

摘要

随着视觉数据的爆炸式增长，无监督表征学习，即利用海量无标注数据学习对视觉语义信息的表示能力，已然成为研究热点。机器回环（Machine-Loop）是无监督表征学习中的一种重要学习范式，这一范式迭代地利用模型推理生成伪标签，再根据伪标签更新模型。然而，由于模型的监督信息完全基于其自身推理，这种正反馈作用会导致模型重复强化现有的视觉模式，而忽视其他潜在特征，进而引发特征退化现象，即模型中区分性特征模式的多样性逐渐衰减，严重影响特征模型的判别性。因此，在无监督学习中增强模型的多样化表征，已成为一个亟待解决的科学问题。

无监督学习下模型的多样化表征面临两方面挑战：一方面，模型的自监督信号过度关注已有的判别模式，导致模型缺乏差异性表征，制约了下游视觉任务的精准性；另一方面，单一模型学习范式下模型表征视角缺乏全面性，从而限制了模型的泛化能力。针对以上挑战，本文从竞争学习、合作学习、竞争合作协同学习三个层面系统地开展研究，旨在通过模型或子模型间的相互对抗或协同机制，分别实现差异性表征模式的挖掘与多表征视角的全面集成，最终通过竞争与合作的联合优化，深入发掘并融合模型的多样性表征。本文将所提出的方法应用于行人重识别这一典型的表征学习任务，并验证了其有效性。本文的主要创新成果如下：

第一，提出了一种自举对手的对抗竞争学习方法，用于解决模型差异性表征的挖掘与增强问题。本方法创新性地使用一种自举最小最大化的优化策略，该策略避免了模型对当前数据伪标签的直接学习，而是基于特征空间构建一个生成式的辅助对手，一方面对抗性地挖掘并生成当前特征视角下难以辨识的困难训练样本，另一方面利用样本聚类簇的增广不变性对差异性表征进行增强。与现有方法相比，本方法通过竞争式增广有效挖掘了模型表征视角的差异性，构建了更具判别力的特征空间。在行人重识别国际基准数据集上的实验结果表明，本方法在发表时比相关前沿方法准确率提升 5% 以上。本方法进一步部署在鹏城实验室半自动标注平台 PLabel 中，累计自动标注超 180 万标注框。

第二，提出了一种无监督多模型交互合作学习方法，用于解决多模型互补性视角的自适应集成问题。本方法首次以无监督方式整合不同模型之间的互补性表征视角，模型间通过同时在身份类别空间与相似度量空间进行特征信息交互，实现多角度下的模型表征隐性集成。在此基础上，本方法对各模型聚类簇的分布特性进行评估，从而对不同模型进行置信度自调整，进一步实现自适应的合作学习。与现有方法相比，本方法在合作学习中有效强化了模型表征视角的多样化扩展。在行人重识别国际基准数

据集上的实验结果表明，本方法将基于机器回环学习的基础方法性能提升 6% 以上。

第三，提出了一种模型群进化合作学习方法，进一步解决多模型全面性表征的自动探索与演进问题。本方法首次将进化探索策略引入无监督多模型学习的框架中，通过迭代的超参数复制突变与模型自适应选择，对固有的特征视角空间进行扩展，进而学习更全面的表征能力。在模型选择中，本方法将模型的组合优化建模为多智能体合作博弈问题，同时采用交叉训练实现对模型性能的近似评估，从而高效地从种群中筛选出近似最优的模型子集。与现有方法相比，本方法通过种群的进化合作充分探索了更为全面的表征视角，在相当训练成本下使得小型模型性能超过了单独训练的 5 倍参数量的大型模型。在行人重识别国际基准数据集上的实验结果表明，本方法比前沿方法性能提升了约 6%。本方法进一步在华为 65 万 ID 大规模行人重识别数据集进行测试，比基础方法性能提升 8%。

第四，提出了一种混合模型竞争合作学习方法，协同解决大规模组合模型的多样性挖掘与集成表征问题。本方法创新性地混合模型的大规模组合空间中，构建竞争与合作的联合优化：一方面利用路径门控间的竞争学习实现差异性视角探索；另一方面在特征视角间通过合作学习集成更为全面的模型表征，最终实现特征视角群的关联与集成。在行人重识别国际基准数据集上的实验结果表明，本方法在无监督领域适配任务上比国际前沿方法性能提升 10% 以上。本文进一步将竞争合作学习应用到开放场景下的行人重识别增量学习任务中，比前沿增量方法性能提升 1.4%，验证了本方法对于增量学习场景的适用性。

综上所述，本文围绕无监督学习中模型的多样性表征问题，完成了自举对手对抗竞争、无监督多模型交互合作、模型群进化合作、混合模型竞争合作等方面的研究，改善了机器回环范式下的特征退化现象，并应用在行人重识别任务中，有效提升了无监督条件下行人重识别系统的准确率和泛化性。此外，本文的研究工作为后续更深入地探究机器回环中的模型多样性表征问题奠定了基础。

关键词：无监督学习；模型表征多样性；多模型学习；竞争合作；行人重识别