用于无监督工业异常检测的隐式多教师蒸馏

吴兰兰[1,2]，杨高明[1,2,3]，王修君[4]，张吉[5]，刘志[6]
[1]安徽理工大学煤炭无人化开采数智技术全国重点实验室，中国淮南市，232001
[2]安徽理工大学计算机科学与工程学院，中国淮南市，232001
[3]安徽理工大学第一附属医院，中国淮南市，232001
[4]安徽工业大学计算机科学与技术学院，中国马鞍山市，243032
[5]南昆士兰大学数学、物理与计算学院，澳大利亚图文巴，4350
[6]电气通信大学计算机与网络工程系，日本东京，182-8585

摘要：工业异常检测在智能制造中具有重要意义，因为缺陷会降低产品可靠性。现有基于知识蒸馏的方法通常采用单一教师网络，限制了特征多样性和鲁棒性。多教师方法往往需要在不同网络架构之间进行显式特征对齐，这可能引入语义冲突并削弱异常响应。本文提出一种面向工业异常检测的隐式多教师蒸馏（IMTD）。IMTD采用3个具有互补性的教师网络，即ResNet18、ResNet34和Wide-ResNet50，从不同特征空间中提取纹理、结构和语义表征。每个教师网络均配备一个仅在正常样本上训练的独立解码器，从而实现无需跨架构特征对齐的隐式知识迁移。进一步引入一种假阴性感知最大响应聚合（FN-MRA）模块，以在融合过程中保留最强的异常证据。在MVTec 异常检测（MVTec AD）、视觉异常基准（VisA）和金属部件缺陷数据集（MPDD）上的实验表明，IMTD在图像级和像素级异常检测中均持续优于近期先进方法。结果证明了在异常样本稀缺条件下，融合互补教师网络、隐式重建和最大响应聚合策略的有效性。

关键词：工业异常检测；知识蒸馏；多教师集成；隐式重建；假阴性感知最大响应聚合（FN-MRA）
https://doi.org/10.1631/ENG.ITEE.2026.0151