

# 面向新工科的《视觉媒体编码与通信》课程 教学改革探索与实践

## ——融合人工智能前沿技术与工程实践能力培养

毕海霞\*, 刘 威

西安交通大学信息与通信工程学院, 陕西 西安

收稿日期: 2026年5月3日; 录用日期: 2026年6月4日; 发布日期: 2026年6月11日

### 摘 要

人工智能时代视觉媒体的爆发式发展和新工科建设背景对信息工程专业人才的工程实践能力与前沿技术素养提出了新的要求。本论文以信息工程专业选修课《视觉媒体编码与通信》为实践对象, 提出“理论筑基 - 实验强化 - 前沿拓展”三位一体教学思路。在教学内容上, 将端到端深度语义编码、自监督语义表征学习等前沿研究方向融入课堂; 在实验体系上, 设计了视觉媒体“信号处理 - 视觉编码 - 智能感知”递进式综合实验; 在教学方法上, 引入案例驱动教学方式。实践表明, 改革后学生解决实际工程问题的能力得到提升, 对前沿技术的兴趣与创新意识明显增强, 可为新工科背景下同类课程的教学改革提供参考。

### 关键词

《视觉媒体编码与通信》, 教学改革, 语义编码, 自监督学习, 实验教学, 新工科

# Exploration and Practice of Teaching Reform in the Course “Visual Media Coding and Communication” for New Engineering Education

## —Integrating Cutting-Edge Artificial Intelligence Technologies and Engineering Practice Capability Development

Haixia Bi\*, Wei Liu

\*通讯作者。

## Abstract

The explosive growth of visual media in the era of artificial intelligence and the background of the construction of new engineering education have placed new demands on the engineering practice ability and cutting-edge technology literacy of information engineering professionals. This paper takes the elective course “Visual Media Coding and Communication” in information engineering as the practical object and proposes a three-in-one teaching approach of “theoretical foundation—experimental reinforcement—cutting-edge expansion”. In terms of teaching content, cutting-edge research directions such as end-to-end deep semantic coding and self-supervised semantic representation learning are integrated into the classroom; in terms of experimental system, a progressive comprehensive experiment of visual media “signal processing—visual coding—intelligent perception” is designed; in terms of teaching methods, a case-driven teaching approach is introduced. Practice shows that after the reform, students’ ability to solve practical engineering problems has been improved, and their interest in cutting-edge technologies and innovative awareness has been significantly enhanced, which can provide a reference for the teaching reform of similar courses under the background of new engineering education.

## Keywords

“Visual Media Coding and Communication”, Teaching Reform, Semantic Coding, Self-Supervised Learning, Experimental Teaching, New Engineering Education

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

当前,新一轮科技革命与产业变革正在重塑全球经济格局,以人工智能、大数据、5G/6G、物联网为代表的新一代信息技术加速渗透到经济社会的各个领域。为应对这一变革,教育部2018年印发了《关于公布首批“新工科”研究与实践项目的通知》,这标志着“新工科”建设在全国高校的实施工作正式启动[1]。“新工科”并非对传统工科的简单延续,而是立足于新经济、新产业发展需求,在原有教学理念和模式的基础上,对工科专业的培养目标、知识体系与教学方式进行系统性的改革与创新,明确提出要培养具有创新创业能力、跨学科交叉融合素养以及解决复杂工程问题能力的高素质工程技术人才[2]。信息工程是新一代信息技术的核心支撑学科之一,其人才培养目标也随之发生了变化,不仅要求学生掌握扎实的通信、信号处理与信息系统理论基础,更要求其具备前沿技术敏感度以及工程综合实践能力,这对传统专业课程的内容体系与教学方式都提出了新的挑战。

视觉媒体作为信息传递最直观、信息密度最大的载体,已成为支撑我国数字化战略落地的关键要素[3]。在智慧城市建设、智慧医疗领域、智慧农业场景和智慧交通领域所产生的海量影像视频数据应用,高度依赖大规模视觉媒体的实时采集、压缩与传输,将视觉媒体编码与通信推到了产业前沿。与此同时,短视频、直播电商、虚拟现实/增强现实、云游戏等消费级业务规模持续扩大,对视觉媒体的传输能力与

体验质量提出了新的挑战。伴随业务规模的扩张, 视觉媒体编码与通信的技术范式也正在发生变化。一方面, 传统编码框架虽然在压缩效率上不断逼近理论极限, 但其本质仍是面向人眼感知的信号级编码, 难以适配机器视觉、语义理解等新型应用对任务相关信息的提取与传输需求[4]; 另一方面, 深度学习技术的飞速发展, 使得面向机器的端到端深度视频编码、自监督语义表征学习等新型视觉表征与压缩范式不断涌现, 并在码率、语义保真度等关键指标上展现出超越传统方法的潜力[5]。人工智能与视觉媒体编码的深度融合已成为必然方向, 也对相关课程的知识体系、实践体系和能力培养目标提出了更新要求。围绕这一变革, 已有研究在数字图像处理、信号与系统和移动通信技术等相近课程中开展了教学改革探索, 主要集中于人工智能案例融入、Python 实践训练、虚实结合实验、项目驱动教学、产教融合机制和多元过程评价等方面[6]-[9]。国外工程教育研究也表明, 生成式人工智能正在推动课程设计、个性化反馈和能力本位培养模式转变, 结构化的人工智能应用训练有助于提升学生的工程学习效果[10] [11]。

然而, 现有改革多聚焦图像处理、信号分析或通信技术中的单一课程模块, 对视觉媒体编码与通信所涉及的信号处理、压缩编码、传输机制和智能感知之间的完整技术链路的贯通式教学关注不足。因此, 本文以信息工程专业选修课“视觉媒体编码与通信”为研究对象, 开展面向新工科要求的教学改革探索, 旨在传统编码理论与智能视觉前沿之间建立有效衔接, 引导学生在动手实践中理解视觉媒体处理的完整链路, 培养其解决实际工程问题的综合能力, 为高校培养新时代高素质信息工程人才提供教学层面的有益借鉴。

## 2. 教学现状与学情分析

### 2.1. 教学现状

“视觉媒体编码与通信”是面向信息工程专业高年级学生开设的一门专业选修课, 承担着衔接信号处理基础理论与多媒体通信工程实践的桥梁作用。多年来, 本课程在帮助学生构建视觉信号采集、压缩编码、传输与显示等知识体系方面发挥了积极作用。然而, 随着人工智能时代视觉媒体业务形态的快速演进, 以及面向机器视觉的新型编码与通信范式的持续涌现, 沿用已有教学内容与模式已逐渐表现出与学科前沿之间的明显落差。本课程目前在内容体系、实践环节与能力培养等方面主要存在以下局限性。

(1) 教学内容相对陈旧, 难以反映学科最新发展。现行经典教材与课件大多以传统混合编码框架为主线, 围绕变换、量化、预测和熵编码等模块展开, 知识体系本身较为成熟稳定。但这种内容设置对近年来快速发展的深度学习驱动的新一代视觉处理范式覆盖不足。

(2) 理论讲授与工程实践之间存在脱节。当前课程在内容安排上偏重编码理论与算法原理的讲授, 对工程实践环节的整体设计相对薄弱。一方面, 课堂教学的重心仍主要落在变换、量化、预测、熵编码等模块的数学推导与理论分析上; 另一方面, 缺乏与之配套的工程实践设计, 尤其是缺乏自主开展视觉媒体处理及编码模块设计、参数调优与结果分析的实践机会。

(3) 学生对学科前沿和科研一线缺乏。当前视觉媒体编码与通信领域正处于深度学习与传统信号处理深度融合的阶段, 端到端深度语义编码、自监督语义表征学习、面向机器视觉的语义通信等方向已成为学术界和工业界的研究热点。然而, 这些前沿研究方向目前在课堂上涉猎甚少, 学生对其核心思想和典型方法等缺乏系统了解。

### 2.2. 学情分析

本课程面向信息工程专业三年级本科生开设, 授课对象呈现三方面特征。其一, 专业基础相对扎实但综合应用能力有待提高。学生在前期已学习了“信号与系统”、“数字信号处理”、“通信原理”等核心课程, 但在面对综合性问题时缺乏将零散知识点整合为系统解决方案的能力。其二, 对人工智能和深

度学习兴趣浓厚但缺少系统训练。受当前科技热点和就业导向影响, 大多数学生对深度学习抱有强烈的学习意愿, 部分学生甚至已接触过常见框架和模型, 但其知识结构普遍呈现碎片化特征, 缺乏从原理到工程的系统性训练。其三, 作为选修课的学习者, 主动性较强但需要适度引导。选修课的课程定位决定了选课学生大多出于真实兴趣或明确的发展规划, 整体学习投入度高于必修课程, 但与此同时, 他们也对课程的前沿性、挑战度和获得感有更高的期待。

综合分析上述教学现状与学情特征, 当前本课程最突出的问题在于, 视觉媒体编码与通信技术发展迅速, 而传统的教学内容与实践模式更新相对滞后, 二者之间的落差明显。与此同时, 授课对象具备良好的知识基础和较强的学习主动性, 这也为开展更深层次的教学改革创造了有利条件。

### 3. 教学改革思路与实践

#### 3.1. 总体改革思路: 构建“三位一体”教学框架

针对上述教学痛点与学情特征, 本课程提出了如图 1 所示的“理论筑基 - 实验强化 - 前沿拓展”的三位一体教学框架, 以兼顾传统视觉媒体处理及编码理论的传承, 以及面向人工智能时代视觉媒体技术变革的能力培养。其中, 理论筑基强调对视觉媒体信号采集、处理与压缩编码核心原理的系统讲授, 使学生掌握扎实的学科理论基础; 实验强化强调通过递进式综合实验体系打通信号处理、视觉编码、智能感知链路, 培养学生解决工程问题的能力; 前沿拓展将端到端深度语义编码、自监督语义表征学习等学科前沿融入教学过程, 使学生在掌握经典理论的同时具备面向未来的技术视野。三者并非彼此孤立, 而是相互支撑, 形成递进的有机整体, 共同支撑信息工程专业新工科人才培养的总体目标。

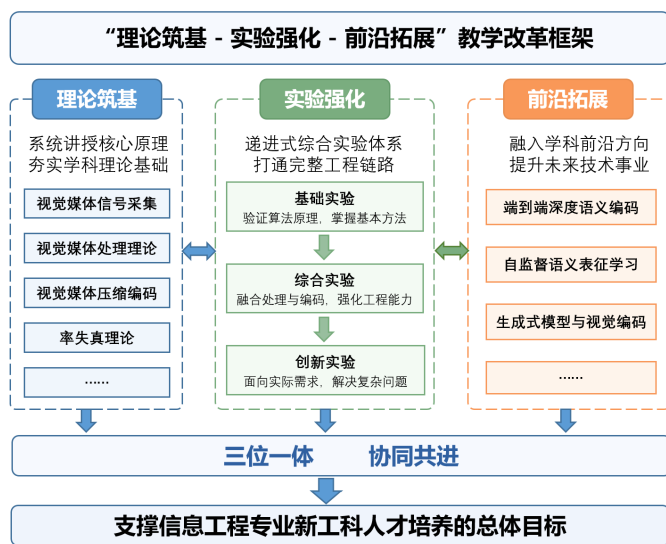


Figure 1. Illustration of the integrated teaching framework of “theory foundation, experimental reinforcement, and frontier expansion”

图 1. “理论筑基 - 实验强化 - 前沿拓展” 三位一体教学框架示意图

#### 3.2. 教学内容重构

基于上述三位一体框架, 本课程重构了教学内容。总体思路是: 保留并优化经典理论模块, 夯实学科基础; 强化工程实践模块, 使得理论与实践有效衔接; 新增前沿技术模块, 推动课程内容与学科发展保持同步。三个模块在课时分配、知识深度与能力指向上各有侧重, 又相互支撑, 共同构成本课程的完

整知识框架。

### 3.2.1. 经典理论模块：保留并优化

经典理论模块是本课程的知识主干，承担着为学生构建学科理论基础的根本任务。改革后该模块在内容上予以保留并适度优化，主要涵盖以下三方面内容：一是视觉媒体信号采集与显示，包括成像原理、色彩空间、采样与量化等基本概念；二是视觉媒体处理基础，涵盖空域滤波、频域变换、运动估计等核心信号处理方法；三是压缩编码原理与主流标准，重点讲授变换编码、预测编码、熵编码等核心机制，并以 JPEG、MPEG 等主流标准为典型案例展开剖析。优化的重点在于精简部分推导细节、突出核心思想脉络，为前沿技术模块的引入腾出必要的课时空间。

### 3.2.2. 工程实践模块：构建四阶递进式综合实验体系

工程实践模块是本次改革的重点突破口。针对前述“重理论、轻工程实践”的痛点，本课程设计了四阶递进式综合实验体系，遵循以下三条核心设计逻辑：

(1) 难度递进：实验 1 至实验 4，从单帧空域处理逐步过渡到多帧时序处理，再到基于深度学习的智能感知任务，难度逐级提升，与学生的认知规律相契合；

(2) 经典与智能并行：实验 1、实验 2 聚焦经典视觉媒体处理与压缩算法，承接课堂理论；实验 3、实验 4 则引入基于深度学习表征的视觉媒体感知算法，对接学科前沿；

(3) 链路完整闭合：四个实验依次覆盖“信号处理 - 视觉编码 - 智能感知”完整工程链路，使学生在动手实践中理解视觉媒体从原始信号到智能任务输出的全流程。

此外，每个实验均设置拓展环节，鼓励学生自主设计视觉媒体处理模块、自主选择参数与评价指标，以考查其工程综合能力与创新能力。具体的实验体系如表 1 所示。

**Table 1.** Design of the four-stage progressive comprehensive experiment system

**表 1.** 四阶递进式综合实验体系设计

序号	实验名称	对应知识点	能力培养
实验 1	空间滤波与边缘检测	视觉信号预处理、空域滤波	基础图像处理
实验 2	光流法二维运动估计	视频编码运动估计	经典编码算法实现
实验 3	YOLO 目标检测	深度学习视觉感知、单帧目标识别	模型部署、深度学习框架使用
实验 4	尺度自适应目标跟踪	多帧时序关联与轨迹管理	检测跟踪联合系统设计

从表 1 可以看出，实验 1 以空域滤波与边缘检测为切入点，帮助学生建立视觉信号预处理的基本概念；实验 2 为光流法二维运动估计，衔接视频编码中运动估计这一核心模块；实验 3 引入基于 YOLO 的目标检测，通过深度学习驱动的视觉感知任务，培养学生深度学习模型部署与框架使用的基本技能；实验 4 则以尺度自适应目标跟踪算法为载体，要求学生在 YOLO 检测结果之上构建跟踪算法，理解检测器与跟踪器之间的协同关系，并在遮挡、尺度变化等复杂场景下进行工程调优。四个实验环环相扣，相互支撑，形成从信号处理到视觉媒体编码，再到智能机器视觉任务的系列性实验。

### 3.2.3. 前沿技术模块：案例驱动智能语义编码

前沿技术模块是本次改革的特色亮点，介绍了两个具有代表性的前沿研究方向。为避免前沿内容停留在概念层面，本模块将教师团队的实际科研成果直接引入课堂，作为教学案例。包括：

(1) 面向机器视觉的端到端深度语义编码。该方向打破了传统面向人眼的编码思路，强调以下游机器

视觉任务为优化目标,对视觉信号进行任务相关的语义级压缩与传输。课程组教师团队研究了人机差异驱动的视觉数据特征编码,即以人机视觉特征残差压缩的低码率分层编码为核心思想,对机器视觉特征进行两级去冗余提取,并设计人眼与机器视觉之间的残差模块,使得码流能够同时满足机器视觉分析任务与人眼感知体验的双重需求,是面向机器视觉编码的典型探索[12][13]。

(2) 自监督语义表征学习。该方向通过设计自监督预训练任务,从大规模无标注数据中学习通用的视觉语义表征,已成为缓解标注瓶颈、提升模型泛化能力的关键技术。课程组教师团队研究了面向遥感图像的自监督语义表征学习,分别提出了基于对比学习和生成式扩散模型的表征学习方法,构建了遥感图像的自监督预训练框架,并将所学语义表征迁移到地物分类、目标检测、变化检测等下游任务中,体现了自监督语义表征学习在专业视觉媒体数据分析中的应用价值[14][15]。

**实施案例:**以极化 SAR 遥感图像解译为例,课程进一步引入了教师团队关于自监督语义表征学习的前沿研究。与光学遥感数据相比,极化 SAR 数据具有成像机理复杂、散射特性强、专业解译门槛高等特点,其像素级或场景级标注通常依赖领域专家判读,获取成本高、周期长,且不同类别样本数量往往明显不均衡,导致监督学习方法容易受到标注稀缺和类别不平衡的双重制约。基于这一实际问题,课程在前沿拓展环节引导学生思考:当高质量标注难以大规模获得时,如何充分利用海量无标注极化 SAR 数据学习具有判别性的语义表征?围绕这一研究动机,教师团队介绍了论文“Polarimetry-inspired Contrastive Learning for Class-imbalanced PolSAR Image Classification”,说明该工作如何结合极化 SAR 数据的物理散射特性与对比学习思想,在自监督预训练阶段挖掘样本间的潜在语义结构,从而为后续少样本、类不平衡条件下的极化 SAR 图像分类提供强判别性、鲁棒的特征表示。通过这一案例,学生不仅能够理解自监督学习从无标注数据中学表示的基本思想,也能够进一步认识到从数据标注瓶颈的挑战出发进行任务需求分析和方法创新的内在联系。

综上所述,通过将科研一线成果转化为课堂教学素材,学生不仅能够直观感受到前沿技术的研究脉络与工程价值,也能在潜移默化中建立起对学术研究的初步认知,为后续深造或进入相关产业领域奠定良好基础。

### 3.3. 考核方式改革

针对本课程理论与实践并重的定位,本课程调整了考核方式的整体结构与权重分配,强化对工程实践能力与综合素养的考查。具体而言,课程评价不再仅以期末试卷为唯一标准,而是形成了贯穿整个学期、覆盖理论、实验、前沿三个维度的多元化评价体系,与三位一体教学框架在考核环节实现了有机闭环。其中,平时成绩占比 10%,主要用于激励学生的日常学习投入,重点考查课堂参与度。实验成绩占 40%,进一步细分为三个子项:基础实验完成情况占 50%,主要考查学生对四阶实验所涉及核心算法与流程的掌握程度;实验拓展占 20%,鼓励学生在基础实验之上自主设计算法改进方案或拓展应用场景,重点考查创新能力;实验报告 30%,重点考查学生的分析归纳与工程文档撰写能力。期末考核占比 50%,在保留对经典编码理论考查的基础上,同时设计了针对最新人工智能视觉媒体处理技术掌握程度的考核。

## 4. 教学成效

课程组在课程结束后通过匿名问卷调查与访谈相结合的方式收集了学生反馈。调研结果显示,学生对前沿技术的兴趣有明显提升,多名同学反馈课程学到的知识很新颖很有用对于以后的研究学习很有帮助。前沿模块所传递的研究方法与思维方式,激发了学生开展自主探索的内生动力。课程期间,多组同学在课程内容的启发下,主动延伸到相关前沿课题的研究中,并取得了具有一定创新性成果。下面以两组代表性同学的实践经历为例加以说明。

### 案例一：基于 Mamba 的高效遥感图像对比学习方法研究

第一组同学受课程中自监督语义表征学习模块的启发, 对自监督学习在专业领域图像中的应用产生了兴趣。他们经过文献调研, 发现合成孔径雷达(Synthetic Aperture Radar, SAR)图像解译面临标注成本高导致标注难以获取的挑战。为此, 该小组将状态空间模型 Mamba 引入到 SAR 图像自监督对比学习框架中, 利用其线性复杂度的长序列建模能力替代传统自注意力机制, 并针对 SAR 图像的散射特性设计了相应的正负样本构造策略与对比损失。实验结果表明, 该方法在多个公开 SAR 数据集的下游分类任务上, 相比基线方法在精度与效率两方面均取得了较为明显的提升。这一探索体现了学生将课堂前沿知识迁移到具体科研问题的能力, 也展现了课程教学对学生科研选题视野的潜移默化影响。

### 案例二：基于信道状态信息的人体姿态估计方法

第二组同学则将课程中面向机器视觉的语义感知思想拓展到了无线感知这一交叉领域。他们以信道状态信息(Channel State Information, CSI)为感知输入, 探索在无摄像头条件下进行人体姿态估计的可行性。该小组建模了多个信道状态特征之间的时序依赖关系, 提取 CSI 信号在时间维度上的精细动态特征; 进而将 CSI 时序特征与姿态概率热力图在不同语义层级上进行交互融合, 最终实现了较为准确的人体姿态识别。该工作实现了从视觉媒体感知到无线信号感知的方法迁移, 也为隐私敏感场景下的智能感知提供了新的思路, 体现了学生在跨学科问题上的综合工程设计能力与创新意识。

上述两个案例均产生于课程教学期间, 从侧面印证了本次教学改革在两个维度上的成效。其一, 在学术内驱力层面, 学生在完成课程基本要求之外, 自发主动延伸到学科前沿问题的研究中, 反映出课程在激发学习内生动力、建立科研兴趣方面发挥了潜移默化的作用; 其二, 在工程实践能力层面, 学生在课题推进过程中能够独立完成文献调研、方法设计、算法实现与实验分析等研究环节, 体现了其在课程学习中所积累的解决复杂工程问题的综合能力。上述成效与新工科建设对信息工程人才的培养要求高度契合, 证实了三位一体教学改革思路的合理性。

## 5. 结语

面向新工科建设对信息工程人才培养的新要求, 本文以视觉媒体编码与通信课程为载体, 提出并实践了“理论筑基 - 实验强化 - 前沿 - 拓展”三位一体教学改革框架, 通过教学内容重构、四阶递进式综合实验设计与教师团队科研成果的有机融入, 实现了科教融合、前沿引领课堂的良性互动。教学实践证明, 本次改革在学生能力与学习兴趣两个维度上均取得了较为积极的成效。本文所提出的改革思路与实践经验, 可为信息工程专业中面临类似转型挑战的同类课程提供有益借鉴。未来, 课程组将持续跟踪学科前沿、完善教学评价闭环, 推动课程在迭代中不断升级, 为培养具备扎实理论基础、突出工程能力与开阔学术视野的新一代信息工程人才持续贡献力量。

## 基金项目

项目等级：国家自然科学基金面上项目。

项目名称：多频段全极化 SAR 基础模型预训练及其地物分类应用。

项目编号：42571393。

## 参考文献

- [1] 姜晓坤, 朱泓, 李志义. 新工科人才培养新模式[J]. 高教发展与评估, 2018, 34(2): 17-24.
- [2] 陈健, 郑雅丹, 林丽. 新工科背景下面向学生的数字图像处理课程案例教学研究[J]. 计算机教育, 2026(4): 302-308.
- [3] 何小海, 李鑫磊, 魏海涛, 毕晓东, 聂尧佳, 熊志娜, 张皓彦, 熊淑华. 深度学习驱动的视频编码: 方法、进展与

- 展望[J]. 数据采集与处理, 2026, 41(2): 515-542.
- [4] 万帅, 杨付正. 新一代视频压缩标准 H.265/HEVC 原理、标准与实现[M]. 北京: 电子工业出版社, 2014.
- [5] 熊轲, 严祥康, 毛晋, 董瑞. 樊平毅基于自监督学习的多任务图像无源域适应语义通信框架[J/OL]. 北京航空航天大学学报, 1-15. <https://doi.org/10.13700/j.bh.1001-5965.2025.0579>, 2026-06-02.
- [6] 张垚鑫, 张旻. 基于人工智能背景下应用型本科院校的“数字图像处理”课程教学改革[J]. 教育进展, 2024, 14(12): 1149-1154.
- [7] 晏苏红, 谢于晨, 赵红霞. 人工智能赋能《信号与系统》课程教学改革研究[J]. 职业教育发展, 2025, 14(7): 181-187.
- [8] 范迪, 孙慧敏, 周钰慧, 滕升华. 数字图像处理的“三融合、三驱动、三协同”课程教学创新实践[J]. 创新教育研究, 2024, 12(9): 271-277.
- [9] 纪昕茹, 陈杰, 李鑫, 张博芝. AI 赋能移动通信技术课程产教融合教学改革研究与实践[J]. 社会科学前沿, 2026, 15(3): 1-7.
- [10] Garg, A., Soodhani, K.N. and Rajendran, R. (2025) Enhancing Data Analysis and Programming Skills through Structured Prompt Training: The Impact of Generative AI in Engineering Education. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, **8**, Article ID: 100380. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2025.100380>
- [11] Khatry, K. and Samsami, R. (2025) Engineering Education in the Era of Generative Artificial Intelligence (Gen AI): Current State and Future Directions. *2025 ASEE Northeast Section Conference*, Bridgeport, 22 March 2025.
- [12] Wang, T.Y., Li, F., Qiao, X.Y., et al. (2021) Low-Complexity Error Resilient HEVC Video Coding: A Deep Learning Approach. *IEEE Transactions on Image Processing*, **30**, 1245-1260. <https://doi.org/10.1109/tip.2020.3043124>
- [13] Mei, Y., Li, L., Li, Z. and Li, F. (2022) Learning-Based Scalable Image Compression with Latent-Feature Reuse and Prediction. *IEEE Transactions on Multimedia*, **24**, 4143-4157. <https://doi.org/10.1109/tmm.2021.3114548>
- [14] Kuang, Z.Z., Bi, H.X., Li, F., Xu, C. and Sun, J. (2024) Polarimetry-Inspired Contrastive Learning for Class-Imbalanced PolSAR Image Classification. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **62**, Article ID: 5212819. <https://doi.org/10.1109/tgrs.2024.3403100>
- [15] Kuang, Z.Z., Bi, H.X., Li, F. and Xu, C. (2025) ECP-Mamba: An Efficient Multiscale Self-Supervised Contrastive Learning Method with State Space Model for PolSAR Image Classification. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **63**, Article ID: 5218718. <https://doi.org/10.1109/tgrs.2025.3601583>