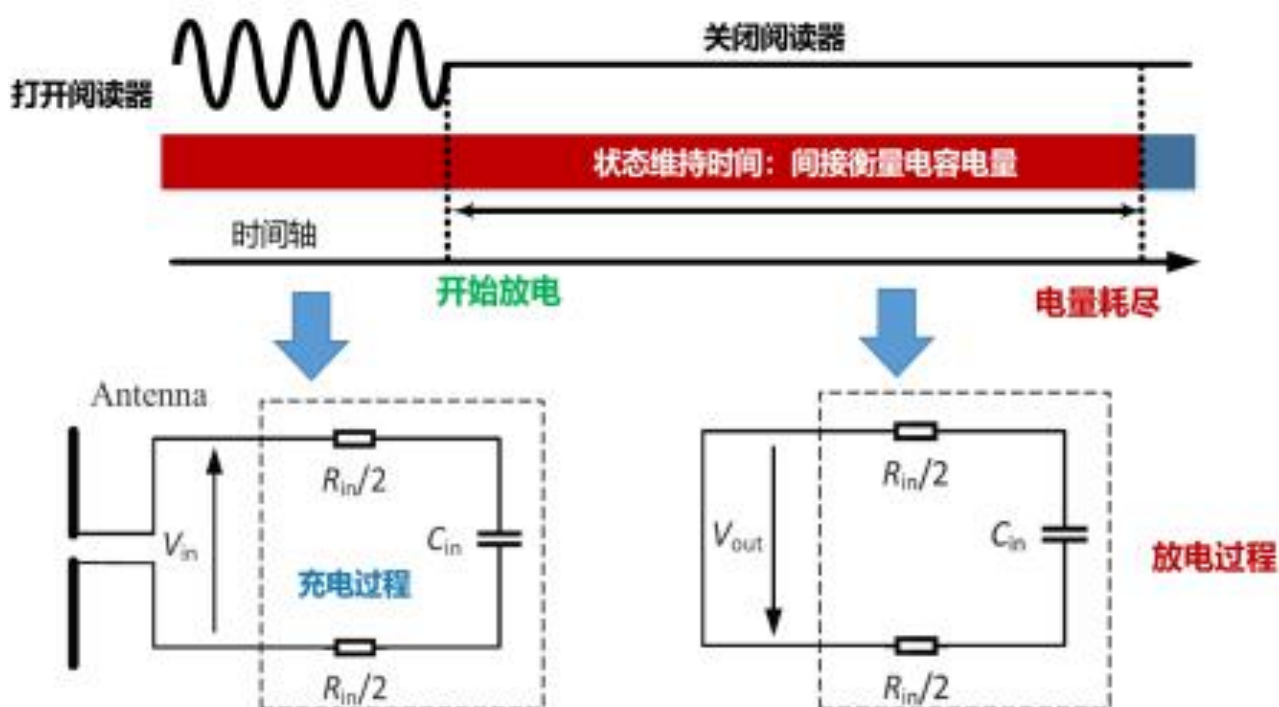


基于电能指纹的 RFID 标签防伪技术

为了克服现有 RFID 标签认证困难的问题，我们提出一种 RFID 电能标签指纹，用以验证标签是否被伪造。具体而言，RFID 系统通常包括 RFID 阅读器、天线和 RFID 标签，其中，无源 RFID 标签没有任何内置电源。阅读器通过天线发射电磁波与标签通信。无源 RFID 标签从阅读器发射的电磁波中汲取能量，保障可靠和连续的运行，这就要求标签芯片能够存储电能，这相当于电阻-电容 (RC) 充电电路。

该系统利用了伪造标签和合法标签的芯片电容存在的差异；通过度量这种差异，即可辨别标签真伪。该工作创新性地设计一种利用标签内存数据在断电情况下的持续时间估算标签电容存储电荷的方法，从而间接推断标签之间电容的差异性。该方法可在所有符合 ISO 标准的商用 RFID 设备上使用，不需要添加任何额外设备以及改变硬件，且识别精度高达 99.4%，远高于现有指纹系统，拥有重要的学术价值与广阔的市场前景。

系统与 ISO 标准兼容，环境鲁棒性强，标签认证精度高。市场应用前景是商品防伪、移动支付、身份识别和 RFID 防盗系统。

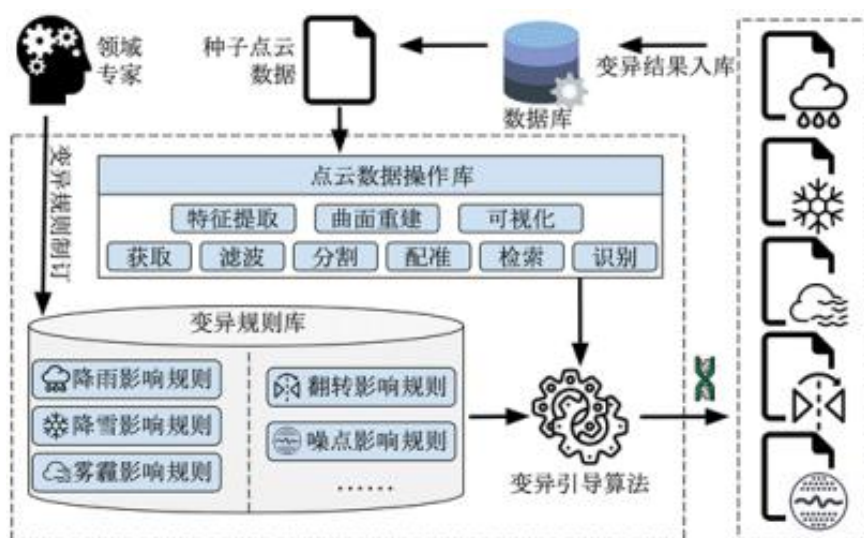


基于雷达数据扩增的自动驾驶系统测试技术

本项目涉及一种面向雷达点云数据的自动驾驶测试数据扩增与优化方法。该方法首先由领域专家定义点云数据的变异规则（基本变换与仿射变换）后，将变异规则通过点云操作库自动化地应用到种子点云数据上，从而获得增强激光雷达点云数据集，并对目标检测模型进行测试。在此基础上使用某种选择方法选择出更容易触发模型错误的数据进行重训练，最后获得优化后的目标检测模型，该模型对一些恶劣天气、路况更加鲁棒。本方法目的在于解决基于雷达的自动驾驶系统的输入域极其庞大，内部实现逻辑可解释性较差的问题。该方法针对 3D 目标检测任务能够检测模型推理错误，并能够利用少量资源发现大量边界测试用例，最终提升目标检测模型鲁棒性。

技术优势：本技术理论体系系统化，扩增规则具有可靠的理论依据，雷达扩增通过仿真不同运行环境下的雷达点云数据节省了车辆企业收集大量数据的成本，且能发现更易触发错误的边界用例。雷达扩增优化技术提升了自动驾驶在边界场景下的目标检测准确率，提升了检测模型的鲁棒性。

激光雷达融合高精地图方案可有效弥补视觉方案的缺陷，其性能优势十分贴合整车厂追求高阶自动驾驶的需求。激光雷达整体市场正在迎来高速发展，预计 2025 年全球市场规模将达到 135.4 亿美元，但我们看到其价格十分昂贵，采集数据费时费力，且难以覆盖多数边界用例，故我们的技术前景十分可期。



大型机械自动驾驶控制软件

目前工业车辆（AGV、APM 叉车）导航方式可以划分为：磁带导航、光学导航、激光导航、惯性引导。其中以磁条（磁钉）导航式为主，但其线路固定不灵活，磁条遇到液体、破损、遮挡无法识别时，则会导致整条线路运行中断。激光导航是目前新的 AGV 自动导航较多的技术，但现场若环境产生遮挡变化、激光头污损会导致故障、维护成本较大。无线电定位技术方案，目前最先进的室内定位技术为 UWB 定位技术，但纯无线电定位技术方案，定位精度、定位数据刷新率等不太能满足 AGV 控制需求，存在技术局限性，无法成熟应用。整体来看，目前的工业车辆尚未实现完全可靠的智能导航控制，每种控制技术都存在一定的局限性，为智能制造和现代物流中的各种车辆提供自主导航、自主驾驶、安全保障等功能，实现“无轨式”自由行走的 AGV，市场存在强烈需求，迫切期待有通用、智能的导航方案。

本项目涉及的大型机械自动驾驶控制软件采用精确定位、激光扫描和智能视觉等核心技术，实现多模态融合的室内外连续稳定的精确定位。其中精确定位+SLAM 实现精确位置感知、视觉+激光扫描用来验证地图和防撞；针对重型车辆的形式和作业提醒，采集驱动系统的反馈数据推算负载状态，通过智能学习建立速度控制模型，匹配加减速度和转弯速度，在保障安全、保护车辆部件的情况下，获取最高的行驶效率。

团队自主研发的大型机械自动驾驶控制软件，采用高精度精确定位、激光扫描和智能视觉等核心技术，实现多模态融合的室内外连续稳定的精确定位，可以满足各种复杂环境的重大型特种车辆的定位导航、并能自我优化，成本降低高达 50%，并且工程部署简单，只要在关键位置部署定位基站即可。



港机智能远控自动化系统

团队多年来致力于“精准定位”和“智能视觉”技术的研发，运用人工智能实现技术革新，通过“镭视星”三者融合做精确识别和位置判定，运用“柔性控制”实现港机设备的智能远控自动化，包括场桥自动化、岸桥半自动、集卡定位和调度，在 AIoT+5G 上实现港机设备自动化之上的智能 ECS 系统，以实时管控、智能派工和调度算法支持各类 TOS。同时集成港机控制、设备运维、环境安全、堆场管理、作业展示等子系统，配合 ECS，实现 X-TOS 平台，为码头提供数字化一站式的业务管理和展示服务，并在此基础上进行数据挖掘，提供作业新方式的决策支持。

竞争优势分析：

和港机制造商、自动化集成商、子系统提供商等各类友商相比，团队的竞争优势在于核心技术、团队立项和方案完整性三个方面。其中：

- 1、核心技术包括自主研发的精准定位+智能视觉，多模智能检测和融合控制模型，边云结合的自主学习自优化算法等；
- 2、核心团队拥有 20 多年港口自动化经验，还有南大强大的人工智能专家队伍，另外这么多年积累的专业的港口自动化交付队伍；
- 3、提供全栈方案，包括港口垂直运输的场桥远控自动化、岸桥远控半自动，港口水平运输的集卡定位，港口设备管控系统和调度派工软件中台等。



智能无人锁钮机系统

智能无人锁钮机系统作为一个设备单元,由 4-6 台设备单元构成自动化锁钮拆装通道(两侧安装);由中控系统(CCS)接受码头作业系统的业务信息,进行集卡通行管理与拆装锁钮的作业任务管理;CCS 与设备单元的控制系統(ECS)实现业务与作业任务的指令转换;由 ECS 对设备单元的执行器进行控制,完成自动拆装锁、锁钮出入库、锁钮人工干预等作业任务。智能无人锁钮机系统中搭载了大量人工智能的算法,通过视觉实现目标分析、距离判断、柔性动作等功能。

技术优势:智能无人锁钮机系统的研发,意味着码头后续可以实现全自动拆装锁钮作业,仅锁钮从锁箱装盘、换库需人工介入,工人工作量降低高达 95%,其可扩展性可以适应 4 家不同船公司在 1 个通道内同时进行锁钮拆卸及安装工作。码头现场作业中的自动化拆装锁钮系统经过最终的项目实地验证,实现了最初的设计目标,达到了业界先进水平。相比同类产品(目前还很少),本智能无人锁钮机设计完善、功能齐备、环境适应性好,机械电控和智能软件实现了无缝配合。

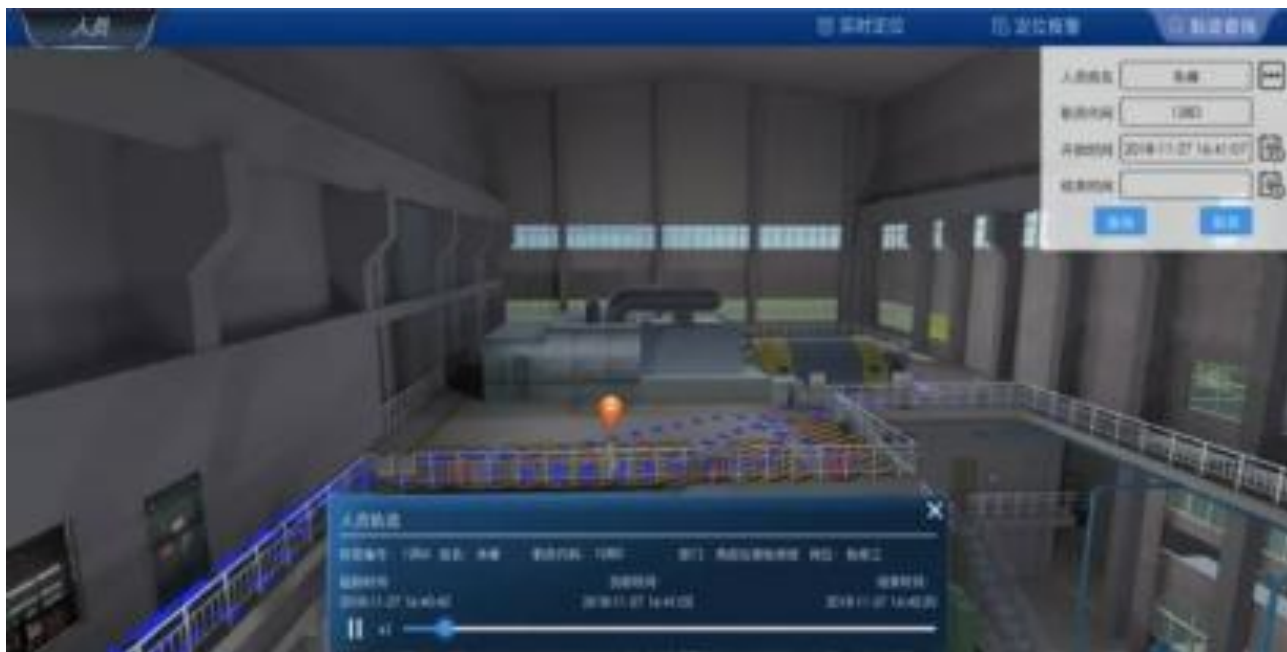
市场前景:全球现有 53 个自动化码头,至少 50 亿的市场规模。传统码头改造提升,全球 720 个码头,锁钮机的市场需求有 920 亿元,加上其他内河和无水港,总体市场规模超过千亿元。



司方无线精确定位系统

团队推出基于超宽频无线电的高精度实时定位系统——司方无线精确定位产品。此产品包含了超高频射频处理和天线设计、纳秒级的嵌入式时序处理、基于神经网络的位置解算、大范围大容量的调度管理等多项软硬件技术，经过2年多的研发和改进，实现了实时精度10厘米、刷新率超过100Hz的成熟产品。

由于采用了团队最新研发的软硬件融合的抗多径干扰设计，加上专门的射频和天线设计，以及支持云端学习的神经网络解算引擎，和国内外同类产品相比，司方无线定位系统具有很高的性价比和易用性，已经被应用到智能工厂、生产运维、柔性导航、隧道管廊、展览博览、港口物流等多个领域和场景，并且广受好评。



全空间智能表面无线通信技术

电磁波智能表面技术 (Reconfigurable Intelligent Surface , 简称 RIS) 是当前无线通信领域研究的关键技术之一 , 具有低成本、低功耗、可规模扩展和部署等优点 , 已被列入国家 6G 发展规划白皮书。该技术通过在无线传播环境中部署由亚波长单元结构组成的可编程超表面 , 实现信号传播的动态调控、增强及干扰抑制 , 最终实现动态信号覆盖增强、优化无线网络等。

目前应用于无线通信系统的智能表面均为反射型或透射型 , 只能对背向或前向的半空间提供信号覆盖、无线传输 , 不能做到全空间信号覆盖和智能传输。这不仅导致处于另外半空间的用户无法得到有效信号覆盖 , 同时也浪费了另外一半的空间资源。

团队提出了智能全向超表面 (Intelligent programmable omni-metasurface) 新概念 , 可在同一频率、同一极化通道内集成透射、反射电磁波动态调控功能(图 1)。该超表面由透射-反射控制层和相位调控层构成 , 通过切换透射-反射控制层中有源器件的工作状态可决定超表面单元以透射模式或反射模式调控电磁波 , 通过切换相位调控层内有源器件的工作状态可使超表面在对应工作模式下实现动态相位调制。在此基础上 , 通过联合调控两层结构 , 可使超表面分别工作为反射、透射和全空间模式(同时实现反射和透射波束控制) (图 2) , 从而主动调节适应背向半空间、前向半空间、或全空间内的无线通信用户需求。

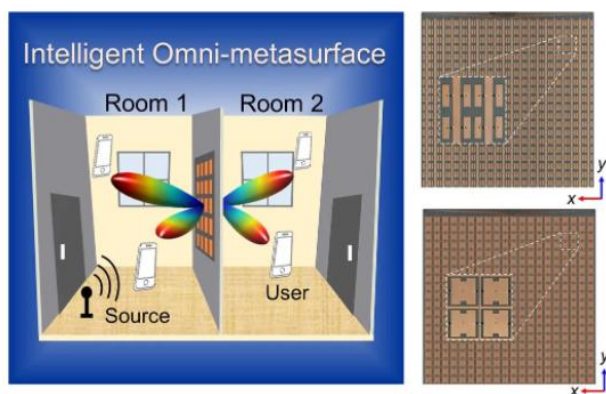


图1：全空间智能表面辅助无线通信系统；右：相位调控层和透射-反射控制层。

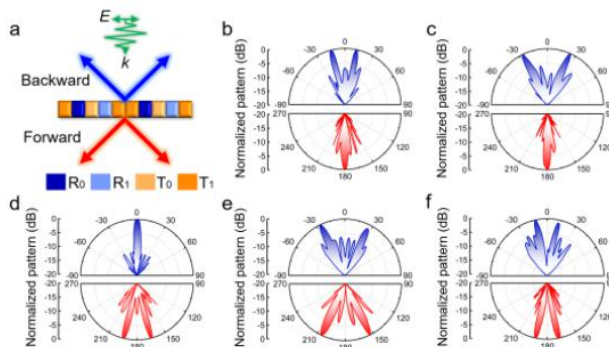


图2：同时在前向空间和背向空间动态生成相同/不同波束实验测试结果

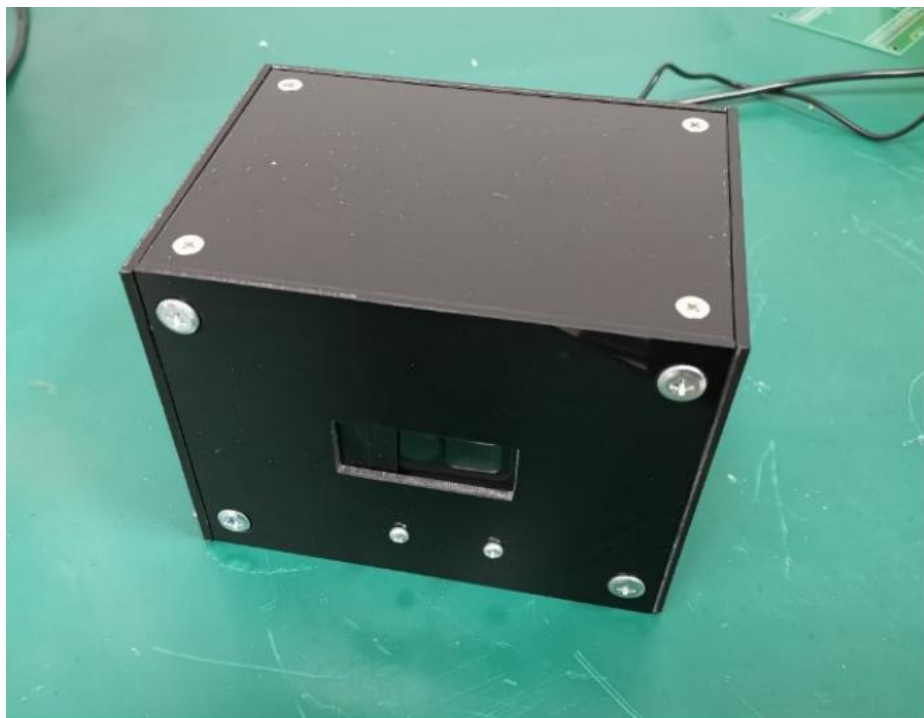


面阵激光三维成像雷达技术

本系统通过 TOF (Time of Flight , 飞行时间) 三维成像技术测量目标的近场空间光散射强度及分布场信息。成像系统包含三大功能模块：(1) 扇形激光照明模块，(2) 回波信号提取与解调模块，(3) 数字图像恢复与处理模块。利用虚拟像素激光三维成像原理，采用面阵编码成像光源，提高探测器的使用效率，可适应极高相对运动速度的目标三维重建，自适应构建高速目标的三维模型。目前，该系统已经通过车载实验，可高速获得场景三维数据。

车载激光雷达,具有不可替代的优势，激光亮度高、单色性好、射束发散角小、探测精度高、分辨能力强，可以获得被测目标的丰富的三维信息，可以方便地移植到多种无人、载人平台上；与传统视觉成像技术相比，激光雷达不易受到外部环境干扰，稳定性强。预计市场应用：无人车、无人机自动避障，自动驾驶领域等。

整形外科治疗，范围涉及体表皮肤、肌肉及骨骼等，三维扫描技术具有非接触、被测物无形变、重复性好及测量精度高等特点，满足对人体的形态学测量精度高的需求，更适用于整形外科人体形态的建模及三维数据测量。预计市场应用：医学模型的制造和评估、植入材料定制、颅颌面畸形的改造及整形美容效果的评估等。



高效率 Micro-LED 芯片显示与驱动技术

目前，Micro-LED 芯片应用于新型显示技术主要存在以下两个痛点问题：1）Micro-LED 芯片的效率问题；2）Micro-LED 芯片的驱动问题。

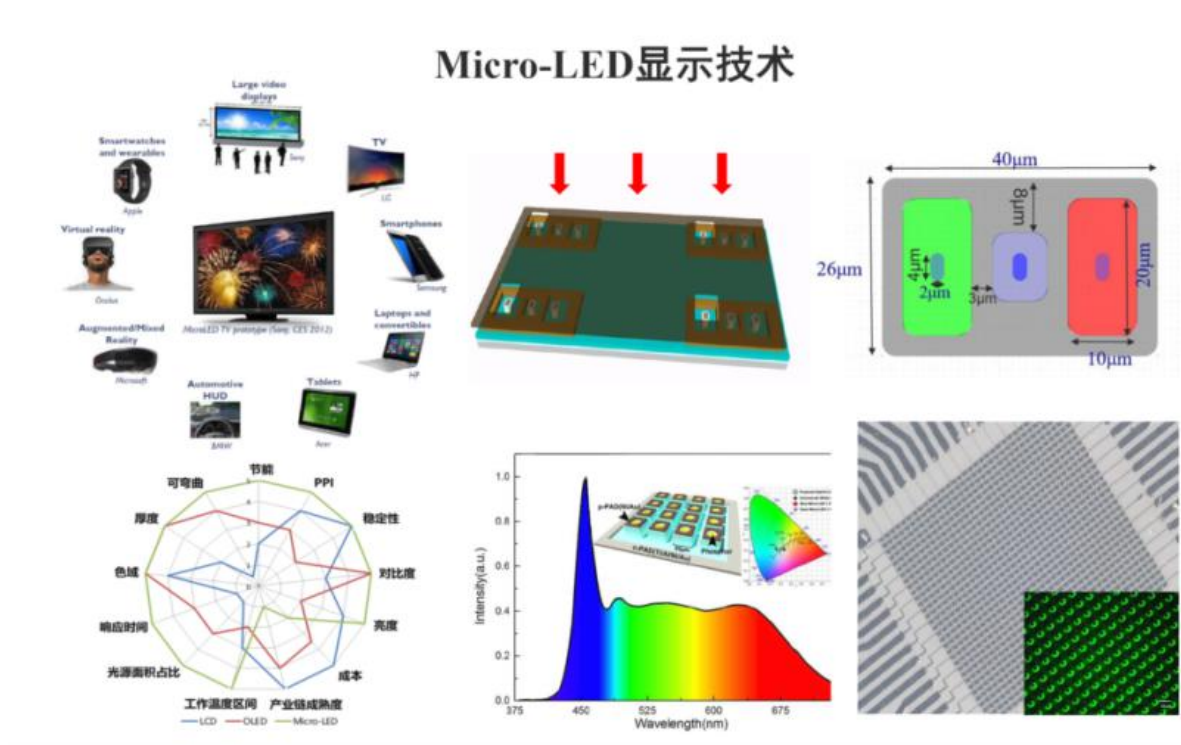
针对以上 Micro-LED 芯片的核心痛点问题，主要的解决方案是：

（1）针对台面刻蚀引入的材料界面进行多种修复及钝化技术处理，从而降低材料界面缺陷态，能够最大限度抑制 Micro-LED 芯片的效率下降问题；

（2）在传统吸收再发射的物理机制中通过引入 Micro-LED 芯片发光材料与光转换介质间的近距强耦合通道进行直接能量转换，利用复合多通道能量转换方式提升混合芯片的能量转换效率；

（3）将二维过渡金属硫化物 MoS₂ TFT 在高分辨率氮化镓基 Micro-LED 芯片阵列上进行三维单片集成，利用二维单晶二硫化钼材料卓越的迁移率能力，在较低电压下完成对不同尺寸的 Micro-LED 芯片工作驱动，从而降低整个 Micro-LED 芯片阵列的功耗。

Micro-LED 显示技术是业内最为看好的新一代高品质显示技术，应用前景十分广泛，未来有望在可穿戴/消费电子产品、数字高清显示、车载显示、虚拟/增强现实等多种不同应用场景实现大规模应用。



面向显示的高光效、长寿命 Micro-LED 制备关键技术

本项目旨在研究高可靠性、高良率的侧壁保护和表面处理技术，掌握高光效、可产业化的 Micro-LED 芯片制备技术，并结合配套的驱动显示芯片开发，实现整套基于 Micro-LED 显示技术的可行性转化方案，为新一代显示技术产业提供工业中间产品。

本项目的创新点：1) 基于蓝宝石、硅和氮化镓衬底，实现高效率蓝/绿/红光 Micro-LED 芯片。2) 基于仿真和实验优化，利用 GaN 同质衬底外延技术和钝化修复技术获取高效率显示的 Micro-LED 芯片及阵列。

本项目已在部分关键技术上取得先进性指标：

基于 LED 芯片的先进性指标：

在 Micro-LED 外延技术方面，已实现 GaN 外延薄膜 002/102 面半高宽可 $<180\text{arcsec}$ ，4 寸外延片 particle 数量低于 30 颗，460nm 的蓝光波长 STD 约为 1.8nm，520nm 的绿光波长 STD 约为 1.9nm，产品指标达到国际先进水平。

Micro-LED 器件的先进性指标：

(1) 南京大学在“973”和国家重点研发计划的支持下，在高效率 LED 器件方面，已实现光效超过 200lm/W 的白光 LED 芯片，产品指标达到国际先进水平。

(2) 在 Micro-LED 器件方面，研制出混合结构白光 LED 器件，获得显色指数大于 70，色温涵盖 2600~6600K 的高效率白光 LED 器件。

(3) 在非/半极性面 LED 方面，获得量子效率达到 52% 的蓝光半极性面 LED，产品指标达到国际先进水平。

(4) 基于蓝宝石衬底的 Micro-LED 芯片，已制备 PPI 大于 1000 的单色显色芯片。

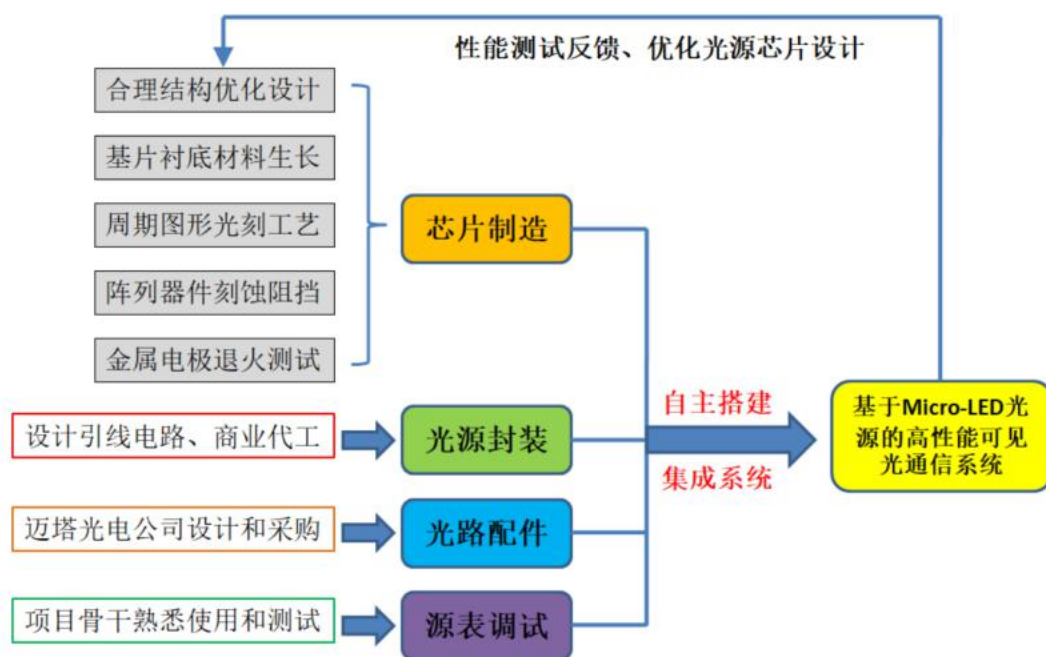


基于 Micro-LED 光源的高性能可见光通信系统

为了获得高性能的可见光通信技术，本项目创造性的引入高能效的 Micro-LED 光源，利用先进的微纳加工技术结合系统级封装手段集成制备 Micro-LED 光源，并自主搭建相关可见光通信的测试系统。

创新性：（1）自主搭建高性能的可见光通信测试系统；（2）不断设计和优化 Micro-LED 的芯片结构、使得可见光通信测试得到的调制带宽大幅度提升和数据传输速度更快。

将 Micro-LED 光源应用于 VLC 技术在国际上还处于初步探索阶段，以Ⅲ族氮化物为基础的 Micro-LED 作为 VLC 光源，其核心优势在于两个方面：1）新的频谱资源。以Ⅲ族氮化物为基础的 Micro-LED 就特别适合作为 VLC 光源，通过调节有源区内的三元合金组分含量，可以实现发光波长从 380nm-600nm 连续可调，搭配荧光材料能够实现白光照明，同时还能承载光通信数据。此外，Micro-LED 还具备效率高、寿命长、尺寸紧凑、易调制等独特优势。2）高的调制带宽。缩小器件尺寸在提高 LED 调制带宽方面具有显著优势。



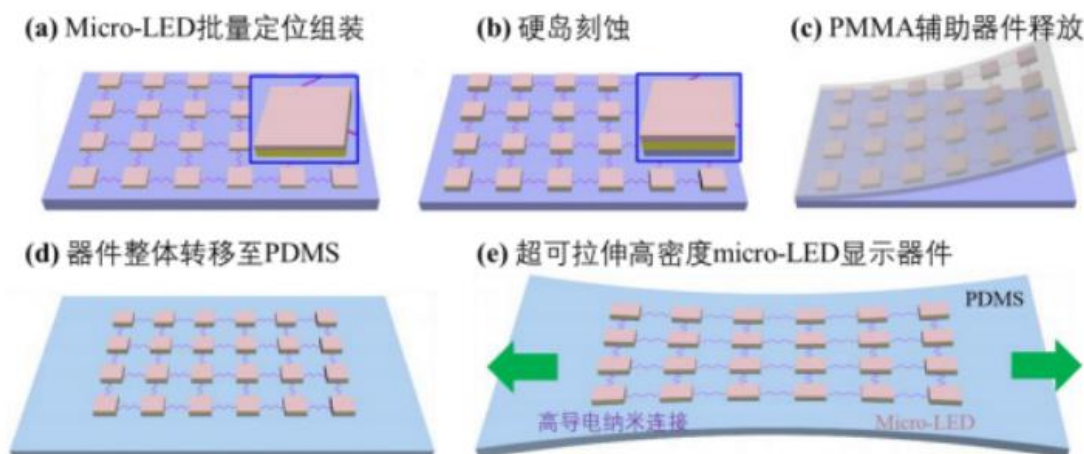
高性能可见光通信系统搭建流程



超可拉伸 micro-LED 显示集成应用

本项目立足于国家和企业对柔性可拉伸显示电子器件研发的重大需求，针对大面积、高密度、可拉伸 micro-LED 显示器件集成制备的关键核心技术难题，基于自主开发的 IPSLS 面内硅纳米线生长技术，借助低温合金化工艺及大面积器件转移工艺，探索自定位超高密度可拉伸 micro-LED 的批量制备技术。主要实施内容将包括以下 3 个方面：（1）建立硅纳米线沟道及可拉伸高导电连接硅纳米线弹簧结构的可靠规模定位集成技术。（2）制备高性能晶硅纳米线场效应晶体管（FET）器件，实现纳米线 FET 器件自定位精准集成及可拉伸导电沟道可靠连接。（3）展示超可拉伸 micro-LED 器件的高密度集成应用。

课题组在硅纳米线的精控生长和调控方面积累了丰富的研究经验，并具有稳定制备高性能 FET 器件的先进工艺技术，结合近期在超高密度集成的可拉伸器件连接和批量、阵列化可拉伸 FET 器件制备的技术优势，可为项目后续超高密度可拉伸 micro-LED 显示技术的开发提供了良好的材料及器件基础。且长期与国内相关领域的著名企业深度合作，以创新为研究目标，以产业应用为驱动导向，始终围绕重点解决产业中的实际关键核心技术难题，因此本项目中的可拉伸显示技术具有极大的市场价值和应用前景。



超高密度可拉伸 micro-LED 显示集成制备思路



MicroLED 巨量转移及成像光度和色度检测技术

单个像素和亚像素级别的自动空间成像光度计和色度计及自动分析软件是 microLED 研究机构和制造商必不可少的检测工具，本项目提出的 MicroLED 巨量转移及成像光度和色度检测技术解决了我国的这一短板。

已有一款自主研发的成像光度和色度计系统样机产品正在相关 MicroLED 实验室及制造厂商进行试验测试。经一年多我们对 MicroLED 相关产生进行成像光度和色度检测情况来看，该款自主研发的成像光度和色度计系统在空间分辨、检测精度及稳定性等综合性能可以与欧美、日韩几家主要从事 MicroLED 的检测和矫正设备厂商（如 Radiant Vision Systems 等）生产的光度和色度计系统相媲美。

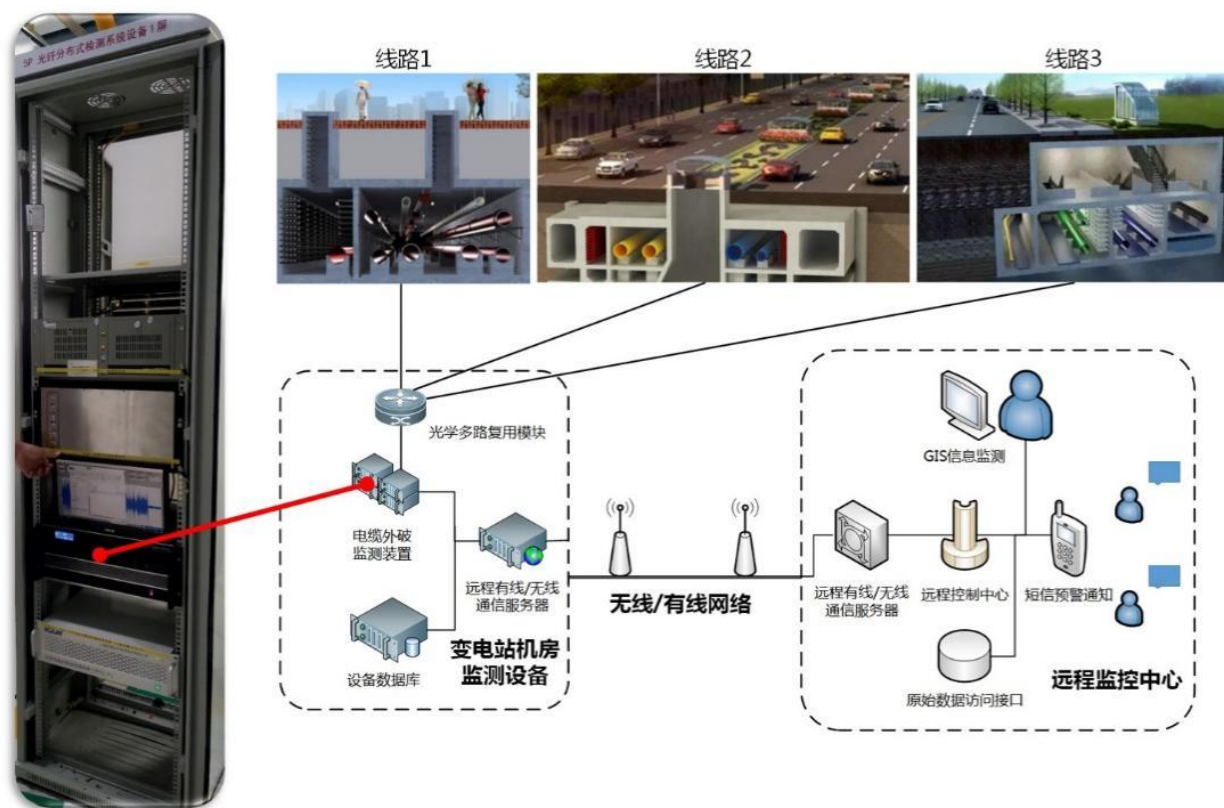
基于团队已掌握快速温控、微像素成像及自动色度标定技术，团队搭建的自主研发的成像光度和色度计样机系统除了能满足本实验室人员对研究微纳器件的光致发光（PL）测试需要外，也正在与相关 MicroLED 实验室及制造厂商进行市场推广。另外，团队还基于前期在磁场驱动微纳器件自组装方面的研究成果和基础，在 MicroLED 巨量转移技术知识产权方面进行积极布局。



基于多参量分布式光纤传感的电力设施在线监测技术

随着我国社会经济的迅速发展，各领域对于电力的需求量均急剧增加，同时对电力生产、传输的稳定性与可靠性提出了更高要求。在线监测电力设施的健康状况，及时发现和处理故障隐患，确保电网的安全稳定运行已成为迫切需求。如果能够在潜在威胁发生的早期及时发现并进行干预，可以有效降低灾害造成的损失。因此，对电力设施进行全生命周期的安全健康在线监测、及时发现故障并发出预警尤为重要。

由于输电线路、发电机、变压器等电力设施运行状态的复杂性，仅通过监测个别物理量的变化难以准确判断其运行状态，故需结合多个物理量的变化来实现对电力设施与装备的运行状态进行综合评估。为此，本项目拟基于多参量光时域反射传感系统（M-OTDR）实现监测系统，并开发相应的信号分析软件，可以同步检测瑞利散射以及布里渊散射信号，通过对被测光纤各点的温度、应力以及振动的同步测量，对被测光缆的运行状态进行评估。为了实现上述目标，需针对性地开展以下研究工作，具体技术方案包括：（1）单源同构多参量分布式光纤传感技术；（2）基于既有光缆资源的非约束式泛在传感网络实现方法；（3）在役电力设施全生命周期性态科学评估与风险智能诊断。

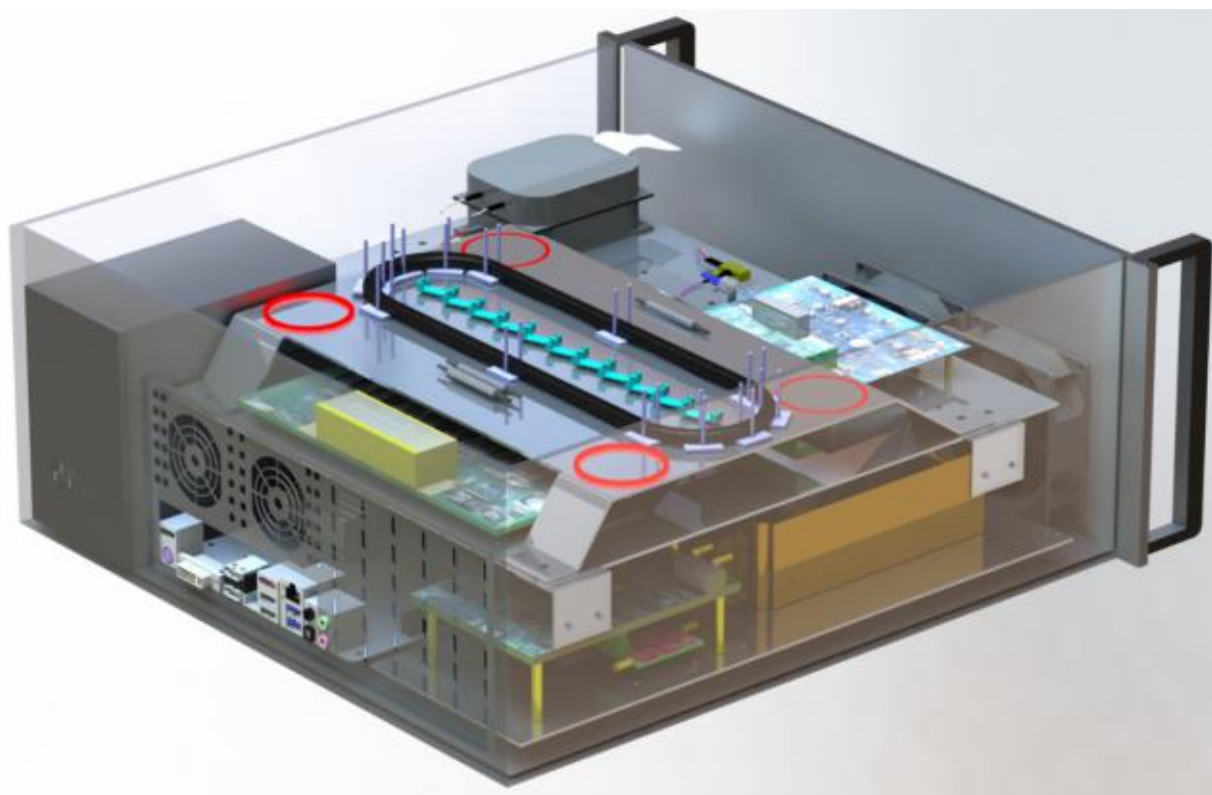


高分辨率分布式形变感测仪

本项目基于自主研发的非线性扫频校正算法，实现对光纤沿线散射信息的高空间分辨率测量。基于此技术，可为形变测量的实现提供高密度的参考信号。通过对多次测量信号进行相关性分析，并对于光纤不同位置形变造成的信号点错位进行补偿，实现高精度的应变分布式测量。从而实现同时具备高空间分辨率和高应变测量精度的分布式形变感测仪。

项目的关键技术在于：1）基于时间尺度因子和光路增频的非线性扫频校正技术；2）基于相关性评估的形变错位补偿方法。

本项目的研发成果应用范围十分广泛，在大尺度镜头、飞机、卫星等的表面变形测量，在仿生机械臂、医疗导管等的姿态测量，在桥梁、边坡、基坑等大尺度地质体的实验室模型分析等方面具有良好的推广前景和广泛的应用价值。按照市场售价 60 万元/台计，仅地质体的实验室模型分析一个场景需求量约为 1000 台以上，产值 6 亿元以上。在其它场景中，亦具有极为广阔的需求，产业化前景十分良好。



功能集成化光纤传感器

传统光纤器件性能单一受限，体积较大。团队在本应用领域主要研究选择合适的纳米材料和微纳加工技术，在光纤上实现尺寸的最小化和功能的集成化，为极端环境的传感应用提供可能的解决方案。

应用案例：

1.最小化光纤探头

全光纤器件，微结构光纤传感器，工作温度可以达到 500 度以上，空间分辨率在 1 微米左右，可以实现高灵敏的空间磁场、声场、温度场、危险气体等参量的检测。用于微孔通道内部检测或者嵌入式监测，容易与纤维集成，易于黏贴与物体表面。

2.光纤远程照明、传像、传能

某些场合易燃易爆、不宜或者无法接入民用电源供电操作，甚至电子设备无法工作的时候，可以使用照明光纤从远程传输自然光照明；也可以用传像光纤远程实时监控传输图像，可以利用传能光纤从外部远程输入光能量，局部光电转换，实现局部供电。

3.柔性可穿戴光纤健康监测

全玻璃光纤+柔性基底封装，柔性基底与皮肤结合性好，防电磁干扰，可用于核磁和射线环境，集成度好，体积小，可以与织物集成，易于远程监控和网络化。可用于人体健康实时检测，脉搏、心跳、眼压、心电等直接测量。可用于体内外理化参数测量。

4.结构健康检测

发展了一系列高稳定性，低温度串扰的光纤传感器用于结构健康检测（位移传感器、压力传感器、液位传感器、流量计等），成熟的成网技术和信号借条技术，可用于点多参量准分布测量，集成度好，体积小，可高温工作，恶劣天气不受影响，抗腐蚀和辐射。

5.自动光学视觉微观信息检测系统

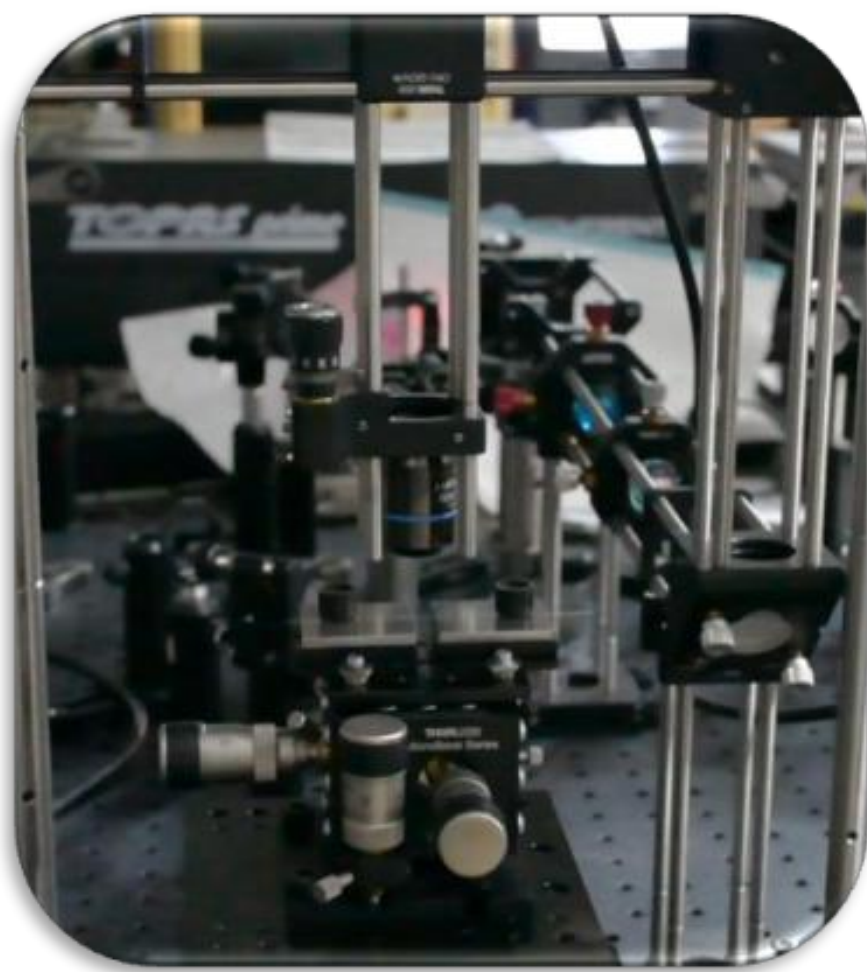
主要应用于在线检测平板类（透明或者不透明，比如手机屏幕、显示面板、电路板等）产品生产过程中的问题。对其显示器件表面包括：划痕、毛刺、裂纹、平整度等信息以及表面微小灰尘有无、位置、大小、形状等信息进行检测。从而实现企业的生产质量和效率的提高。



特种光纤激光加工设备和医用压力传感器

目前市场上主流设备无法实现光纤拉锥的各种性能分析与参数在线无损测量；光纤涂层剥除、光纤切割、光纤拉锥分立多仪器操作。团队重点研发的一体化全自动加工系统基于拥有独立知识产权的超快激光器、精密在线光学检测 and 智能控制等技术，实现了剥、切、磨、熔、检测一体化全自动加工能力，申请多项国内外发明专利，有较强的技术和市场竞争力。

项目成果在通信核心网、数据中心、智能传感和工业物联网等关键场景有着广泛的应用前景，包括 5G/F5G 乃至下一代移动通信、超级计算机、城市数据中心等领域核心光通信器件，特别是光电混合芯片-光纤直连耦合封装等领域，以及智能电网、光纤激光等精密高性能特种光纤器件的大规模、环保、高效、芯片兼容生产领域。相关市场规模达到千亿级别。

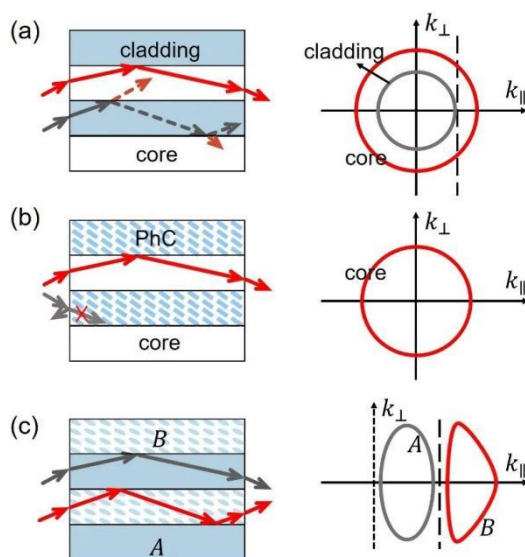


用于波导和光子芯片的无包层超紧凑光子回路

普通介质波导（见图（a））和光子晶体带隙波导（见图（b））都需要低折射率介质或全带隙光子晶体作为包层将光限制在芯层中传播。此外，近年来热门的等离激元波导和拓扑光子学波导的物理机制也都离不开包层。特别是光子芯片中，绝大部分空间都是包层。然而，包层本身并不传输信号，这造成了物理空间上的极大浪费。

南京大学团队在纯电介质系统中提出了一种无需包层的超紧凑波导阵列与光子回路的新原理。他们通过原理性实验成功展示了与空气完美阻抗匹配且具有直角转弯功能的零间距波导阵列，以及沿弯曲路径传播并遍历整个物理空间的无包层光子回路。

研究人员设计了一种特殊的光子晶体（这里简称介质B），其空间色散曲线与普通介质（这里简称介质A）的空间色散曲线在传播方向上完全分开，如图（c）所示。因为动量不匹配，被限制在介质B中的光不能进入介质A，被限制在介质A中的光也不能进入介质B，此时介质A和B都是波导芯层，但同时也可以作为彼此的“有效包层”。通过把这种光子晶体波导与普通介质波导组合起来就形成了无包层的新型波导系统。在这种独特的波导系统中，整个物理空间都可以作为电磁波/光的传输通道，因此可以把空间利用率提升到最高。这项研究成果表明，未来的波导和光子芯片领域或将迎来不需要包层的新时代。



传统波导和无包层波导的工作原理

(a)普通介质光波导，(b)光子晶体波导，(c)无包层波导
右边代表了相应情况的等频率曲线

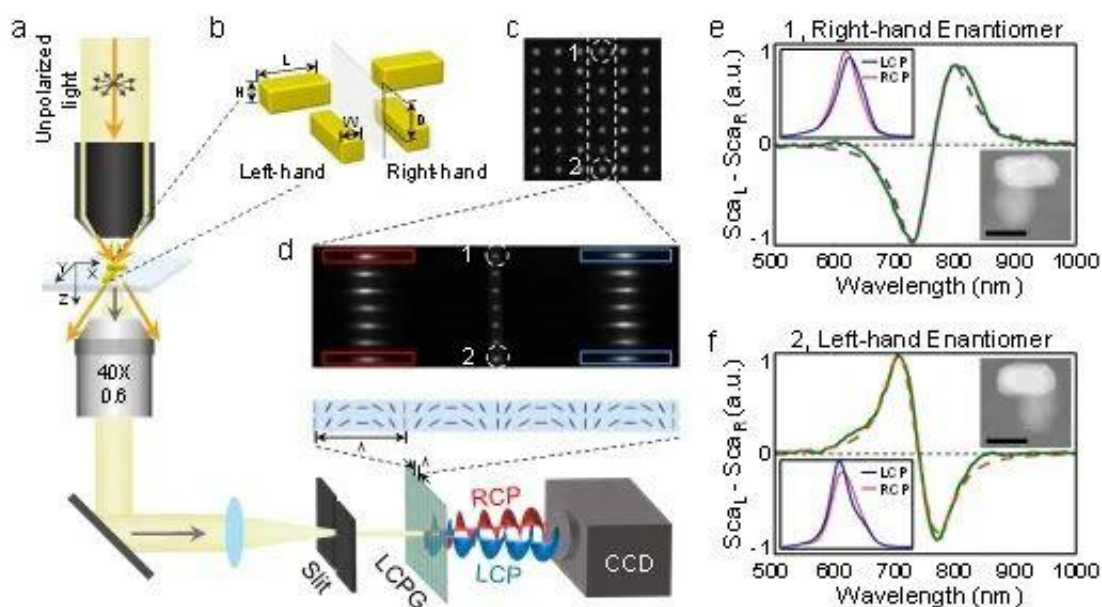


快照式单纳米颗粒 CD 检测技术

微观世界中，分子、纳米颗粒及各类复合纳米结构的空构象决定了它们的功能，但如何原位、实时、可靠的获取这些纳米尺度功能单元的三维结构信息迄今仍是一个技术难题。为此，团队开发并演示了一种新型、快速、简便、可靠的单纳米颗粒圆二色光谱检测手段，为单纳米结构三维空间构象的原位、实时检测提供了新手段。

与传统圆二色光谱测量相比，新方法利用基于液晶光栅特有的精准偏振分光能力将信号光进行分光，通过拍照一次性即可完成离散单纳米颗粒圆二色光谱的测量。该方法可与各类光学成像装置配合，经简单的改装后即可实现单颗粒、乃至单量子点、单分子的偏振光谱测量，解决了传统圆二色谱设备昂贵、操作复杂、速度慢、难以与单颗粒成像装置耦合的难题。

为了验证新型偏振分光成像光谱技术的可靠性，理解其物理含义，建立谱学信息与纳米结构空间构象之间的关联，该工作以垂直耦合的等离激元纳米棒结构为模型样品，利用 Born-Kuhn 模型给出了纳米颗粒散射圆二色谱的解析表达，从理论上证明了对于自然偏振光照明情况下，基于散射信号分光的新圆二色光谱测量方法与传统基于入射光偏振调制的测量方法等价，其信号反映了纳米结构、材料对外场的非定域响应。同时，利用该模型，可将光谱信息与结构参数联系起来，为利用圆二色光谱测量纳米结构的几何参数提供了可能。



基于液晶偏振光栅的圆二色成像光谱测量方法及单个等离激元手性纳米结构的光谱测量结果图

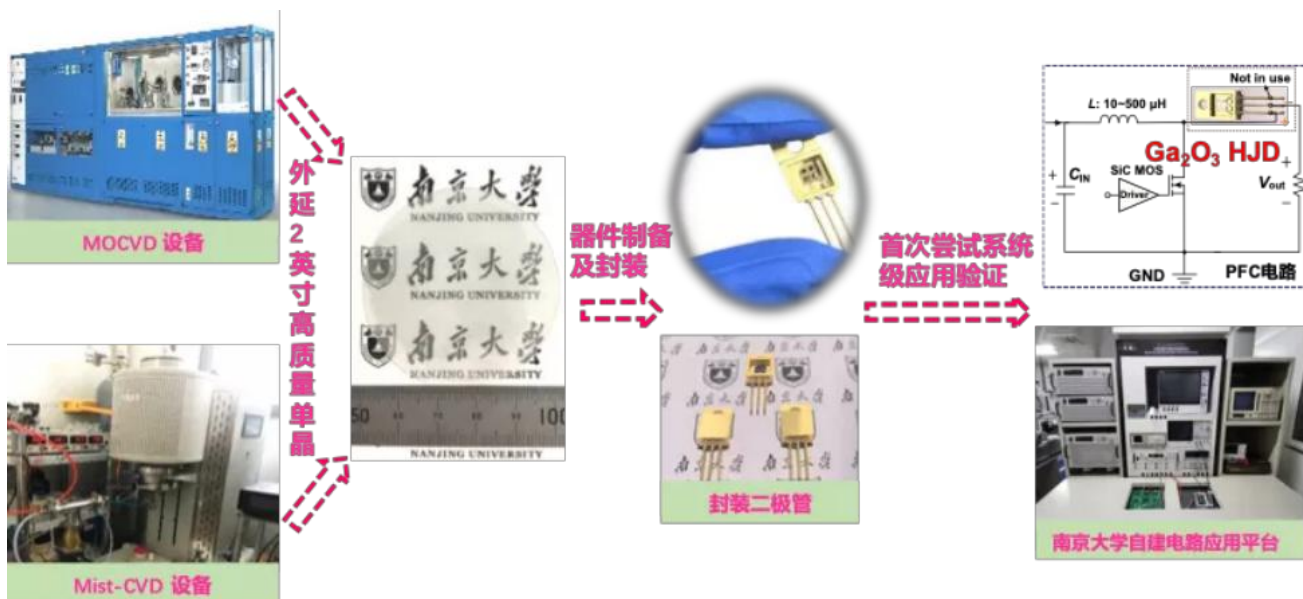


氧化镓功率半导体晶圆及器件制备

随着材料外延和器件制备技术的发展， Ga_2O_3 功率器件在低频、超高压功率电子器件方面将逐步取代 SiC 和 GaN 材料。目前国内氧化镓材料在同样价格下，晶格质量、掺杂浓度可控性、迁移率等指标上难以与国外产品竞争，绝大部分依赖进口，且价格极高，而且氧化镓单晶热导率差，导致器件产生热击穿。

本项目团队针对氧化镓功率半导体的生长特点，创新性地将喷雾法和 CVD 相结合，发展出超声辅助雾化 CVD 法，已申请 10 余项国家发明专利，并已成功开发出专用于氧化镓的 mist-CVD 设备。发展创新的雾化输运 CVD 外延技术开发大尺寸、低成本和低位错缺陷密度氧化镓复合外延厚膜晶圆，推动氧化镓基功率电子器件的发展和产业化进程。此外，本项目团队研发的蓝宝石基氧化镓外延复合晶圆技术成熟度高。目前已开发出 2 英寸高质量蓝宝石基氧化镓外延复合晶圆。在氧化镓器件制备方面，本项目团队实现了氧化镓基高功率异质结二极管的制备，并且对二极管器件进行了高可靠性 TO-257 封装。

本项目提出的氧化镓/蓝宝石复合衬底具有更好导热特性，为大功率电子的散热问题提供了解决方案，而且其价格可在 6 英寸 Ga_2O_3 单晶衬底基础上使得成本进一步降低至 60%。



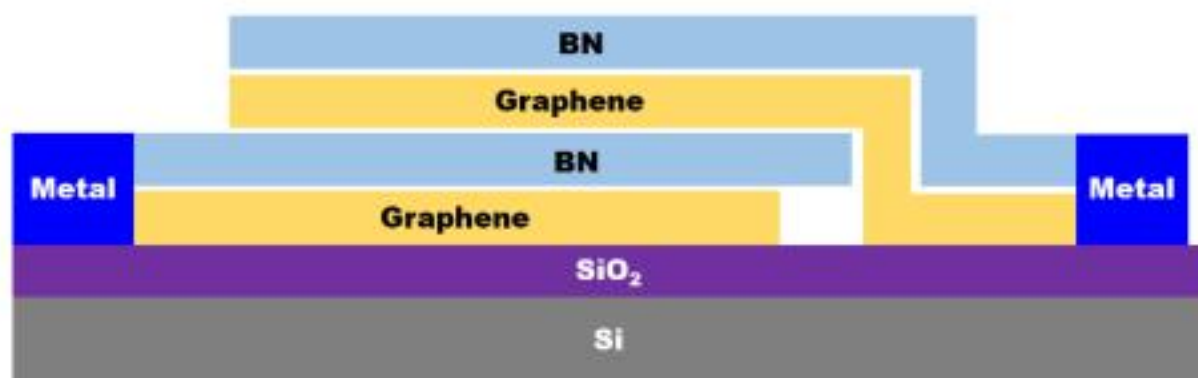
氧化镓材料生长设备构建，高质量单晶外延，器件制备和封装，以及系统级电路应用



新型日盲紫外探测器的开发及应用

本课题围绕氮化硼日盲紫外探测器所面临的瓶颈问题开展研究。通过构建石墨烯/氮化硼/石墨烯范德华异质结型器件，实现日盲紫外探测；通过优化器件工艺显著改善其器件特性，提高其响应度和响应速度。通过本项目的实施，我们期望获得高性能氮化硼基日盲紫外探测器，探明器件界面近场光子与电子相互作用机制，特别是载流子在特定电场下的输运特性；优化器件工艺，提高光生载流子的提取效率，获得最佳工艺参数。因此，本项目的实施对氮化硼光电器件研究和应用都具有十分重要的意义。

关键技术：1) 高质量石墨烯/氮化硼/石墨烯范德华异质结的制备；2) 利用六方氮化硼的厚有效调控紫外探测器的性能。创新点：1) 利用垂直电场促进氮化硼中的光生载流子分离，显著提高器件的响应度；2) 石墨烯电极与氮化硼可形成极洁净的界面，改善光生载流子的收集效率。



氮化硼日盲紫外探测器的结构示意图



基于拉盖尔-高斯变换的旋转物体成像器件研发

本项目主要通过设计高质量非线性光子晶体（铌酸锂非线性晶体），进而耦合光学微腔，利用对空间相位和偏振的精确控制，实现高效的光子轨道角动量光束腔内产生与频率转换，在铌酸锂晶体中得到高质量的 LG 光束。进而基于 LG 变换的旋转物体成像及图像处理技术，可直接对旋转物体进行二维成像，还可以实现边缘增强、旋转和角向复制等图像处理操作。相较于传统的二维高速相机拍摄，此方法装置简单成本低，同时可直接获取 LG 谱便于进一步图像处理，应用场景更为广泛。同时，对于高速旋转物体的角向周期噪声，在 LG 域易于消除，可大幅度提高重构图像的质量；另外，在极坐标系下，频域方法边缘增强技术无法直接进行图像处理，而通过对拉盖尔高斯模式进行模式分析及处理，可以实现图像的角向和径向边缘增强，进而获得整体图像的边缘增强。与传统的旋转成像技术相比，基于 LG 模式的旋转物体成像技术无需停机，对工作状态下的工业器件进行实时成像，实现边缘增强、旋转和角向复制和噪声消除等图像处理操作，弥补目前工业上高速叶片原位检测技术的空缺，被看作是旋转成像与检测方面非常有前景的技术。



高端薄膜材料生长系统

分子束外延生长系统（MBE）是高端薄膜材料研究和生产的必备仪器，长期受制于国外厂商。本项目专门针对实验室对小样品的生长需求，设计小型紧凑的生长腔室、样品台，同时降低购买价格与运转行成本。

产品内表面积小，更容易实现超高真空，整体占地面积不到 1m^2 。电子束加热的小样品台，降低了传统灯丝热辐射加热的耗散，保证了较低的环境温度，对真空有利。30 多个标准法兰接口实现高可扩展性，小样品托（ $18 \times 12 \text{ mm}$ ）刚好适合 10 mm 左右样品，同时兼容 ARPES，STM 等标准样品托。

本产品在国内设计，加工，组装，国产率在 80% 以上，直接成本只有进口同类产品的 50%。目前样机已经成功运行了两年的时间。



带间级联中红外激光器的研发及产业化

半导体中红外激光器在环保、医疗、红外对抗等多个领域有广泛的应用，但由于技术被国外垄断，核心器件长期需从国外进口，如德国 Nanoplus 、美国 Thorlabs 公司。

南大团队开展了以下研究：1) III-V 族半导体 II 类超晶格材料外延生长研究；2) 带间级联激光器结构的外延生长；3) 带间级联激光器单元器件工艺及器件制备；4) 带间级联激光器单元器件性能综合分析。成功的自主研制了 3-5 微米波段低阈值、低功耗的中红外带间级联激光器 (ICL)，完成此类产品和相关技术的国产化，正在走向量产阶段，且将增加太赫兹光电导探测器产线，半导体晶圆分子束外延服务等。我们已有比较成型的初级产品，接下来将是走向量产阶段，且在半导体晶圆分子束外延服务方面已获得广泛认可，通过和上下游客户，科研单位不断的合作，改进产品性能和提升产能和良率。



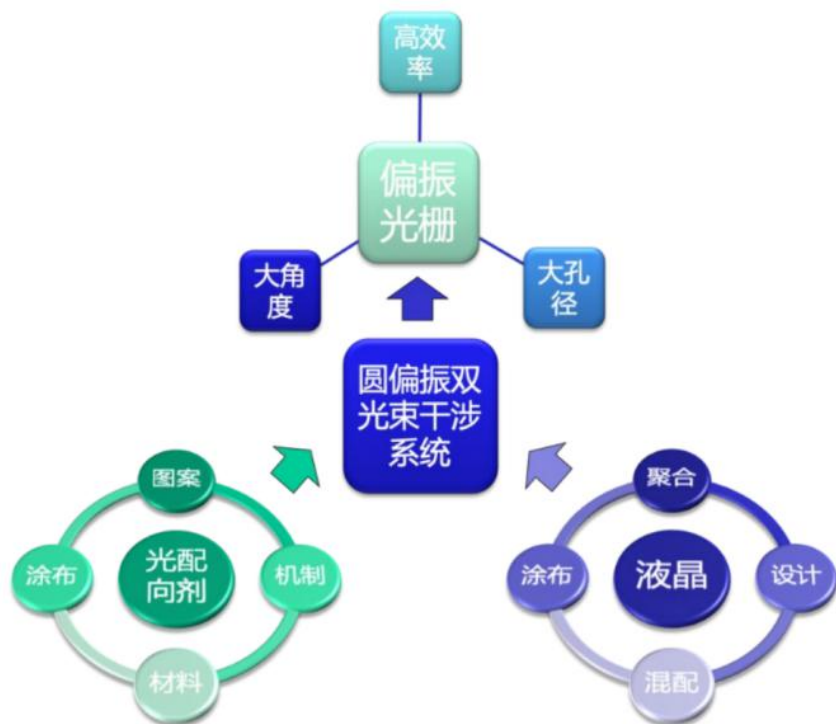
大口径大角度液晶光束扫描器件研发

光束偏转技术在很多国防军事领域起到至关重要的作用，主要包括军事通信、目标追踪/识别以及激光武器对抗，在车载雷达、民用激光通信、光信息处理与存储、生物医学、航空航天等方面也是关键技术之一，光束偏转器件是光束偏转技术的关键，长期需要从美国雷声公司、Rockwell 公司进口。

本项目主要基于液晶光控取向技术，开发一种工作在 1064 nm 波长的液晶光束偏转器件，集中研究光控取向薄膜制备工艺、液晶（聚合物薄膜）制备工艺以及圆偏振双光束干涉光控取向曝光系统搭建与技术开发，实现单片高单级衍射效率的液晶偏振光栅的制备、液晶偏振光栅-可调液晶波片级联器件的封装，实现大角度、高效率的激光偏转。

利用光取向技术制备液晶偏振光栅结合快速响应相位延迟波片，开发出基于液晶偏振光栅和波片级联结构的光束扫描件器件，指标如下：针对波长 1064 nm，通光孔径不小于 20 mm，单级衍射效率不小于 90%，角度调节范围不小于 $\pm 15^\circ$ 。

本项目研究的意义在于通过研究偏振衍射光学元件的形成与调控机制，掌握相关规律和工艺，开发综合性能优异的光束偏转和扫描元件，推动其在激光通信、车载雷达、光信息处理与存储、生物医学、目标识别追踪、军事对抗等民用和军事领域的新应用。



片上集成的全光控制的光隔离和非互易光子晶体管

虽然基于磁光效应的块状光学非互易器件在各领域得到了广泛应用，但是如何实现芯片集成的全光非互易器件仍然是一个挑战。缺少可在芯片上集成的光隔离器和环形器是限制光子芯片集成度的主要因素之一，也限制了激光雷达和激光陀螺仪的集成化，片上集成光学非互易器件对集成光量子信息处理也至关重要。

团队提出片上集成的全光控制的光隔离方法和非互易光子晶体管，创新性地提出一种利用单向压缩腔模诱导光学非互易的理论方案，可用于实现片上集成的全光控制的光隔离和非互易光子三极管。该非互易器件由两个铌酸锂基非线性微环腔和两根耦合波导组成。泵浦光的单向驱动在 B 腔内诱导单向的压缩腔模式，使得信号光正向和反向入射情况下腔模式之间耦合强度不同。由此引起的光学非互易可以实现隔离度大于 40 dB 的光隔离和保真度大于 98% 的三端口准环形器。而且通过开关弱泵浦光可以控制正向强信号光传输的通断，但不能控制反向信号光的传输，由此可以实现非互易的光子三极管。

团队提出的全光控制的非互易器件，采用铌酸锂光学微腔，结构简单，可用于经典相干光和单光子的非互易调控，为实现集成非互易量子信息处理开辟了新的途径。

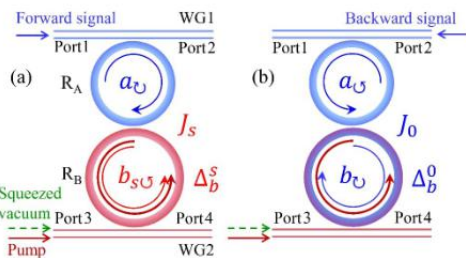


图 1 利用经典光泵浦铌酸锂微腔压缩腔模诱导光子——光子手性耦合，实现非互易光传输。(a)正向信号光入射，量子压缩调制的光子——光子耦合；(b)反向信号光入射，腔模相互作用不受量子压缩调制。

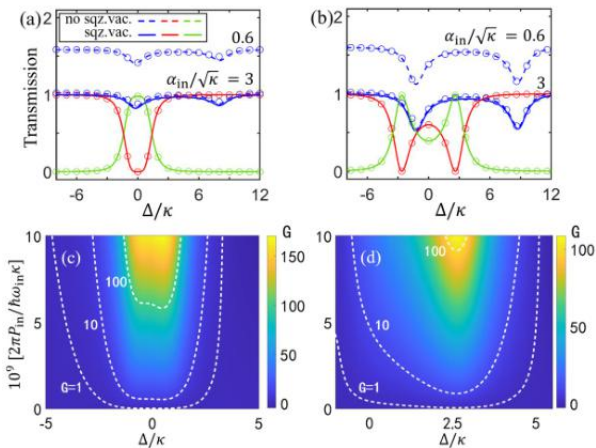


图 2 (a, b)光隔离器与光环形器的透射谱，红色曲线表示 T_{12} ，蓝色曲线表示 T_{21} ，绿色曲线表示 T_{23} ；(c, d)光子晶体管的增益。

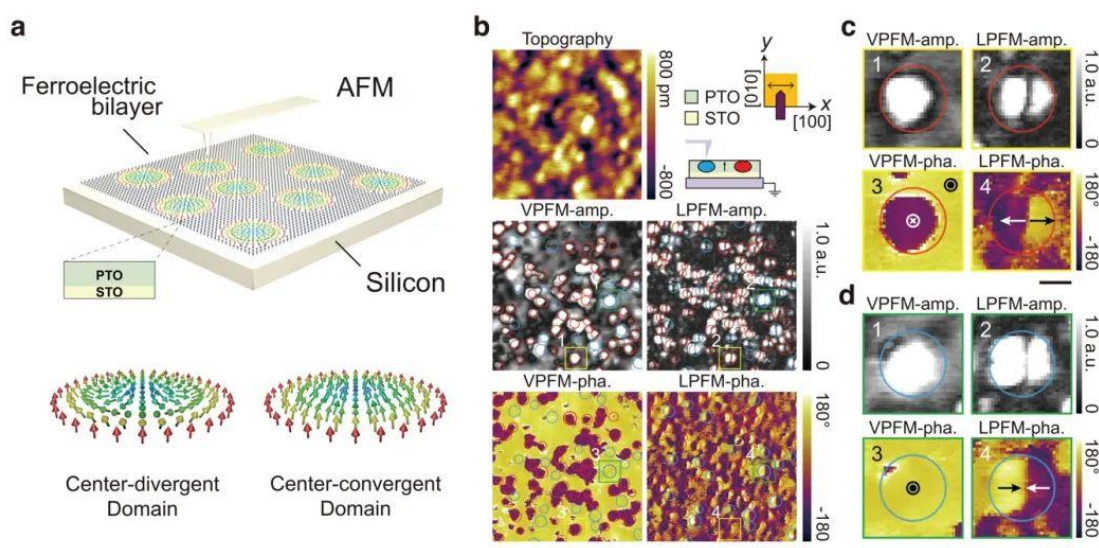


高密度极性拓扑畴在硅基片上的集成与阻态调控技术

高密度、可擦写极性拓扑结构能够被成功集成在硅基片上，并且经过光刻流程后仍能稳定存在，初步展现了将丰富的氧化物极性拓扑结构与传统半导体工艺相结合以开发新型低能耗、高性能电子器件的可能性。

近年来，人们已经从理论和实验上报道了钙钛矿氧化物铁电薄膜、超晶格等体系中存在诸多新奇的非平庸极性拓扑畴结构，并表现出奇异的物理特性（如导电性增强、负电容等），有望用于开发新型铁电晶体管及存储器等器件。但高质量钙钛矿氧化物薄膜材料的制备与当前成熟的互补金属氧化物半导体工艺（CMOS）缺乏兼容性，难以将各种极性拓扑畴结构应用于新一代电子器件中。

团队将钙钛矿氧化物铁电/介电自支撑双层结构与硅基片进行集成，获得了高密度的铁电拓扑纳米畴（ ~ 200 Gbit/inch²），并实现其阻态在外电场下的可逆调控。高密度、可擦写铁电拓扑纳米畴与硅基片的成功集成展示了新奇氧化物极性拓扑结构在新型高密度非易失性存储器中的广阔应用前景。



PTO20/STO10 双层膜中高密度铁电纳米畴的实现。(a)自支撑双层膜中铁电纳米畴示意图。(b)自支撑双层膜的 AFM 形貌、VPMF 振幅、VPMF 相位、LPMF 振幅和 LPMF 相位图。(c)中心发散和 (d) 中心会聚型纳米畴的放大图

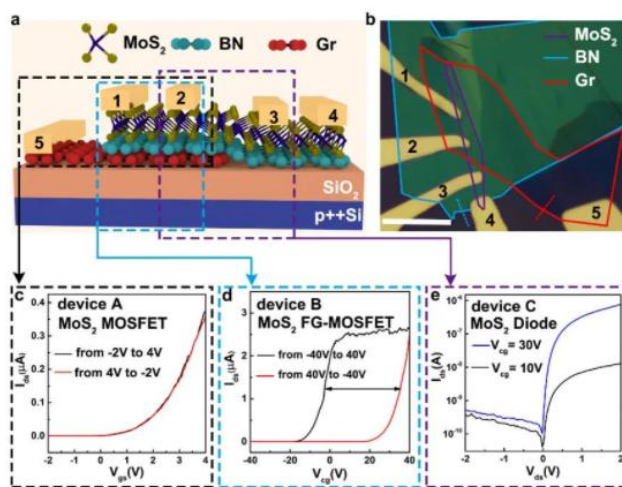


基于 MoS_2 -BN-Graphene 范德华异质结的多功能半浮栅晶体管

传统硅器件通过缩小尺寸，提高集成度来提高性能已接近极限，通过多功能器件拓展器件性能是集成电路发展的重要路径。多功能半浮栅晶体管可以实现运算、存储和整流三种不同的功能，是后摩尔时代集成电路原型器件一种探索。

团队开展基于 MoS_2 -BN-Graphene 范德华异质结的多功能半浮栅晶体管的研究。该半浮栅器件可以实现运算、存储和整流三种不同的功能。研究团队利用干法定点转移的工艺，制备了 MoS_2 -BN-Graphene 范德华异质结，同时参考传统硅基半导体器件的工艺及原理，设计制备出来了半浮栅器件（HFG-FET）。这种器件可以实现三种不同器件的功能：作为场效应晶体管（MOSFET）可以用于逻辑运算；作为非易失性存储器（FG-MOSFET）可以实现数据的存储，数据可以保持 10 年，存储开关比为 10^3 ；作为二极管也可以实现整流的功能，整流比高达 10^3 ，该值可由不同的 V_{cg} 进一步调制。

研究团体设计并制备了具有范德华异质结构的半浮栅晶体管，成功的将场效应晶体管、非易失性存储器（FG-MOSFET）和二极管集成在单一的器件中。这种多功能半浮栅器件不仅可以在逻辑运算、数据存储、整流器开关等方面有潜在的应用。更重要的是，“存算一体”是多功能器件的一个具体的发展方向。传统冯诺依曼架构的计算机，由于计算和存储单元分离，其运输速率和能耗存在瓶颈。我们设计的半浮栅器件作为同时具有计算和存储功能的结构单元，可能为突破冯诺依曼架构的下一代计算机设计铺平道路。



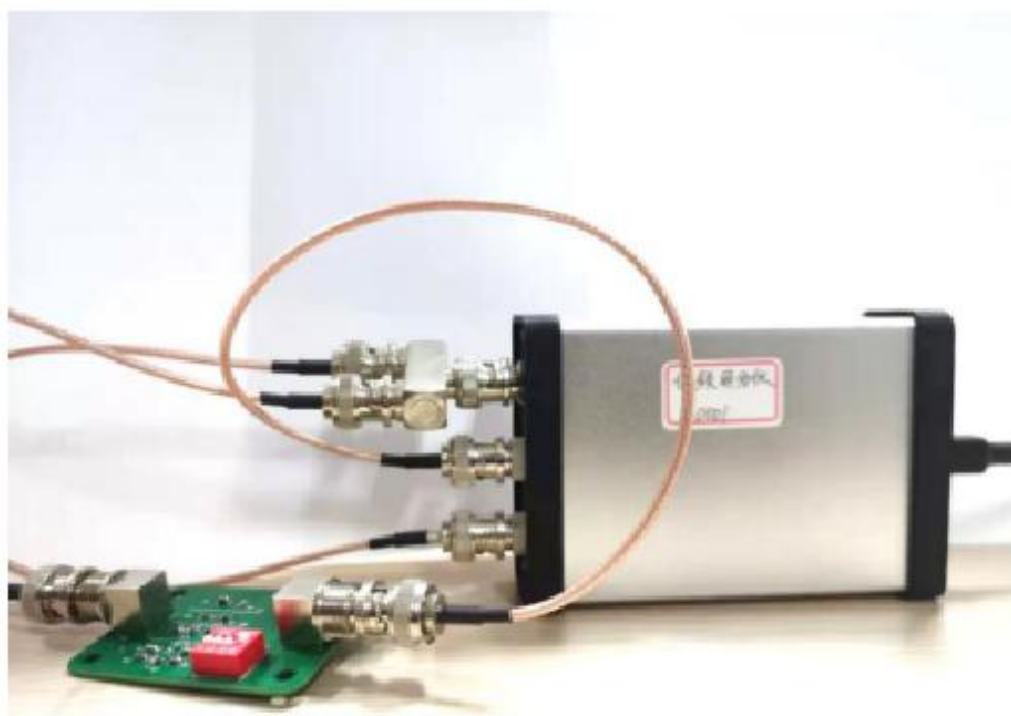
基于 MoS_2 -BN-Graphene 异质结的半浮栅器件。(a) 半浮栅器件结构示意图，其中 MoS_2 为沟道，石墨烯为半浮栅，BN 为隧穿层，重掺杂衬底 Si 为控制栅；(b) 半浮栅器件光学照片，异质结中的 MoS_2 、h-BN 和石墨烯区域分别用紫色、蓝色和红色的实线标记，标尺为 $20\mu\text{m}$ ；(c) 器件 A 为 MOSFET，其中电极 1 和 2 为源漏两极，电极 5 为栅极；(d) 器件 B 为 FG-MOSFET，其中 1 和 2 为源漏两极，衬底 Si 为控制栅；(e) 器件 C 为二极管，其中电极 2 为阳极，电极 3 为阴极



低频矢量网络分析仪

矢量网络分析仪（Network Analyzer），是测量电路频响（Bode 图）的一种通用电子仪器。矢量网络分析仪，若外加一个附件，还可以测量元件或材料的复阻抗值或者复阻抗谱（EIS），充当阻抗分析仪（Impedance Analyzer）。因此，不论是在电子线路还是生化材料的研发测试中，它都是一款重要仪器。现有的国内外矢量网络分析仪的不足是：低频段不覆盖。

目前，课题组基于自研的最新短信号分量估计技术开发的低频矢量网络分析仪，已有可实际展示的样机。经实验室大量测试，可稳定测试低至 0.01Hz-5kHz 频段的电路频响或元件材料的电阻抗谱。填补了同类仪器在 5Hz 以下频段的空白。



自研基本网分模块及其连接示意



偕二氟双环己烷型 TFT 液晶材料低污染生产新技术

偕二氟双环己烷型液晶材料是当前性能最为优秀的高档 TFT 液晶材料之一。

南京大学项目团队相较国外竞争对手路线，设计新的合成路线：

1) 全新路线和中间体：可形成工艺路线和中间体的新专利，涉及的中间体可进一步用于后期对新液晶分子的研究和开发。

2) 经济性：原料和反应试剂经济便宜，避免昂贵试剂使用，降低成本。

3) 环保性：路线取消了原工艺的氟化步骤，从而不产生氟化步骤产生的大量含 HF 污水。

4) 实用性：路线中尽量避免复杂的操作步骤，简化后处理步骤。

新技术可用于便携式显示：可视频移动电话、可视频 PDA、可视频电子书等；车载显示：GPS、安全驾驶显示、多媒体显示等；计算机显示：笔记本电脑、监视器等；家电和办公室显示：电视、互联网络终端、电子报纸等。

全球 TFT 型液晶材料市场需求旺盛，作为 TFT 液晶材料的了“领军者”，偕二氟双环己烷的市场前景可想而知。目前，该材料技术由日本有机科学株式会社公司垄断，而我们新技术的出现将打破该格局，为本土 TFT 液晶材料研究和产业化作出贡献。



梦幻显示和照明技术--OLED

有机发光材料是显示和照明的器件最重要的材料，有应用价值的发光材料必须具有高的发光量子效率、良好的载流子传输特性、成膜特性和热稳定性。磷光材料由于能够利用三线态的能量，理论上量子效率最高可达 100%。

南京大学项目团队通过对材料的能带结构、电子分布与输运的微观性能和各种宏观材料与器件性能的研究，获得高效率、低成本发光材料和相关匹配材料的设计理念。最终开发了系列高性能的三基色发光材料：

在红光材料和器件方面最大亮度超过 60000 cd/m^2 ，最大外量子效率达到 30.54%，并且在 1000 cd/m^2 的亮度下其外量子效率仍然为 26.79%；

在绿光材料和器件方面最大亮度达到 100000 cd/m^2 ，最大电流效率为 92.79 cd/A ，最大外量子效率高达 31.8%，并且效率滚降较小；

在蓝光材料和器件方面最大亮度达到 40000 cd/m^2 ，最大电流效率为 58.74 cd/A ，最大功率效率为 49.85 lm/W ，最大外量子效率为 29.30%。

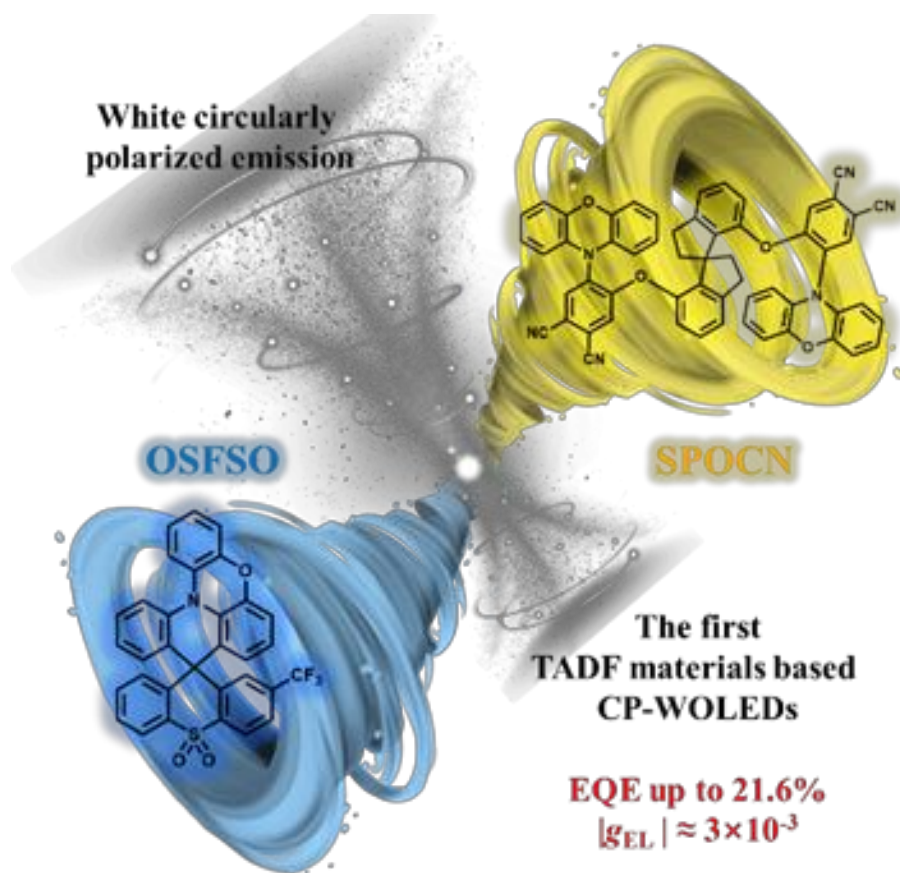
同时尝试合成了系列手性铱配合物，并研究了其圆二色吸收和圆偏振发射性能，初步探索了手性发光材料在圆偏振电致发光器件和 3D 显示中的应用前景。



白光圆偏振 OLED 材料

有机发光二极管(OLED)目前正逐渐取代液晶，引领显示领域的变革。由于在 3D 显示等领域有重要的应用价值，具有圆偏振发光性质的 OLED (CP-OLED)近年来受到了研究者的广泛关注。由于难以合成具有白光发射的手性发光材料，开发白光 CP-OLED 是目前该领域最具挑战性的工作之一。

南京大学项目团队在前期开发的基于螺芴手性蓝光 TADF 材料(R/S-OSFSO)的基础之上，开发了一种螺芴基手性黄光 TADF 材料(R/S-SPOCN)，通过将两对呈现互补色发光的手性热活化延迟荧光 (TADF) 材料结合，开发了首例基于全手性 TADF 材料的白光 CP-OLED。以 R/S-OSFSO 和 R/S-SPOCN 为发光材料，制备了具有双发光层结构的白光 CP-OLED。得益于优良的器件结构以及高效的激子利用，该器件呈现暖白光发射并具有极佳的光谱稳定性。其最大亮度可达 15700 cd/m^2 ，最大外量子效率可达 21.6%， g_{EL} 值为 $+2.5/-3.0 \times 10^{-3}$ 。该技术是目前唯一可以同时利用单线态和三线态激子的白光 CP-OLED，为开发高性能白光 CP-OLED 提供了新的思路。

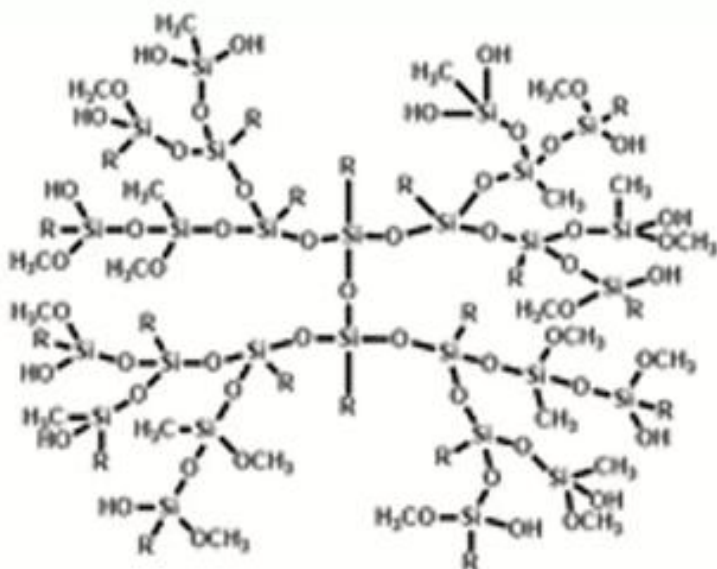


高活性低粘度功能有机硅树脂

硅橡胶、硅树脂广泛应用于航空航天、军事、电子等领域，但其粘度较大且和热固性树脂相容性不好的缺点限制其应用。南京大学项目团队开发一种超支化有机硅聚合物，既包含了超支化聚合物粘度低、末端反应官能团多、溶解性好、具有大量的空腔结构等特点，又保持了有机硅自身优点，能够与酚醛树脂任意比例混合，极大地提升了两者的相容性。

超支化聚硅氧烷有良好的流体性能、溶解性、支化结构等特点，多端基的官能团赋予其较高的活性，且其本身也具有优异的理化性能，如耐高低温性、绝缘性、耐氧化性、阻燃性等，因此可以用来有效地改善热固性树脂的性能。超支化有机硅聚硅氧烷为透明液体，其粘度只有 295mPa·s，可与酚醛树脂能任意比例混合。将超支化有机硅聚硅氧烷与酚醛树脂进行共混共聚，可在酚醛树脂体系中均匀地引入硅元素，整个体系均匀共固化。

由此改性制备得到的酚醛树脂材料具有更好的耐热性、耐湿性、更低的固化温度、更好的相容性和介电性能以及加工性能，可应用于军工、电子通讯，尤其在航空航天、导弹卫星等领域有着较为广泛的应用。

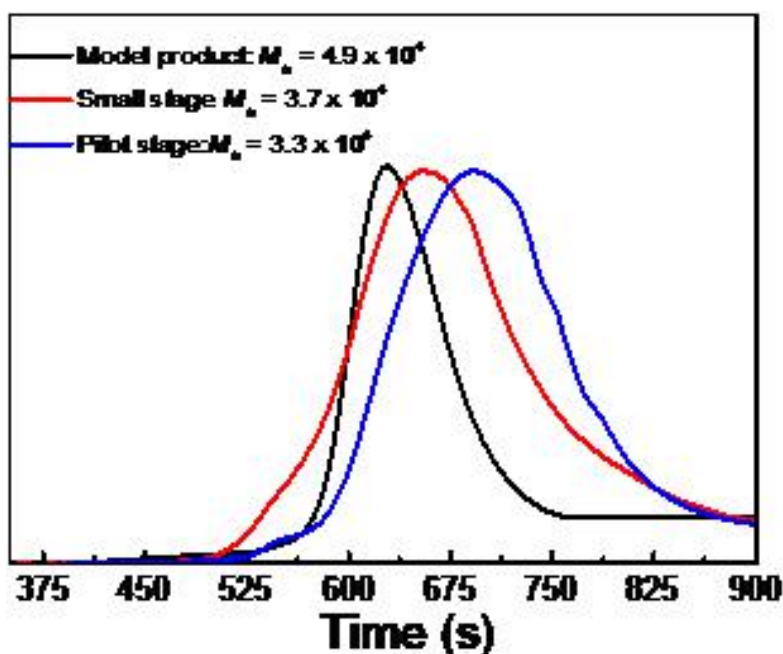


电子显示用压敏胶的研制

国内 APSA 产品的性能一直处于国际水平以下，因此大型规上企业的市场份额都被国外产品垄断，加之疫情、国际金融危机加剧，产品价格一直居高不下。

南京大学项目团队通过（1）筛选有效引发剂，控制聚合反应时间，从而调节获得高分子量聚合物；（2）优化合成工艺，调控聚合物微观结构，提高分子量；（3）筛选合适的交联剂，进行交联，形成高内聚力的 APSA 产品；（4）控制单体和引发剂残余量，获得透明度好、分子量高的 APSA 产品。

项目合成工艺温和，聚合物分子量高、分子量分布窄，性能优异。可以替代同类日本产品。由于压敏胶具有一定的初黏性和持粘性，在无污染的情况下可反复使用，剥离后对被粘材料表面无破坏，无污染，已广泛应用于包装、建材、电器、轻工、机械、交通运输、电子通讯、航空航天、医疗、日常生活等诸多领域。2019 年我国压敏胶需求量 111.8 万吨，2020 年 120.4 万吨，同比增长 7.7%；预计至 2025 年的年均增长率将不低于 5%。



型号产品以及小试阶段，中试阶段的 GPC 谱图



可生物降解的柔性电子器件衬底材料

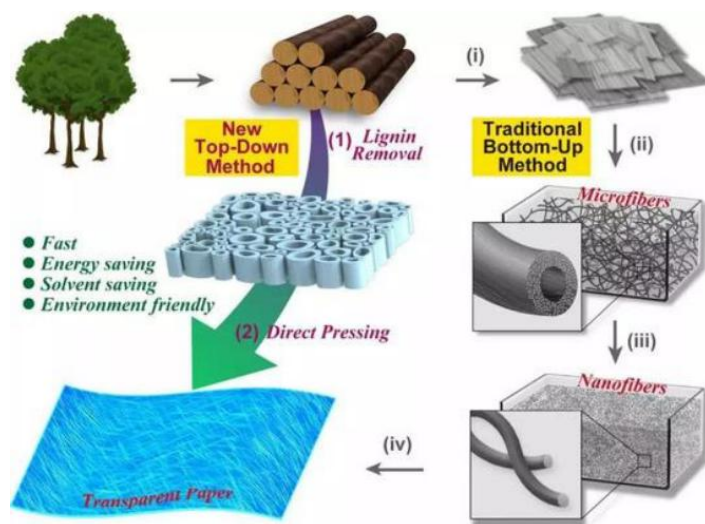
目前最常用的柔性电子领域衬底材料是透明塑料，急需可生物降解的电子器件衬底材料。由天然纳米纤维素纤维组成的透明纸是目前最有望成为取代传统电子衬底材料的材料，但现有工艺需将纳米纤维素纤维分离、漂洗、浓缩，使得制造过程低效、昂贵以及环境不友好。

南京大学项目团队提出了自上而下的制纸新方法，直接利用木材，只需两步即获得了各向同性的透明纸：

1. 去除木质素以消除木质素中的有色基团对光的吸收；
2. 利用压力将去除木质素的木片压实，消除散射源达到光学均匀性和透明性。

此方法不再需要纳米纤维素纤维的制备、分离和浓缩步骤，同时可推广到利用草本原料制备透明纸，如竹子、草等，将进一步降低透明纸的成本。

此透明纸仍然由纳米纤维素纤维组成，具有很高的透明度（~90%），和雾度（>80%），是一种环境友好、可生物降解的绿色材料，可应用在柔性电子、光学等器件方面。

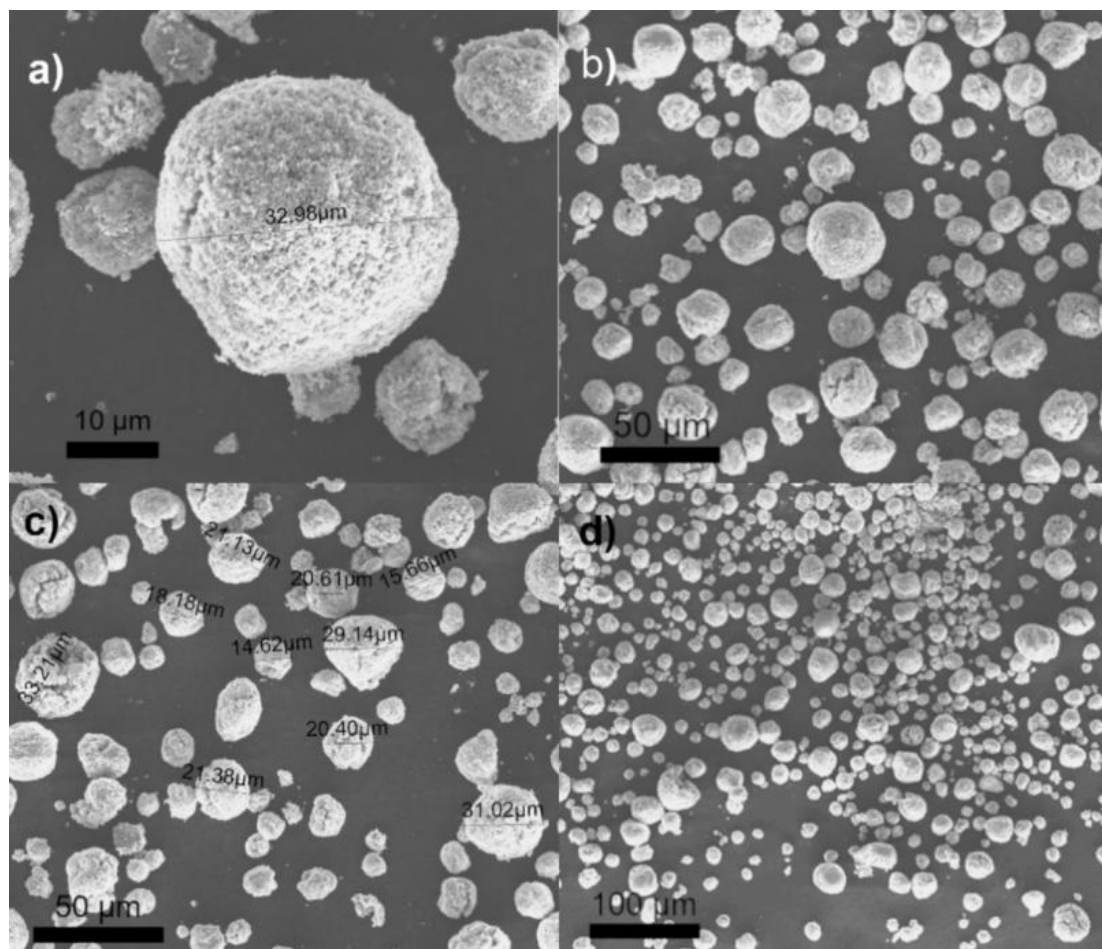


电子级无机微米颗粒球制备工艺与设备开发

无机微米颗粒由于具有高绝缘、高导热、高介电常数等优良性能，被作为一种功能型添加颗粒，在电子元器件封装领域具有广泛的应用。但由于相容性问题，这类材料前期需要经过球形化处理，但目前的一步反应法的工艺复杂度高、工艺参数难以控制且效率较低。电子级 TiO_2 微米球，作为集成电路板，尤其是高频覆铜板的功能填料，目前仍由美、日厂商占据主流市场，拥有广阔的市场需求。

南京大学项目团队提出对现有市售商业粉末进行二次造粒的方法，有效地避开了颗粒制备工艺复杂、效率低等缺点，能够较好地匹配目标材料的现有产业链，可以有效降低成本。

该技术优选水或常用表面活性剂配制出 TiO_2 纳米颗粒悬浊液，通过工业雾化喷头提供的高频声波实现对悬浊液进行雾化为微米颗粒，而后由高压载气带入热处理收集装置进行干燥热处理，进而聚集形成球形颗粒。已与相关设备厂商联合，开发出能够稳定生产电子级二氧化钛微米球形颗粒，并且实现其直径在 $3\text{-}30\mu\text{m}$ 范围内可调。





NANJING UNIVERSITY

