

《基于因果推断的医学影像诊断算法研究》

李静 2001111357 计算机学院

摘要

近年来,随着以深度学习为核心的机器学习技术不断发展,人工智能在很多领域取得了很大的进步。然而,当前的深度学习算法仍然存在很大的问题,如需要收集大量的数据进行训练,对数据的独立同分布的假设要求高,算法难以稳定地迁移和泛化,以及具有难以解释的特点等等。由于以上问题的存在,现有的深度学习算法容易出现预测不稳定的情况,这种稳定性和可信性缺乏保障的模型可能在实际的应用中造成严重的后果,比如对于安全度要求很高的医学诊断领域。针对以上问题,本文提出了基于因果推断框架的医学影像诊断方法,通过借助不同类型疾病的医学先验知识,从因果图的建模,干预和反事实三个层面构建出不同的机器学习模型,对于时间序列型疾病,跨域型疾病及具有双侧不对称性结构的疾病分别进行了有效分析和诊断。

因果图的建模为因果推断的第一层级,通过因果图的建模可以更清晰地阐述疾病的产生过程,帮助算法学习与疾病真正相关的影像特征,从而实现疾病诊断中的稳定预测。本文针对时间序列型的疾病进展诊断,通过建立基于时序先验的因果图来刻画疾病随时间发展的过程。在该因果图中,每个时间步由不同的隐变量生成图像及属性等观测数据,其中疾病相关的隐变量与其他疾病无关的隐变量进行了显式的解耦。理论上,通过提供个人属性信息和疾病标签作为辅助信息和监督信息,本文提出可识别性理论证明因果图中与疾病相关的隐变量可以与其他疾病无关隐变量解耦分离。方法上,本文提出了因果隐马尔可夫模型,设计了一种具有新的目标函数的序列变分自编码器框架对于该因果图进行学习。实验上,本文将该算法应用于视盘萎缩症在未来阶段的诊断预测,并在具有分布差异的测试数据上进行了模型评估,取得了优于以往方法的稳定预测效果。

因果图的干预为因果推断的第二层级,通过对图中的变量进行人为干预,干预后的结果可以作为额外的有益信息辅助疾病的诊断。本文提出了一个因果图来刻画多域医学数据的生成过程,利用多域来源的医学先验,设计了一个基于互干预机制的因果跨域隐变量模型。理论上,本文提供了针对该因果图的可识别性理论,保证该因果图中域相关隐变量和域无关隐变量的解耦分离。方法上,本文设计了一种互干预机制,对于因果图中域无关的隐变量和域相关的隐变量进行域间重组,并对于重组变量的生成效果使用对抗学习进行约束,从而更好地促进域相关和域无关隐变量的解耦学习。实验上,本文将该方法应用在了糖尿病视网膜病变的跨域诊断上,将模型在未见过的新域数据集上进行测试,取得了优于以往方法的泛化效果。

因果图的反事实推理为因果推断的第三层级,通过已知的疾病影像,反推其健康状态下的影像特征,通过进行反事实特征生成可以更准确地定位病灶从而辅助疾病诊断。本文针对具有双侧不对称性结构的医学影像建立了一个因果图刻画疾病的产生过程,利用病灶一般不在双侧对应位置同时出现的医学不对称性先验,设计了一个反事实生成网络模型。理论上,本文提出了针对双侧影像的因果图在不对称性先验下的反事实生成理论。方法上,本文设计了一个反事实生成网络,由生成对抗网络和预测反馈机制组成,共同达到反事实生成的目标并同时进行疾病的诊断。实验上,本文在具有双侧不对称性结构的乳腺良恶性诊断问题上进行了模型评估,在多个乳腺公开数据集及私有数据集上取得了优于以往方法的预测效果。

综上所述，本文通过因果推断框架中的因果图建模，图节点干预和反事实推理三个层面，分别（1）提出了时间序列因果图中隐变量解耦的可识别性理论，并设计了因果隐马尔可夫模型进行因果图的学习，在视盘萎缩症的预测任务中取得了优异的预测效果；（2）提出了跨域因果图中隐变量解耦的可识别性理论，并设计了基于互干预机制下的因果跨域隐变量模型进行因果图的学习，在糖尿病视网膜病变预测任务中取得了优异的泛化预测效果；（3）提出了基于医学不对称先验的反事实生成理论，设计了相应的反事实生成网络模型，在双侧乳腺良恶性诊断任务中取得了优异的预测效果，证实了本文所提出算法的创新性和有效性。