

专题：智能通信、存储与信息处理技术前沿

特邀策划人



孔令军

博士,教授,硕士生导师,金陵科技学院智能信号处理方向带头人。2011年毕业于北京交通大学信号与信息处理专业,新加坡南洋理工大学和东南大学双博士后。曾获2018年苏州高新区科技创新创业领军人才称号,并入选2021年江苏省科技副总项目,2022年江苏高校“青蓝工程”优秀青年骨干教师。曾先后在韩国仁荷大学、新加坡南洋理工大学、香港理工大学、新加坡科技设计大学、美国加州大学圣地亚哥分校进行研究和国家公派访学。2014年至今,共主持国家级、省部级等科研项目15项。发表SCI期刊论文30余篇,其中以第一/通信作者发表SCI期刊论文16篇,EI期刊和顶级国际会议论文50余篇,以第一发明人授权国家发明专利10余项。现为IEEE/IEICE会员,中国电子学会高级会员。



李莉萍

博士,副教授,博士生导师,安徽大学通信工程系系主任。2009年毕业于北卡州立大学电子与计算机工程系,目前主要研究方向为信道编解码理论与技术(极化码的编译码理论与技术)、无线通信理论及系统等。在IEEE期刊及会议发表高水平论文20余篇,授权国家发明专利10项,授权美国专利1项。曾组建并领导“智慧医疗服务+人工智能医疗器械”人才团队,入选芜湖市第二批高层次科技人才团队(II类);在安徽大学开展5G极化码研究,提出多项理论创新成果并进行技术实现。主持国家自然科学基金(面上项目)2项、青年项目1项;获安徽省教学成果一等奖2项。



张川

东南大学信息科学与工程学院教授,博士生导师,东南大学青年首席教授,紫金山实验室课题联合负责人。东南大学Lab of Efficient Architectures for Digital-communication and Signal-processing (LEADS)负责人。主要研究方向为基带算法、芯片与工具链,包括AI基带算法与芯片、基带电路自动生成EDA系统、2D时空信道编译码等。获国家自然科学基金重点项目、优青项目支持。荣获强国青年科学家、“算力中国·青年先锋人物”、中国工程院“中国工程前沿杰出青年学者”称号,中国青年五四奖章集体、江苏青年五四奖章、江苏省杰出青年基金,入选江苏省“六大人才高峰”高层次人才A类、江苏省333高层次人才等。

内容导读

随着人工智能与信息科学的不断融合发展,智能通信、视觉感知、自监督学习与导航融合等前沿领域正在迎来前所未有的技术跃迁。6G通信技术不仅承载更高速率、更低时延与更大连接密度的目标,还主动拓展至感知、计算与智能协同的多维空间,形成万物智联的新格局。

在通信领域,随着频谱向毫米波与太赫兹频段延伸,空间资源利用方式亦由远场平面波走向近场

球面波范式。超大规模多输入多输出(Multiple Input Multiple Output, MIMO)、智能超表面等新兴技术正在重塑信道估计与波束赋形逻辑;与此同时,混沌调制与极化译码相结合的新型系统,为低功耗、高安全通信场景提供了全新解法。在视觉感知方面,从皮肤癌识别到农作物分割、从红外监测到复杂人体关键点估计,深度学习技术已在医学、农业与工程中展现强大能力。而在学习范式上,自监督学习的崛

起打破了“标签依赖”的传统训练模式,尤其是在艺术图像、遥感影像等特殊领域中,自构建监督信号的能力成为应对数据稀缺与结构复杂的关键路径。频域掩码、动态扰动与感知驱动的对比机制共同构筑了更强鲁棒性的图像表征方式。

为了呈现智能通信、存储与信息处理领域的最新研究成果,推动学术界与工业界在深度学习、信号处理、纠错编码与 6G 通信等方向的技术交流与协同创新,特策划本专题,旨在汇聚相关领域专家学者的研究进展,系统探讨智能通信架构、高效信息传输与处理技术中的关键理论与应用问题,助力该领域持续迈向融合化、高性能与智能化的发展新阶段。

(一) 图像识别与智能感知

随着皮肤病自动检测需求的增长,医学图像分析方法也亟需向更高精度和更强细节建模能力迈进。皮肤癌图像通常色彩单一、边缘模糊、形态多变,导致传统卷积神经网络(Convolutional Neural Network, CNN)方法在边界识别与类别区分上性能有限。为此,《基于伽马变换与小波卷积的皮肤癌精确检测》构建融合空域与频域特征的空频变换网络(Space-Frequency Transform Network, SFTNet),提出在 Transformer 框架中引入伽马变换增强低对比度特征,同时利用小波卷积提取多尺度边缘纹理信息。该方法强化了模型在明暗调节与细粒度建模方面的能力,有效应对了早期皮肤病变的模糊性特征。在 HAM10000 标准数据集上, SFTNet 模型取得了 85.5% 的分类准确率,显著优于多种基准方法,尤其在对小斑点与低对比病灶区域检测上表现优异,为智能医学图像分析开辟了融合空频信息的研究路径。

大坝渗漏检测是保障水利工程安全运行的核心问题。传统人工巡查手段存在周期长、主观性强等问题,难以胜任高频率、细尺度的结构性渗漏检测任务。为此,《基于改进 Mask R-CNN 的红外图像坝体渗水区域检测研究》以红外图像为数据基础,提出改进的 Mask R-CNN 模型用于坝体渗水区域分割检测。该方法引入 Swin Transformer 作为主干特征提取网络,结合特征金字塔网络(Feature Pyramid Network, FPN)和挤压激励网络(Squeeze-and-Excitation Network, SENet)注意力机制显著增强小目标特征捕捉能力。热成像图像中的微弱温度差异被有效放大为训练判别信号,从而实现渗水边缘的精确定位。实验证明,该模型在测试集上渗漏检测准确率达 97%,可实现对坝体渗漏的自动分割与面积量化,极大地提升了大坝巡检的自动化水平和早期预警能

力,在水利工程智能运维场景中具有重要实用价值。

随着语义通信理念在图像传输领域的兴起,传统以像素级还原为目标的压缩—编码范式逐渐被具备语义理解能力的通信架构所替代。尤其在带宽受限、信道环境恶劣的场景中,语义一致性比图像还原精度更为关键。为此,《基于多任务的图像语义传输方法》提出融合感知损失的联合源信道编码(Swin Transformer with LPIPS-based Joint Source-Channel Coding, STL-JSCC)图像语义传输框架,采用 Swin Transformer 结构提取多尺度语义信息,并在多任务损失函数中引入学习感知图像块相似度(Learned Perceptual Image Patch Similarity, LPIPS)感知指标以平衡结构保真与主观相似性。文章进一步设计了图像语义偏差值(Images Semantic Deviation, ISD)与语义相似度(Images Semantic Similarity, ISS)2 类指标度量语义偏差与语义匹配程度,填补了现有评价指标中缺乏主观一致性量化手段的空白。实验证明, STL-JSCC 在加性高斯白噪声(Adaptive White Gaussian Noise, AWGN)与瑞利信道下均实现更高的峰值信噪比(Peak Signal to Noise Ratio, PSNR)与感知一致性,在多种噪声环境下仍具备较强鲁棒性,为面向感知服务的 6G 图像传输体系提供了切实可行的技术解决方案。

人体关键点检测作为计算机视觉中最具挑战性的任务之一,尤其在多人密集、局部遮挡、视角变化剧烈等复杂场景下,准确估计关键点成为性能瓶颈。YOLOv8n-Pose 在效率与精度间取得初步平衡,但在复杂背景中仍存在感知弱、融合浅的问题。为此,《基于 YOLOv8n-Pose 关键点特征增强估计算法》提出 LBW-YOLOv8n-Pose 模型,从主干、特征融合结构及损失函数三方面进行改进。引入大核可分离注意力(Large Separable Kernel Attention, LSKA)模块增强网络对远距离语义结构的响应能力;加权双向特征金字塔网络(Bidirectional Feature Pyramid Network, BiFPN)多尺度融合模块提升细节特征集成质量,同时改进 Wise-IoU 损失以优化边界框回归过程中的稳定性与鲁棒性。在 COCO2017 数据集上实验结果显示,改进后模型平均精度值(mean Average Precision, mAP)提升至 81.7%,召回率提升超 4%,在遮挡与跨尺度姿态估计任务中展现出更强的适应性,对智能监控、人机交互和运动分析等场景具有广阔的应用前景。

果实与背景颜色相近时,目标检测系统往往难以分辨边界,导致农业场景下的自动采摘与果蔬识

别面临准确率瓶颈。该问题在叶片遮挡、光照复杂与单色背景干扰等田间环境中尤为突出。为此,《基于同色背景下的黄瓜果实识别方法研究》提出 YOLO-ACG 模型,通过自适应 HGStem 模块提升初始特征提取质量,引入空间校准模块(Context and Spatial Feature Calibration Network, CSFCN)对图像显著性区域进行细粒度重分布,结合通道注意力机制对特征权重进行动态调整,从而显著增强目标区域的响应。实验证明,在构建的黄瓜识别数据集上, YOLO-ACG 模型在 mAP、精度、召回率等多个指标上全面优于 YOLOv11n 基准模型,尤其在处理果实边缘模糊、背景复杂情形下表现稳定,有效提升了农业机器人识别系统的实地部署能力。

艺术图像具有风格多变、纹理复杂、标注稀缺等特点,传统卷积特征或纯掩码自监督方法在泛化性与判别能力方面仍面临挑战。为此,《面向艺术图像分类的频域增强对比学习方法研究》提出频域掩码对比(Frequency-Masked Contrast, F-MaCo)框架,在自监督学习中引入小波频域掩码扰动与动态感知误差加权机制,通过双分支对比结构提升风格语义建模能力。同时采用余弦调度的掩码率策略提升对结构与内容的逐步鲁棒感知,实现从浅层语义到高阶风格的逐层对比表达。实验证明,该方法在 Art-DL、Kaokore、MAMe 等多个艺术图像数据集上均取得当前最优 Top-1 精度,拓展了自监督范式在非自然图像域的适用边界。

(二) 无线通信与调制译码

在 6G 通信中,超大规模天线阵列(Extremely-Large Scale Multiple Input Multiple Output, XL-MIMO)引入近场传播特性,使信道由远场平面波向球面波过渡,导致传统信道估计方法在波束分裂环境中表现不佳。准确建模近场传播的极域稀疏结构成为提升系统性能的关键。为此,《一种基于多子载波的 XL-MIMO 系统宽带近场信道估计方法》提出双向融合多子载波增强型双线性模式检测(Bi-Directional Integrated Multi-Subcarrier Augmented Bilinear Pattern Detection, BDI-MSABPD)算法,通过构建极域预白化感知矩阵增强稀疏支持一致性,结合多子载波频域的联合估计机制,有效缓解频率扩展导致的稀疏误差积累问题。该方法兼顾子带能量集中性与极域结构表达能力,实现信道在低信噪比(Signal to Noise Ratio, SNR)环境下的高质量重构。仿真实验结果表明,BDI-MSABPD 算法在信道建模与状态信息(Channel State Information, CSI)估计精度、归一化均方误差(Normalized

Mean Squared Error, NMSE)性能与抗噪稳定性方面均优于现有主流算法,为宽带近场 MIMO 信道建模提供极具工程可实现性的求解路径。

差分混沌移位键控(Differential Chaos Shift Keying, DCSK)因其结构简单、抗干扰性强而广泛用于低功耗无线通信中,但传统 DCSK 方案在复杂信道下存在较高误码率。为了兼顾系统安全性与译码性能,《基于差分混沌移位键控调制的极化码译码研究》探索将极化码引入 DCSK 结构,构建极化码编码的差分混沌移位键控(Polar Coded-DCSK, PC-DCSK)通信系统。系统通过置信传播(Belief Propagation, BP)算法对接收信号进行软信息解码,引入极化通道构造机制提升高噪声信道下的信息判别能力。实验在 Nakagami 衰落信道下进行,仿真结果显示 PC-DCSK 显著优于传统 DCSK 在误码率与接收灵敏度方面的性能表现。本研究成功实现极化编码与混沌调制技术融合,为低功耗、高安全通信系统提供新的编码调制解决方案,在无人系统通信、IoT 轻量级终端等领域具有良好的实用价值。

在多用户通信场景下实现高可靠、高效的调制与译码设计,是 6G 通信架构中的关键研究问题之一。《两用户极化码广义空间调制系统的联合译码方法》围绕上行传输中的极化编码与广义空间调制(Generalized Spatial Modulation, GSM)融合问题,提出一套基于极化码嵌套结构的联合译码方案,系统提升多用户极化码-GSM 系统的译码性能。该研究构建了两用户极化码广义空间调制(Polar Coded-Generalized Spatial Modulation, PC-GSM)系统模型,利用极化码的信道极化特性引入嵌套结构,并结合 QR 检测方式设计联合译码器,在解码端对两用户进行联合处理而非分别解码,有效增强了译码器在长码结构下的极化增益。通过对数似然比拼接构造方式,译码器可直接处理双用户合并码字,提高子信道利用率。仿真分析表明,该方案在串行消除(Successive Cancellation, SC)和串行消除列表(Successive Cancellation List, SCL)2 种极化码译码模式下,均优于传统串行干扰消除式译码器,在误比特率与子信道极化程度上展现出明显优势。该研究为多用户通信中极化码与调制方式的耦合优化提供了新路径,在提升可靠性的同时兼顾复杂度控制,具有良好的扩展潜力,可进一步拓展至大规模用户协同场景下的极化调制一体化设计。

(三) 智能导航与融合建模

传统惯性导航系统(Inertial Navigation System,

INS)/全球卫星导航系统(Global Navigation Satellite System, GNSS)组合导航在GNSS失锁时面临误差累积问题,影响系统鲁棒性。尤其在隧道、城市峡谷等GNSS不可见区域,单靠惯性导航难以维持高精度定位。为此,《Transformer网络辅助的融合卫星与惯性导航技术》设计了基于Transformer的时间序列学习框架,在GNSS正常工作时学习INS状态与GNSS位置间的映射关系,并在GNSS失锁阶段利用Transformer预测位置变化量,实现对INS轨迹的智能修正。仿真实验结果表明,该方法在GNSS失锁30 s内将平均误差控制在传统方法的60%以内,具有优良的跨时域预测能力与泛化性能,为极端场景下的导航系统提供神经网络辅助的高可靠补偿机制。

综上,本专题全面展示了智能通信、存储与信息处理技术的最新研究进展,内容涵盖了图像识别与感知增强、近场通信建模与调制译码、智能导航融合机制、自监督学习在艺术图像领域的应用等多个方向。各篇论文从问题背景出发,聚焦关键技术创新,通过深入的理论分析与实证验证,展示了深度学习、信号处理与系统建模在现代信息技术体系中的交叉融合潜力。这些研究成果不仅推动了学术前沿的拓展,也为工程应用提供了可落地的解决方案。

在专题出版之际,特此感谢参与稿件函评的各位专家学者,感谢他们对稿件的审阅和提出宝贵意见,保证了专题稿件的质量。希望本专题对智能通信、存储与信息处理技术前沿研究能够起到借鉴和促进作用。