

# 教育部工程研究中心年度报告

(2024年1月——2024年12月)

工程中心名称：嵌入式系统

所属技术领域：信息与电子工程

工程中心主任：陈耀武

工程中心联系人/联系电话：田翔/13588302794

依托单位名称：浙江大学

2025 年 3 月 15 日填报

## 一、技术攻关与创新情况

浙江大学嵌入式系统教育部工程研究中心在2024年聚焦嵌入式智能计算和系统设计学科前沿，继续围绕“高性能嵌入式计算”、“嵌入式处理器和系统芯片设计”、“嵌入式多媒体实时处理”三大核心领域开展深入研究，取得了多项代表性成果。现将2024年度重点突破总结如下：

在高性能嵌入式计算领域，中心对相控阵成像声呐快速波束形成算法进行了深入的理论研究，创造性提出了一种并行子区域波束信号模型和基于嵌套非均匀快速傅里叶变换的快速波束形成算法，实现了大视野的高效精确快速波束形成计算，拓宽了近场区域的探测范围，进一步降低了计算复杂度。中心持续推进脑机融合与医学影像技术的创新研究，在神经信号处理与微弹性成像领域取得重要突破。团队深化脑机融合技术研究，系统解析神经信号传输特性对解码性能的影响规律，研制出新一代多模态信号同步处理系统，攻克复杂环境下信号时序对齐的技术难题，极大地推动了神经解码技术应用。在医学影像方向，中心团队研发了基于光学相干断层扫描的微弹性成像技术，建立智能化临床诊断流程，突破三维微弹性重建的技术瓶颈，通过多项实验验证系统可靠性，积极推动了光学相干断层扫描在乳腺组织微弹性成像领域的临床应用。

中心围绕国家战略需求与产业技术瓶颈，在电力专用芯片、自主打印芯片、低功耗通信传感、数模混合信号及视频超分辨率与芯粒集成等领域取得突破性进展。在新型电力系统建设方面，物联控制芯片关键技术研究及其工程化量产项目目前已处于结题阶段，专家评审优秀。团队联合怀柔国家实验室等单位开展电力芯粒化集成研究，提出多芯粒互连拓扑架构与高精度算法终端化部署方案，构建跨学科研发平台，为电力行业数字化转型升级提供人才与技术支撑。在打印芯片领域，自主研发全系列激光打印机主控SoC芯片打破美日技术壁垒，支撑奔图打印机全球市场占有率跃升至第四、国内第二，信创领域居首。彩色主控芯片完成量产迭代并通过整机验证，预计2025年结题。项目实现从A4到A3、黑白到彩色的全技术链自主可控，带动国产供应链崛起，其成果获央视专题报道并热销110国，重塑全球打印格局。低功耗通信与传感领域取得多项国际领先成果：微型无线无源脑机接口芯片对标Neural Dust，近零功耗可穿戴芯片推动“无电池”技术革新，电容式传感器接口电路实现 $7.2\mu\text{W}/\text{Ch}$ 超低功耗；自适应偏置数字麦克风在声压动态范围达133dB SPL时信噪比68.2dB，相关技术突破为智能设备小型化与长续航提供新方案。数模混合信号芯片研发聚焦产业需求，提出V.A评估法优化电源拓扑设计；与华为合作开发3D集成高密度电源管理芯片，峰值效率达89%，国际一流水平，发表行业顶尖IEEE JSSC论文2篇，IEEE TCASI一篇；研制112Gb/s CDR芯片及800G硅光模块，关键指标领先行业；提出的亚采样锁相环结构将抖动降低至65fs，相关成果发表于IEEE JSSC等顶刊。高压大电流LDO芯片噪声低于 $5\mu\text{V}_{\text{rms}}$ ，性能达国际先进水平。视频超分辨率领域首创CTVSR模型，获全国颠覆性技术创

新大赛总决赛优胜奖并进入国家研发候选队列；承担“芯粒分解组合与可复用设计”国自然重大计划，通过创新分解-组合优化理论、建立数学化描述库及实现芯粒功能结构精确描述，推动高效仿真建模与标准化工具开发，显著提升模块复用性与设计效率；垂直供电方案实现高密度集成与动态响应提升，相关成果获ISSCC 2025录用。聚焦类脑计算芯片设计与Chiplet集成仿真研究，联合计算机学院脑机接口全国重点实验室完成类脑芯片晶圆级测试验证，目前正推进论文撰写与成果发布工作。

在嵌入式多媒体实时处理领域，中心与日本富士电机公司深化战略合作，聚焦复杂工业场景下的智能诊断技术攻关。针对产线设备监测中数据标注缺失的行业痛点，研发团队创新性地提出动态频谱重构与自适应特征检索技术，构建了一套小样本异常工业电机声音分析检测框架。通过多种信号增强与轻量化模型设计，在保障99%异常检测精度的同时，提升了模型的推理速度，为工业设备预测性维护提供可靠技术支撑。在健康医疗领域，中心团队在老年人失能评估系统研发中取得重要进展。基于《国际功能、残疾和健康分类》框架，中心创新性地构建了“运动-认知-感官”三位一体评估体系：通过计算机视觉技术实现人体骨骼关节运动轨迹的精密捕捉，建立平衡能力动态评估模型；融合微表情识别和中文语音情感分析算法，构建一套面向老年群体的多模态认知评估平台；研制便携式智能终端设备，集成视力、听力等多项功能检测模块，同时对相关智能模型进行模型压缩部署，缩短传统评估流程时间，方便了社区、家庭多场景应用以及科研数据采集工作开展。中心目前已完成3000余例临床数据采集，与首都医科大学宣武医院等多家医疗机构联合开展应用验证，致力于形成覆盖家庭-社区-医院的全场景解决方案。

## 二、成果转化与行业贡献

### 1. 总体情况

在国防军工领域，中心持续深化国防科技创新合作，联合战略协作单位开展核心关键技术攻关。中心与中国船舶集团系统工程研究院共同研发出了高集成度小型化三维声学实时成像系统样机，顺利完成了湖试与海试试验，为后续在各类载荷受限的小尺寸平台的部署奠定了基础。中心针对常规轴对称管道波导检测方法的局限性，提出了一种非轴对称检测新理论和管道B扫描检测新方法，相关成果已被应用到石化、电力、高铁、西气东输以及辽宁舰等重点工程中。

在新型电力系统领域，国产电力专用物联网控制芯片完成工程化量产，研发的SoC系列芯片已广泛应用于变电、输电、配电等全场景终端装置及电网边缘侧设备，支撑广东、贵州等示范工程可靠运行，相关成果申报了国家级及省部级奖项3个。通过与怀柔国家实验室、南方电网北京研究院联合开展电力芯片重大专项，推动芯粒化集成技术研发，为电力行业智能化转型提供核心技术支撑。在打印芯片领域，自主研发的全系列激光打印机主控SoC芯片持续扩大产业化应用，支撑奔图打印机国内外市场占有率跃升至国际第四、国内

第二（信创领域第一），耗材芯片全球市场占有率第一，其第1800万台打印机下线获央视报道，标志着国产打印产业链打破美日垄断。彩色打印机主控芯片完成量产迭代并通过整机验证，加速推进信创领域自主可控进程。低功耗通信与传感芯片方面，微型无线无源脑机接口芯片、近零功耗可穿戴芯片等成果实现国际领先性能指标，电容式传感器接口电路及自适应数字麦克风技术为智能设备小型化与长续航提供创新解决方案。数模混合信号芯片领域，与华为联合开发的3D集成高密度电源管理芯片达到国际一流水平，112Gb/s CDR芯片及800G硅光模块关键技术突破推动光通信产业升级。视频超分辨率技术CTVSR获京津冀颠覆性大赛优胜奖并进入国家研发候选队列，芯粒集成研究通过形式化描述库与分解-组合优化理论推动标准化设计进程。

在国民医疗健康领域，中心针对老龄化社会需求，累计完成了3000余例老年人多模态数据采集，开发出家庭-社区场景下失能风险评估系统，相较于传统评估方法，极大提升了评估效率与降低评估成本。中心围绕光学相干断层扫描（OCT）在乳腺组织微弹性成像领域的应用展开深入研究，攻克了实际使用条件下实时检测难题，设计并实现了一套完整的全自动OCT成像流程，为领域发展做出了巨大贡献。

## 2. 工程化案例

### 1) 相控阵成像声呐超分辨实时成像技术

近年来，随着国家海洋战略的需求升级，水下声学成像系统在水下考古、海洋资源开发、潜器避障和近海安防等领域有广泛的应用。为了提高声学图像的分辨率，声呐阵列需要更大的孔径和换能器数量，导致声呐系统的成本、功耗和计算量显著增加。

中心联合中国船舶集团系统工程研究院，开展三维实时成像声呐系统的高集成化和小型化研制，深入开展理论与工程研发。2024年度，中心提出了一种并行子区域波束信号模型和基于嵌套非均匀快速傅里叶变换的快速波束形成算法，该模型采用线性近似来简化时延表达式将近似误差限制在合理的阈值内，采用最小二乘法和坐标旋转技术将每个子区域的视场重塑为理想形状，并利用嵌套非均匀快速傅里叶变换将计算复杂度约束在有效阵列孔径范围内，进一步降低了计算负担。研究成果在小型化三维实时成像声呐系统样机中进行验证，顺利完成湖上、海上试验。湖上试验、海上试验均完成了实际场景的三维实时声学成像，验证了系统样机的有效探测范围、探测精度、探测距离、识别正确率等关键技术指标。

### 2) 脑机融合研究神经采集模块验证

2024年，中心在脑机融合研究神经采集模块研制的基础上，进行了各设备的测试验证以及优化，进一步完善动物实验测试条件，探究不同环境和因素下对脑机融合实验的影响。

首先，我们探索了不同数据丢包模型对神经解码性能的影响，采用猕猴摇杆运动数据集对神经解码算法进行了系统评估，重点分析了丢包率对脑电信号解码精度的影响。研究结果

表明，数据丢包模式对解码性能具有显著影响，这为后续硬件系统设计中处理多模态信号的时间同步问题提供了实践依据。同时提出了相应的解决丢包的策略。相关工作已完成论文撰写，并处于投稿阶段。

其次，为了实现神经信号与外部行为学信号在相同尺度下的解码任务，课题组开展以FPGA为核心的多模态信号同步系统研制工作，预期实现神经信号（有线、无线）与其他外部信号（如行为学信号、其他生理信号等）的时间同步与集成处理。该系统将为多模态信号的实时分析与解码提供强大的硬件支持，是推动神经解码技术应用的重要一环。

### 3) 国产电力专用SoC系列芯片研发

为打破国内电力芯片高度依赖海外进口局面，应对电网数字化、网络化发展下的精准测控控制需求，中心开展国产电力专用SoC系列芯片研制工作，覆盖电力系统变电、输电、配电、计量、新能源领域等多类终端装置以及电网边缘侧装置，提供电力工业级计算性能、安全功能和可靠性水平。相关芯片成果被鉴定为国际领先水平，已批量应用于国家重点工程并出口至10余个国家，获评央企国之十大重器，荣获了省部级科技进步一等奖5项，产生了显著的经济社会效益。在此基础上，中心继续围绕国家及产业发展重大战略需求，开展电力细分领域的芯片关键技术研发。本年度开展了电力专用物联网控制芯片关键技术研究并取得了突破性进展，基于电力专用物联网控制芯片关键技术成果，继续开展电力专用物联网控制芯片工程化量产及软硬件平台研究，助力电网企业在电力物联网领域核心元器件市场占据有利地位，促进我国电力系统智能化、自主化发展。物联控制芯片关键技术研究及其工程化量产项目目前已处于结题阶段，专家评审优秀。此外，目前研究所成功研制的国产电力专用SoC系列芯片成果，正在覆盖电力系统变电、输电、配电、计量、新能源领域等多类终端装置以及电网边缘侧装置发挥作用，为电力场景提供电力工业级计算性能、安全功能和可靠性水平。相关成果及装置应用申报了国家级及省部级奖项3个。此外，本年度研究所与怀柔国家实验室、南方电网北京研究院深度合作电力芯片重大专项项目，围绕电能特征参量高精度并行处理方法、专用算法FPGA平台验证、支撑高精度智能算法终端化部署、芯粒化电力专用SoC芯片研发密集开展实施方案和需求论证，研究电力专用I/O芯粒与芯粒间互连拓扑架构，研究多芯粒可扩展互连与高效通信技术看，支撑电力芯粒化集成芯片研发。研究所面向新型电力系统国家重大战略建设需求，坚定协同电网央企构建高效、创新、跨学科的电力芯片研发平台，推动电力芯片技术的发展和應用，并为行业培养高素质的电力芯片创新与工程能力突出的专业人才，助力支撑电力行业智能化、数字化的转型升级。

### 4) 国产办公打印核心SoC系列芯片

不同于电脑，打印机芯片有很多专有的算法和控制逻辑，必须用电路实现，而且它涉及到

打印机精确的运动、光路和成像控制，需要掌握打印机整机技术才能突破。这是从无到有的过程，在没有成熟、通用技术的参考下，研究所协同打印机整机龙头企业奔图毅然走上一条难而正确的道路——自主研发。经过了十年的技术攻坚，团队实现了从A4到A3，从黑白到彩色全系列主控芯片的自主研发，以及组装供应链企业的自主培育。中心黄凯老师团队负责研制的系列国产激光打印机核心SoC芯片，填补了国内空白，保障了国家打印信息安全。该成果芯片具备实时高效、安全自主等创新特点，本年度继续大批量应用于国产奔图打印机及多家国际主流品牌耗材中，社会经济效益显著。打印机主控芯片作为核心地位支撑奔图整机规模批量化，奔图打印机的国内外市场占有率实现了质的飞越。据统计，目前主控系列SoC芯片支撑奔图打印机市场占有率国际第四、国内第二（仅次于惠普）、信创领域第一；耗材系列SoC芯片应用在奔图和国际主流品牌打印机，全球市场占有率第一。奔图的第1800万台打印机成功下线，央视新闻和央视一套全程进行了直播报道。团队以硬核技术、自主供应链以及优质的产品体验，成功打破美日技术壁垒，热销全球110多个国家，重塑全球打印行业新格局。此外，中心黄凯、张培勇老师团队牵头的彩色打印机核心SoC国重项目本年度完成量产迭代，已通过芯片和整机应用的全方面论证验证，成果应用成效显著，项目预计2025年中完成结题验收工作。

#### 5) 基于国产化CPU与FPGA异构协同架构的内窥镜硬件平台

近年来，医疗内窥镜领域对硬件平台需求多元。需高性能实时处理高清图像，精准识别病灶、减少误诊，能依内窥场景定制处理逻辑，适配不同管径与部位检查。在严苛医疗环境下稳定可靠，避免手术中断。同时，要降低成本减轻患者负担。尤为重要，能与国产医疗影像软件、现有内窥设备无缝兼容。国产化 CPU 和 FPGA 融合的异构硬件平台，可有力推动医疗国产化进程，其需求极为迫切。

2024年度，中心与医疗内窥镜领域国际头部企业日本奥林巴斯医疗公司恢复了国际合作关系，开展了基于国产 CPU 与 FPGA 异构协同架构的内窥镜硬件平台的系统研制，包括特制高速电路板和适配IP核的研制。

针对高速电路板研制工作，结合国产化器件的新特性，采用新型基板材料与优化布局，降低信号串扰和衰减。针对高速数据传输需求，设计分布式电源网络与多层屏蔽架构。研制成果在系统样机中验证，验证了传输速率、信号完整性等关键指标。

中心开展基于国产 USB、DDR、以太网芯片的 IP 核研发。针对硬件平台特殊需求，创新设计电路架构与适配算法，优化逻辑，提升芯片数据交互效率与稳定性。研发成果在定制硬件平台样机上验证，经工业级测试设备多轮严苛测试，成功完成高速数据传输、大容量存储功能验证，关键指标如传输速率、读写稳定性达标。

#### 6) 基于光学相干断层扫描（OCT）的切缘检测系统

2024年，中心团队围绕光学相干断层扫描（OCT）在乳腺组织微弹性成像领域的应用，聚焦系统搭建、临床研究、高效重建算法开发等关键环节，取得了重要进展。团队与浙江大学医学院附属第一医院乳腺外科、病理科等多家单位紧密合作，积极推动该技术的临床转化，并完成了一系列关键研究工作：

1. 搭建宽场定量压缩微弹性成像系统。中心团队基于OCT技术搭建了一套宽场定量微弹性成像系统，并与浙一医院乳腺外科、病理科深入合作。该系统成功应用于22例离体乳腺标本，实现定量微弹性成像。
2. 开展临床转化阶段的对比研究。针对临床应用需求，中心团队深入研究了当前保乳术中常规冰冻切片技术中的快速冰冻处理环节对乳腺组织微弹性成像的影响。通过对14例样本的冰冻前后弹性成像进行定性与定量分析，评估该技术引入术中临床流程中的可行性，并为临床转化提供数据支持。
3. 建立全自动组织成像流程。为满足临床应用对成像速度和自动化程度的需求，实验组设计并实现了一套完整的全自动OCT成像流程。主要包括了实时图像处理分析实现自动预加载，提高成像效率和降低操作学习成本；随后基于计算机视觉的乳腺组织图像分割并自动制定最优宽场扫描策略，同时完成OCT系统扫描频率与力学加载系统频率的自适应匹配，提高了数据采集效率；在图像处理算法中引入了基于SegFormer网络的乳腺组织OCT语义分割模型（mIOU>90%），专注于致密组织的弹性重建，显著提升计算资源利用率，并加快三维微弹性重建速度。
4. 突破三维微弹性重建的技术瓶颈。针对传统相位解包裹算法在精度和计算效率方面的局限性，实验组构建了一种基于改进型U-Net的深度解包裹模型。使用了具有16层卷积的残差密集块，增强特征表达能力，提高相位解包裹精度。并采用了可变形卷积模块，增强对复杂相位场的适应性，提高模型鲁棒性。在模拟数据集测试中，平均均方根误差降低60%，处理速度提升25%。目前已完成25例离体乳腺样本的多模态数据采集，并构建了包含20000+张临床相位包裹数据的专用数据集，为优化模型的临床适配性提供数据支持。
5. 开展OCT与病理切片的跨模态图像匹配研究。由于OCT图像与病理切片在成像方式、对比度及特征形态上的显著差异，实验组基于无检测器特征匹配网络开展了端到端跨模态非刚性匹配研究，以实现高精度配准。目前，该研究已申请国内发明专利1项。

#### 7) 小样本电机异常声音检测算法研究

近年来音频算法领域的不断进步增大了其应用在现实场景中的可能。如在工业生产场景中，除常用的视频监控方法外，可以考虑使用成本相对更低的麦克风对机器工作的声音进行录制采集，再通过深度学习算法模型的检测，用以判断机器是否工作在正常情况以及可能发生的异常故障类型，从而保证工业生产的安全、高效、可靠。

中心自2022年起于日本富士电机公司合作，针对嘈杂实地工业生产现场的设备异常检测需

求，先后开发了能够区分正常/异常声音的检测算法以及能够精准识别机器异常声音类别的分类算法。2024-2025合作年度中，针对现实应用场景中缺乏数据来源标签问题，中心通过将频谱重排生成多样性数据，仅利用正常数据进行训练，而后推理测试时预先选择小样本量数据作为注册集进行参考，通过深度特征的相似度进行检索分类。在日本富士电机公司提供的数据集上，中心开发的算法能够达到超过99%的正常/异常数据区分准确率；在涵盖多标签的异常声音类别分类任务重，算法能够达到平均超98%的分类准确率，搭配不同的检索方法最优能够接近100%，已达到日本富士电机公司本期合作计划的预定目标（90%）。中心同时比较了自行研发算法与其他公开算法在上述私有数据集上的效果，以Transformer结构为核心的两种方法异常分类准确率略低4~5%；以Masked AutoEncoder为核心的一种方法异常分类准确率接近中心研发的算法。但上述公开算法结构均更为复杂，算力消耗更大，从综合性能与可部署性来看，中心研发的算法在实地应用中可行性更强。

#### 8) 磁致伸缩超声导波传感与无损检测关键技术及产业化

2024年度，中心唐志峰教授团队在国家重点研发计划项目课题《阵列导波全域检测监测仪器关键技术开发》、企业横向课题等项目支持下，开展了磁致伸缩超声导波传感与无损检测关键技术及产业化研究，取得主要成果如下：

1. 攻克了磁声核心换能材料（磁致伸缩粉末、丝材和带材）的高效制备技术，打破美国对核心敏感材料及热磁处理工艺的垄断和技术封锁，为磁致伸缩位移传感器和导波无损检测换能器的开发提供了重要支撑。联合企业研发了高精度磁致伸缩位移传感器，实现了产业化，传感器的灵敏度、最大量程、更新频率和温度范围等单项指标均优于国际同类产品，实现了从跟跑到并跑到局部领跑的跨越，成果应用到南水北调、航天发射平台及国防装备中。其中《高精度智能磁致伸缩液位计及产业化》项目获中国石油和化工自动化应用协会技术发明一等奖。
2. 针对国际上常规轴对称管道导波检测方法的局限性，中心团队提出了一种非轴对称检测新理论和管道 B 扫描检测新方法，完善了管道导波检测理论体系，解决了螺旋焊管导波检测难题，实现了管道缺陷的二维定位和类型定征。研发了磁致伸缩超声导波检测仪，检测灵敏度相比国际最高指标提高一倍，打破了美国垄断，成果应用到石化、电力、高铁以及西气东输、辽宁舰等重点工程中，为重要基础设施和装备提供了安全技术保障，同时为我国科研院所基础科研仪器能力建设提供了技术支撑。其中《大型复杂构件高精度超声导波三维成像检测关键技术及应用》项目获中国仪器仪表学会技术发明一等奖。

#### 9) 基于智能分析技术的老年人失能风险评估系统

2024年度，中心周泓教授团队承担国家重点研发计划项目课题《基于行为学智能分析的老年



年人失能能力状态评价关键技术研发》的研发工作。课题基于《国际功能、残疾和健康分类》（International Classification of Functioning, Disability and Health, ICF）框架，采用智能分析技术对老年人的运动、情绪、认知、视觉、听觉、言语等不同功能维度进行分级评估，提出智能化失能风险评估技术，针对家庭场景和社区场景，根据场景实际条件限制，具有针对性的老年人失能风险评估方案和综合评估系统。中心通过与首都医科大学宣武医院、北京康复医院、中国疾病预防控制中心和浙江大学医学院附属第一医院等多家单位紧密合作，已经完成超过3000例老年人数据采集与初步分析。目前主要取得了如下成果：

1. 提出基于深度学习开展了对老年人失能智能早筛评估的系统性研究，基于人体检测、人体姿态估计和人体动作识别，采用机器视觉的方式进行人体运动骨骼关节信息的收集与分析，计算机自动进行采样和推理计算，最终得出老年人平衡能力的跌倒风险的参考指数，目前在已有的数据样本中准确率达到72%。
  2. 提出基于机器学习和深度学习的方法，结合图像处理、计算机视觉等技术，对患者的面部表情进行量化分析，建立基于宏表情和微表情联合分析的早筛模型，进而给出认知障碍程度评分，基于临床MMSE得分对比，目前已取得高到73.79%的分类准确率。
  3. 收集真实的老年人中文语音数据并进行划分和标注，创立以不同情绪为分类标准的老年人中文数据集，进一步进行模型训练、精准度提升等工作。在基于中文数据集训练的情绪识别模型上测试老年人中文数据集，并达到90%以上的准确率。
  4. 开发了针对老年人失能的视力检测、听力检测、二便、共病等多维度便捷采集程序，实现家庭和社区多场景应用。
  5. 针对社区场景等终端部署场景，研制了社区场景数字化终端设备，将各维度的识别算法进行模型压缩与部署，适用于离线大规模数据采集。
- 中心设计的智能化失能风险评估系统可以大幅缩短失能评估时间，降低评估成本，继而实现老年人普筛的场景落地。目前该项目申请了2件国际专利和8件国内发明专利，发表了7篇国际顶级期刊论文和8篇国际顶级会议论文。

### 3. 行业服务情况

浙江大学嵌入式系统教育部工程研究中心2024年度持续深化产学研融合创新，构建起“基础研究-技术转化-产业赋能”三位一体的行业服务体系。

2024年度，中心持续深化“产教融合、协同创新”的发展理念，与多家国内外企业及行业龙头企业建立密切的战略合作伙伴关系。通过结构件“需求牵引-技术攻坚-应用反哺”的闭环创新机制，在多个前沿领域开展多层次研发合作。中心联合企业研发了高精度磁致伸缩位移传感器，实现了产业化，传感器的灵敏度、最大量程、更新频率和温度范围等单项指标均优于国际同类产品，实现了从跟跑到并跑到局部领跑的跨越，成果应用到南水北调、航天发射平台及国防装备中；中心与日本奥林巴斯医疗公司，开展了基于国产化CPU与

FPGA异构协同架构的内窥镜硬件平台的系统研制，结合国产化器件新特性，采用了一种新型的优化布局减低信号串扰和衰减，并在系统样机中进行了传输速率和信号完整性等关键指标的测试，相关结果均达到了企业的合作要求，可以进一步投入实际生产使用，大大推动了医疗国产化进程。此外中心继续与日本富士电机就“电机声音异常检测算法”开展深入合作，针对实际工业场景中数据缺失的问题，提出了一种基于频谱重排的新型工业数据生成方法，并使用小样本学习策略构建一套特征检索算法，在日本富士电机提供的数据集上可达到99%的分类准确率，达到了本期合作计划的预定目标，下一步即可在实际生产环境进行部署验证。

2024年度，中心与国内外众多科研机构积极开展了包括组织有影响力的集成电路领域的国际会议、在顶级国际会议/IEEE各学会/各 Council 的执委会任职、在各大国际会议作报告、与世界一流大学或科研机构实质性合作等多种形式的国际学术交流。中心高翔、柯徐刚、赵博3位老师入选了被誉为“芯片奥林匹克”的ISSCC 技术委员会（TPC），彰显了浙江大学集成电路学院在国际学术界和工业界的知名影响力。2024年度国际集成电路技术与应用会议（IEEE ICTA）圆满落幕。本次会议以“Chiplet and Future IDM”为核心议题，由研究所赵博教授担任主持人，成功吸引了国内外顶尖专家、学者及产业界精英共襄盛举。会议深入探讨了高速Serdes、光通信芯片等集成电路技术的最新进展，展示了众多前沿技术成果。投稿量高达219篇，参会人数达到184人，均刷新了七年来的历史记录。此次ICTA不仅为青年学者提供了顶尖技术培训与国际交流的宝贵机会，更为广大学子打开了一扇通往科技前沿、拓宽科研视野的大门。

在行业标准化建设方面，中心持续深化技术引领作用，2024年度参与完成了《GB/T 31211.1-2024无损检测 超声导波检测 第1部分》和《GB/T 31211.1-2024无损检测 超声导波检测 第2部分》两部行业标准的制定工作，凭借扎实的技术积累与丰富的产业实践经验，为标准化工作提供关键技术指标验证及全产业链协同方案，为构建良性产业生态提供标准化支撑，切实推动行业高质量可持续发展。

### 三、学科发展与人才培养

#### 1. 支撑学科发展情况

浙江大学嵌入式系统教育部工程研究中心立足仪器科学与技术、电子科学与技术、计算机科学与技术三个学科交叉优势，持续深化前沿技术创新研究，重点攻关高性能嵌入式计算、嵌入式处理器与系统芯片设计、嵌入式多媒体实时处理等核心技术方向。2024年度在学术研究方面产出SCI/EI检索论文60余篇，专著1本，新增发明专利申请32项，获国内授权26项、国际专利授权3项。在横纵向项目上，中心2024年新增项目40余项，项目到账总经费5894.08万元，构建起“基础理论突破-关键技术研发-工程实践验证”的完整创新链条，有效支撑学科建设与人才培养体系。

2024年度，中心于浙大杭州国际科创中心水博园区主持召开了国际集成电路技术与应用会议（IEEE ICTA），会议吸引了集成电路领域的顶尖专家，旨在展示最新的技术进展与应用，促进学术界与产业界的深入交流。此外，本年度中心还获得了浙江省科技进步二等奖、中国石油和化工自动化应用协会技术发明奖一等奖和中国仪器仪表学会技术发明奖一等奖等科研奖励。

中心深入推进学科交叉融合创新。在与生物医学工程领域交叉研究领域，中心着力构建“基础研究-技术突破-临床验证”的跨学科协同体系。中心深度融合国家脑科学战略布局，承担科技创新2030“脑科学与类脑研究”重大项目子课题，并在2024年进一步完善了动物实验测试条件，探究不同环境因素对脑机融合实验的影响，针对不同丢包模型对解码性能的影响展开研究并提出了相应的解决策略，推动了神经硬件解码技术的应用。此外，中心研发的微型无线无源脑机接口芯片对标国际领先产品，实现全无线微型化设计，为生物医学工程学科提供高精度神经信号采集方案，革新脑科学研究范式；近零功耗智能可穿戴芯片攻克设备续航难题，推动物联网与电子工程交叉研究；112Gb/s硅光模块及800G光互连技术突破，助力通信工程学科在高速光子集成领域抢占国际话语权。此外，低噪声LDO芯片、高线性度电源管理芯片等技术成果为电力电子、集成电路设计学科发展注入新动能。

## 2. 人才培养情况

中心构建“科教融合、产教协同”的人才培养体系，形成覆盖本硕博的全链条培养机制。2024年度，中心开设了30余门课程，包含嵌入式系统、电子仪器系统、超大规模集成电路设计基础、CMOS射频集成电路设计等，教学团队共承担了2080课时的本科生教学任务和1036课时的研究生教学任务。本年度中心共培养了15名博士研究生，60余名硕士研究生和一批本科生，为嵌入式系统及大规模集成电路行业培养了一批专业人才。

2024年度，中心继续通过与国内外学术机构合作交流的方式进行学术交流和人才培养。部分交流如下所示：

序号	合作交流单位	联系人	合作交流内容	交流方式
1	浙江大学	Ge Teng	30th SIGKDD Conference on Knowledge Discovery and Data Mining	学生参会
2	浙江大学	Kai Liu	The Thirty-eighth Annual Conference on Neural Information Processing Systems	学生参会
3	浙江大学	程林	2024年度IEEE国际集成电路技术与应用学术会议（ICTA 2024）	线下参会
4	德国德累斯顿工业大学	Akash Kuma教授	神经拟态芯片设计	线下会议
5	新加坡科技设计大学	Wang Bo 教授	面向AI的晶圆级超集成设计技术	线下会议

- 6     浙江大学     锡瑞杰     IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)     学术报告
- 7     ESD Association     Hang Li     2024 International ESD Workshop (IEW) 国际学术会议     受邀报告
- 8     日本奥林巴斯医疗公司     齐藤、吉本等     国际项目合作：基于中国产CPU和FPGA的内窥镜测试系统     定期线上会议
- 9     日本富士电机公司     真锅、浅野、雷云等     国际合作项目：基于深度学习的异常声音检测     定期线下访问

此外，中心积极与行业龙头企业如阿里巴巴、南方电网数字电网研究院有限公司、珠海艾派克微电子有限公司开展合作，通过项目合作研发、实习派遣等方式，共同对研究生进行培养。

3. 研究队伍建设情况

浙江大学嵌入式系统教育部工程研究中心承建单位目前共有固定人员56名，其中教授28名，副教授（副高职称）16名，其他成员包括博士研究生50余名，硕士研究生110余名，人员年龄和知识结构合理，富有活力和创新能力，是一支可持续创新的人才梯队。

本年度中心职称晋升的固定成员共有2名，详情见下表：

序号	固定人员姓名	类型	备注
1	屈万园	职称晋升	教授
2	赵博	职称晋升	教授

屈万园老师，博士毕业于韩国科学技术院（KAIST），2008至2017年就职于韩国LG公司，于2017年起加入浙江大学，长期从事电源管理芯片设计研究工作。领导量产了多款国际领先的电源管理芯片，获授权美国专利9项、中国专利3项，均实现规模化应用。

赵博老师，国家高层次科技创新领军人才，国家海外引进青年人才，达林顿奖获得者。2011年博士毕业于清华大学电子工程系，曾分别在新加坡国立大学、美国加州大学伯克利分校任职，2018年起加入浙江大学。

四、开放与运行管理

1. 主管部门、依托单位支持情况

浙江大学作为中心依托单位，持续深化创新生态建设，2024年在资源配置、平台建设和制度供给方面提供全面保障。学校设立常态化运行经费，覆盖日常运行、科研耗材及国际学术交流需求。配置5961.5平方米集约化科研场地，集成基础研究、工程验证与成果转化功能模块，实现全链条研发支持。仪器共享方面，依据《浙江大学大型仪器设备开放共享管理办法》（浙大发设[2024]1号）及实施细则，构建校级共享服务平台，整合跨院系设备

资源，通过制度创新提升设备周转率，满足了中心学科交叉研究的需求。人才引育方面，浙江大学通过拨付专款支持青年教师开展科研项目，支持学科建设。此外，2024年浙江大学启动“1250”安居工程，制定《浙江大学人才共有产权保障住房申购和销售管理办法（第一版）》（浙大发总务[2024]1号）等政策文件，对人才住房提出保障，有助于吸引高层次人才加入中心工作。此外，浙江大学还优先保障中心的项目申报、研究生招生指标和人才培养等方面，并积极支持中心的学术交流活动，为中心提供经费和场地支持，为中心的发展和人才引进提供了重要支持。

## 2. 仪器设备开放共享情况

浙江大学嵌入式系统教育部工程研究中心建立仪器设备标准化管理体系，严格执行安全管理制度。通过将大型仪器全部纳入浙江省大型仪器共享平台，实现设备资源高效利用。中心建立完整设备档案数据库，涵盖型号参数、存放位置、购置时间及共享状态等核心信息，实行设备状态动态更新机制。设备使用实施全过程跟踪管理：专人负责登记设备使用记录，包括使用人信息、使用时段及操作时长；对外共享服务时，严格执行“先培训后操作”流程，由专业技术人员现场指导设备规范使用，确保设备运行安全性和数据完整性。

下表是本年度中心部分30万以上大型仪器设备对外服务情况。

设备名称	服务内容	开始时间	结束时间	服务对象
服务描述				
脑机神经信号采集设备	测试服务	2024/04/01	2024/04/30	许科帝(南湖脑机交叉研究院)
脑机神经信号采集设备	测试服务	2024/07/01	2024/08/31	任欢(博灵脑机(杭州)科技有限公司)
深度学习服务器	测试服务	2024/05/01	2024/06/30	许艳萍(杭电计算机学院)
图像质量分析仪	测试服务	2024/06/01	2024/09/30	叶挺聪(杭电计算机学院)

## 3. 学风建设情况

本年度，中心构建多维学风培育体系，重点推进以下工作：  
学术交流平台建设。中心依托各学院平台组织开展了如青年学术沙龙等各类学术研讨会和论坛活动，促进了师生之间的学术交流合作。通过与其他学术机构和行业企业的合作举办学术活动，中心扩展了交流平台，增进了与外部专家和机构的合作关系，推动了学术研究的深入发展。

学术规范管理。中心重视对师生学术道德的教育和监督，推动师生树立正确的学术观念和价值观，行论文投稿预审制度，开展相关学术诚信讲座。

思政育人创新。中心多位骨干成员兼任了浙江大学本科生班主任和研究生德育导师，不定期举办主题班会、学术沙龙讲座等，推进生涯发展教育。同时，中心积极参与浙江大学课程思政建设工作，充分发挥课堂教育的作用，使专业课程和思想政治理论课程相辅相成。指导多名本科生参与大学生科研训练计划（SRTP），帮助学生尽早接触科研。此外，还组织学生参观、实地考察业内知名企业，帮助了解行业发展现状。

学术文化培育。建立跨校学术合作网络，与国内知名大学和企业等机构开展联合研讨，支持中心内研究生紧跟学界、工业界发展前沿。

#### 4. 技术委员会工作情况

2024年12月，中心按照规程召开了年度技术委员会工作会议。会议重点审议了中心关键技术攻关路线图，会议系统评估了新型计算架构、智能感知等核心领域研发进展，形成了多项战略决议。委员会专家一致通过设立重点攻关专项，确立了中心2025年前沿探索方向，特别强调要构建“基础理论突破-核心技术攻关-产业应用验证”的全链条创新体系。在人才战略维度，决议推进青年学者国际访学项目与校企联合导师制度，建立人才梯度培养模型，为持续产出高水平成果提供智力支撑。

#### 五、下一年度工作计划

2024年度，浙江大学嵌入式系统教育部工程研究中心继续夯实技术研发、成果转化、人才培养等核心领域的既有优势，在嵌入式系统关键技术创新与产业应用方面取得阶段性成效。2025年，中心将深入贯彻政府工作报告中的相关指示，将发展“新质生产力”、“人工智能+”等融入到下一年度的中心工作计划中。现结合中心自身情况，制定2024年工作计划如下：

1. 技术研发方面。在技术研发方面，中心将继续聚焦高性能嵌入式计算、嵌入式处理器和系统芯片设计、嵌入式多媒体实时处理三大核心方向，开展系统性技术攻关。通过构建“理论研究-原型验证-场景应用”全流程研发体系，着力突破低功耗实时计算等关键技术瓶颈。2024年度目标发表SCI/EI论文20篇以上，申请发明专利25项以上，形成2项行业标准提案，力争实现2-3项具有行业引领性的技术突破以及工程化应用，为嵌入式系统领域创新发展提供关键技术支撑。
2. 成果转化方面。中心将深度践行“产学研用深度融合”战略，双轮驱动科技成果转化：一方面深度服务国家重大战略需求，重点推进嵌入式系统技术在新型武器装备研制、航空航天等国防科技工业领域的工程化应用；另一方面着力构建产学研协同创新体系，与行业领军企业建立常态化技术对接机制，定期开展市场需求分析与成果匹配论证，建设科技

3. 人才培养方面。中心将全面落实新时代人才培养要求，深化“三全育人”综合改革，构建德智体美劳全面发展的人才培养体系。持续推进课程内容与教学方式创新，通过引入行业典型案例、建设虚拟仿真实验平台等手段，促进理论教学与实践应用的有机融合。深化产教协同育人模式，与头部企业共建双师型教学团队，联合开发产教融合型课程，拓展省级以上实践教学基地。健全“导师-辅导员-企业工程师”协同育人机制，实施分阶段、差异化的能力培养计划，重点强化学生的科研素养、工程实践能力和职业竞争力。定期开展人才培养质量评估，建立毕业生发展跟踪机制，持续优化学科专业布局，为区域经济发展输送具有创新意识的高素质应用型人才。

4. 团队建设方面。中心将着力构建“学术共同体+创新团队”双轮驱动的发展格局，完善跨学科协作机制与成果共享制度。通过设立交叉学科研究基金、举办青年学者创新论坛、建立常态化内部培训体系等举措，激发团队创新活力。积极拓展国际合作网络，通过共建联合实验室、承办国际学术会议、实施学者互访计划等方式提升学术影响力。强化技术委员会战略咨询职能，建立“季度专题研讨+年度战略规划”工作机制，针对前沿技术方向开展政策解读与路径研判。完善人才引进与激励机制，通过设立杰出人才工作室、实施科研绩效奖励办法、提供职业发展绿色通道等政策，打造具有核心竞争力的高水平科研团队。

5. 制度优化方面。中心将系统推进管理制度科学化建设，完善涵盖科研管理、设备使用、绩效考核等领域的制度体系，强化规范执行与动态完善机制。通过定期评估和优化流程，提升管理效能与团队执行力，为可持续发展提供制度保障。

无

## 七、审核意见

年 月 日

依托单位审核意见：

情况属实，同意上报。

依托单位：  
(单位公章)  
年 月 日



## 八、年度运行情况统计表

研究方向	研究方向1	高性能嵌入式计算		学术带头人	陈耀武
	研究方向2	嵌入式多媒体实时处理		学术带头人	陈文智
	研究方向3	嵌入式处理器和系统芯片设计		学术带头人	黄凯
	研究方向4			学术带头人	
工程中心面积	5961.5 m <sup>2</sup>			当年新增面积	0.0 m <sup>2</sup>
固定人员	56 人			流动人员	174 人
获奖情况	国家级科技奖励	一等奖	0项	二等奖	0项
	省、部级科技奖励	一等奖	0项	二等奖	1项
当年项目到账总经费	5894.08万元	纵向经费	2745.24万元	横向经费	3148.84万元
当年知识产权与成果转化	专利等知识产权持有情况	有效专利	29项	其他知识产权	0项
	参与标准与规范制定情况	国际/国家标准	0项	行业/地方标准	2项
	以转让方式转化科技成果	合同项数	6项	其中专利转让	6项
		合同金额	199.0万元	其中专利转让	199万元
		当年到账金额	199.0万元	其中专利转让	199.0万元
	以许可方式转化科技成果	合同项数	0项	其中专利许可	0项
		合同金额	0.0万元	其中专利许可	0.0万元
		当年到账金额	0.0万元	其中专利许可	0.0万元

		以作价投资方式 转化科技成果		合同项数	0项	其中专利作价	0项
				作价金额	0.0万元	其中专利作价	0.0万元
		产学研合作情况		技术开发、咨询 、服务项目合同 数	58项	技术开发、咨询 、服务项目合同 金额	3148.84万 元
当年服务情况		技术咨询		12次		培训服务	0人次
学科发 展与人才 培养	依托学科 (据实增删)	学科1	仪器仪表技术 其他学科	学科2	微电子学	学科3	计算机科学技术
	研究生 培养	在读博士		57人	在读硕士		117人
		当年毕业博士		15人	当年毕业硕士		60人
	学科建设 (当年情况)	承担本 科课程	2080学时	承担研究生 课程	1036学时	大专院校 教材	0部
研究队 伍建设	科技人才	教授	28人	副教授	16人	讲师	10人
	访问学者	国内		0人	国外	0人	
	博士后	本年度进站博士后		0人	本年度出站博士后		0人