

**科学研究与创新实践**

**结题报告**

|  |  |
| --- | --- |
| **题目/Title：** | 人体运动质量评估研究分析 |
| **姓名/Name：** | 唐华 |
| **学号/Student ID：** | 520021911426 |
| **导师/Supervisor：** | 李勇祥 |
| **专业/Major：** | 工业工程 |
| **日期/Date：** | 2023年9月12日 |

**机械与动力工程学院**

**结题摘要/Abstract**

对项目完成情况及取得的成果做简述，500字以内。A brief description of the completion of the project and the results achieved, within 500 words。

1. 代码实现。对于现有论文中采用方法里的不足进行改进，代码实现attention based hierarchical ST-Transformer skeleton-based human motion quality assessment
2. 未来计划的方案
   1. 改进目前方案里的Transformer架构以加快计算速度。目前计算速度较慢(~12h per session)，考虑到Transformer可被视为全连接的GCN，因此可考虑结合GCN的特点，randomly drop certain connections from key to value以加快计算速度;
   2. 约束每个node所表达的物理含义以更好measure the performance。依据人体关节自由度，对于hidden layer 的nodes数量可以进一步调整，并约束每个node所表达的物理含义
   3. 使用多任务学习以增强模型对关节知识的获取。目前模型仅仅实现：在某一特定动作的数据集下训练，并衡量该动作的质量，且仅能识别特定的motion error。计划在未来通过多任务学习的方式以增强模型的泛化能力；
3. 学习笔记 (简单摘取两点如下)
   1. 常用分类技术如Sparse，VAE等等的优缺点。Sparse AE不同于加入drop layer，其由于sparsity约束，对于学习的知识起到了”集聚”作用 (即限制在部分nodes里)，因此无法实现集成模型的目标，反而更适用于classification或多任务学习；
   2. 从regression任务出发，对于ordinal regression中regression head最优表征方式的探索笔记。在文献搜集中逐渐了解到，可以借助对运动质量划分等级的方式，来增强对于噪声的抵抗能力 (此处分数的目的仅仅为了帮助受试者调整动作，而并无实际含义)，也因此值得研究如何借助ordinal regression来实现人体运动质量评估。
4. **研究计划及执行情况概述/Plan and Implementation**

请概述研究计划及其执行情况，并说明研究目标完成情况。Please outline the research plan and its implementation, and explain the completion of the research objectives.

由于研究目标在过程中进行了调整，因此将研究计划分为两个阶段：

第一阶段：在第一阶段的研究中，我旨在深入了解Sparse AE的性质，并探索其在人体动作质量评估领域的应用潜力。为了实现这一目标，我制定了以下详细的研究计划：

1. **研究计划**：
   1. 文献综述与算法改进：首先进行广泛的文献综述，深入研究Sparse AE的相关论文，以了解其基本原理和应用领域。然后基于文献中的直觉设计，尝试改进现有的Sparse AE算法，以提高其性能和适用性。
   2. 节点物理含义的探索：理解Sparse AE中各个节点所代表的物理含义，尤其是如何与医学评估相关联。进行了深入的数据分析，以确定在满足稀疏性条件下各个节点的贡献和解释。
   3. 理论研究与影响分析：着眼于理论层面，研究稀疏性约束的意义以及其对研究结果的影响，从而进一步分析稀疏性约束如何影响模型的性能和泛化能力
2. **执行情况**：在执行这一阶段的研究过程中初步完成了第一部分工作，但在进行代码复现时，我遇到了一些挑战和问题
   1. 计算效率问题。在尝试运行Sparse AE模型时，我遇到了计算速度极慢的问题(~16 h per session)，尽管已经尝试了多种优化方法。与原论文描述存在巨大的计算速度差异，这使得研究进展受到了限制。
   2. 数据预处理问题。原作者采用标准标准化而非max-min归一化，这可能导致结果不稳定。数据集划分方法也引发了疑虑(没有随机划分数据集)，可能导致过拟合问题
   3. 稀疏性约束实现问题。在处理3D时序数据时，无法确定合适的位置来应用稀疏性约束；多次尝试在不同层次应用稀疏性约束未能取得令人满意的效果。

**研究目标完成情况**：虽然在第一阶段的研究中初步实现了一些目标，但由于上述执行情况中所描述的困难和障碍，我决定调整研究方向，专注于刷skeleton-based Human Motion Quality Assessment（HMQA）领域的最新成果，以期取得更有意义的研究进展

第二阶段：刷skeleton-based HMQA领域内sota成绩及原因探究

1. **研究计划**：
   1. 基于文献的算法重写。对HMQA领域内的相关文献进行了综合研究，以重新编写一个高性能的算法作为baseline
   2. 引入Attention机制。由于长时遗忘问题与LSTM有关，我计划引入Attention机制，以改进模型对时间序列信息的处理能力
2. **执行情况**：在执行这一阶段的研究过程中，我遇到了以下挑战和问题：
   1. 运行时间过长。尽完成了代码的编写，但仍然面临着运行时间过长的问题(~12h per session)，这使得无法得到及时的结果
   2. 结果复现问题: 发现按照论文中的配置复现结果困难，部分论文未提供相关代码，实验配置也不够清晰
   3. 预训练模型难以实现:参考相近领域的研究，发现需要使用预训练模型，但在HMQA领域很难实现
   4. Attention机制引入效果差:尝试引入Attention机制后，模型性能反而下降，这引发了对时间维度信息提取方式的质疑
3. **研究目标完成情况**: 第二阶段的研究虽然取得了一些进展（代码实现），但也面临了一系列困难和挑战。我将继续努力，探索解决这些问题的方法，并期望在未来取得更有意义的研究成果
4. **研究工作进展和所取得的成果/Progress and Results**

请阐述研究工作的进展情况及所取得的成果，不少于2500汉字。Please Summarize your research progress and achievements. No less than 2500 words if written in English.

由于研究目标在过程中进行了调整，因此将研究计划分为两个阶段：

**第一阶段：理解Sparse AE，并将其应用在目标领域内**

**成果一**：在Human Motion Quality Assessment（HMQA）领域经典论文的笔记；

**进展一**：首先阅读该领域的HMQA的综述论文，我了解到该领域的研究较为粗浅，主要是借助了Human Motion Recognition（HMR）领域的方法进行探索，如借助ST-GCN和LSTM的组合方式来进行质量评估。这表明HMQA领域相对较新，尚未形成完全成熟的研究体系。这也意味着在这个领域中还存在许多未解决的问题和待发掘的机会。这个过程中，我撰写了详细的研读笔记，以便深入理解每一篇经典论文的核心思想和方法。我尤其专注于了解这些论文中的代码实现。尽管由于计算效率问题，数据预处理问题以及稀疏性约束实现问题，我未能够成功复现这些算法，但通过阅读源代码，我获得了对这些算法的更深刻的理解。这些经典论文为我提供了研究思路，尤其是在解决长期的问题上。

然而过程中也出现了很多问题，HMQA领域面临着数据集大小和类型的限制，其可用的数据集相对有限，这限制了模型的训练和评估，以及在不同场景下的泛化能力的探索。在一开始我设想通过多任务学习来增大动作数据集相对于网络的参数的比例，以提高模型性能，因为多任务学习可以允许模型同时学习多个相关任务，从而更好地利用有限的数据。然而，由于我多任务学习的原理和trick了解很有限，我暂时搁置了这一设想。此想法在第二阶段中再次被尝试。

**成果二**：在Sparse AE及相关研究论文的笔记；

**进展二**： 一方面，在研究过程中，我主动查阅了多个与Autoencoder（AE）相关的经典文献，以进一步了解不同类型的AE模型以及它们的应用。这包括了一些常见的变种，如Denoising Autoencoder（DAE）和Variational Autoencoder（VAE）等。我也研读了导师提供的材料，并积极寻找其他可用的资源，例如Andrew Ng关于Sparse AE的讲义笔记。这一努力让我对Sparse AE的背景和直觉有了更深刻的理解，并将这些知识整理成了详细的笔记。然而，尽管我对这些模型的原理和应用有了一定的了解，但在尝试将这些结果融入我的论文写作中时，遇到了挑战。这可能与不同类型的AE模型在应用上的复杂性以及我论文的焦点有关。

另一方面，Sparse Autoencoder（Sparse AE）的基本描述和原理是重要一环。我查阅了来自导师的材料，并积极寻找其他可用的资源，如Andrew Ng关于Sparse AE的讲义笔记。这使我对Sparse AE的背景和直觉有了更深刻的理解，并将这些知识整理成了详细的笔记。在我的研究中，我尝试在现有代码中加入Sparsity constraint，这是一个关键的研究点，旨在使模型能够更好地学习稀疏表示。然而，我在这个过程中遇到了一些挑战。在训练过程中，我观察到隐藏层的许多节点的值要么为零，要么具有相同的值，但我并不清楚这种现象的原因。这启发发我进一步研究Sparse AE的内部工作原理以解决这个问题。我开始思考是否有其他方式来实现稀疏性约束，或者是否有其他参数设置可以改进模型的性能。未能取得成效。

**成果三**：在探索关节自由度和人体的生理结构在进行动作质量评估时的影响的笔记；

**进展三**：在我研究Sparse AE和HMQA领域时，我逐渐认识到关节自由度是一个关键问题。人体的生理结构决定了在进行动作质量评估时，不能简单地依赖关节位置之间的差异。例如，人的肘部无法实现360度的旋转，膝盖也不能向前折叠，这些生理限制会对动作质量评估产生影响。为了更深入地理解这一问题，我进行了广泛的文献搜索，但并未找到相关的期刊论文，这表明这个问题可能在学术界尚未受到足够的关注；我也尝试探究关节自由度对于动作质量评估的影响。我期望找到相关的研究论文，但目前还未成功。这一方面表明了关节自由度问题的复杂性，另一方面也说明了在这个领域还有很多未解决的问题等待深入研究。

**第二阶段：刷skeleton-based HMQA领域内sota成绩及原因探究**

**成果一**：baseline代码实现

**进展一**：对HMQA领域内的相关文献进行了综合研究，以重新编写一个高性能的算法作为baseline. 首先，我进行了对HMQA领域内相关文献的综合研究。这一过程中，我仔细阅读了经典论文，并试图按照它们的思路重新编写算法，以作为后续研究的baseline（基准）。同时，为了改进baseline算法，我也查阅了相邻领域Human Motion Recognition（HMR）中的相关论文。我希望能够借鉴HMR领域的一些思想和方法，以提高我的算法性能。在研究过程中，我遇到了一些挑战和问题，这些问题对于研究的顺利进行产生了一定的影响：

1. 运行时间过长：尽管我已经完成了代码的编写，但仍然面临着运行时间过长的问题。每次运行需要耗费大约12小时，这导致我无法得到及时的研究结果。这个问题需要进一步解决，以提高研究效率。
2. 结果复现问题：在尝试复现论文中的结果时，我遇到了困难。一些论文未提供相关代码，而且实验配置也不够清晰，这使得复现变得具有挑战性。我正在努力寻找解决这个问题的方法，以确保研究的可重复性。
3. 预训练模型难以实现：参考相邻领域HMR的研究，我发现使用预训练模型可以提高算法性能。然而，在HMQA领域，实现预训练模型变得异常困难，这增加了我的研究复杂度。我正在努力寻找适用于HMQA的预训练模型或替代方案。

**成果二**：代码实现attention based hierarchical ST-Transformer skeleton-based human motion quality assessment

**进展二**：

1. 请教学长的经验：一开始，我向曾经研究Sparse AE的学长请教，尝试在代码中加入Sparse组分，但遗憾的是，我并未获得成功。学长指出了Sparse AE的复杂性，尤其是在3D时空数据上的应用，需要对物理信息进行有效提取，而不能简单地采用end-to-end的方法。虽然我采纳了他的建议，并尝试对原算法进行改进，但遇到了失败。这个过程教会了我研究中的坚韧和不断尝试的重要性，以及明确问题的本质和解决方案的难度。
2. 自行进行数据预处理：在研究中，我还遇到了数据预处理的一系列挑战。首先，参考论文中的数据预处理存在问题，如value y标准化和未打散数据集。我决定尝试重新对原始数据集进行预处理，以确保数据的质量。然而，原始数据集中每个动作的时间长度并不一致，且存在噪声，这让我难以确定动作的峰值。为了解决这个问题，我采用了滤波器来平滑数据，并进行了人工序列标注，以提取有效的动作片段。然而，这个过程并没有取得预期的成果，收效甚微。这让我开始思考如何更好地处理不规则的数据，并更准确地提取动作信息。
3. Attention机制和模型结构的研究：在改进模型性能方面，我尝试引入Attention机制，以提高对时间维度信息的处理。然而，令人意外的是，在前100轮训练中，模型性能出现了下降，甚至出现了振荡现象。这个结果让我开始重新审视时间维度信息的提取方式，以及如何更好地融入Attention机制以提高模型性能。另外，我也注意到原论文中使用了hierarchical结构，但并未详细描述其作用。当我尝试去掉这个结构时，模型性能迅速下降，这引发了我对时间维度信息提取方式的更深入思考。开始怀疑这些信息是来自于hierarchical结构还是LSTM结构。这个问题需要进一步的研究和实验来解答。
4. **代表性成果清单/List of Representative Achievements**

请列出理论计算、仿真模拟、设备制作、实验数据、调研结果、学术论文、授权专利等成果清单。作者、标题、完成时间等信息请填写完整。Please provide a list of achievements (formulas, simulations, devices, data, survey results, papers, patents, etc.) since your thesis proposal. Information on the author list, title, and time shall be complete.

代码实现：

* 作者：唐华
* 完成时间：7月21日
* 链接：https://github.com/Ytang520/HMQA\_tryout

1. **总结/Summary**

请对项目情况进行总结，300字以内。A brief summary of the project, within 300 words。

在这个研究项目中，我着眼于人体动作质量评估领域，尤其是seleton-based measurement。然而由于过程中出现的诸多问题，我的研究计划分为两个阶段。在第一阶段，我深入研究了Sparse Autoencoder（Sparse AE）的性质，并探索了其在人体动作质量评估中的应用。虽然我取得了一些进展，但仍然面临了计算效率、数据预处理和稀疏性约束等多方面的问题。因此我决定调整研究方向。在第二阶段，我专注于刷新骨架数据的人体动作质量评估领域的最新成果，并进行了算法改进和实验。然而，我依旧遇到运行时间长、结果难以复现、需要预训练模型实现和Attention机制引入表现差等一系列问题。因此若未来有机会，为了继续推进研究，我将主要着眼于下面三方面：

1. 改进Transformer架构以提高计算速度，可能通过结合Graph Convolutional Network（GCN）的思想来randomly drop key-value connections以加速计算;
2. 约束每个节点的物理含义，以更好地测量性能，考虑人体关节自由度的因素来进一步调整隐藏层的节点数量
3. 使用多任务学习来增强模型对关节知识的获取能力，以提高泛化性能

本人承诺：结题报告中的内容真实无误，若有不实，愿承担相应的责任和后果。I hereby declare and confirm that the details provided in this Form are valid and accurate. If anything untruthful is found, I will bear the corresponding liabilities and consequences.

学生签字/Signature of Student： 唐华 日期/Date: 2023年9月12日