**专利技术交底书**

# 专利名称:

# 发明人及联系方式:

* 1. 发明人：
  2. 联系人电话及email：
  3. 第一发明人身份证号：

# 说明书摘要：说明书的主要内容提炼

本发明涉及一种基于面部肌电信号与图卷积神经网络（GCN）的微表情识别方法与装置，旨在实现高精度、低延时、强鲁棒性的微表情自动识别。该系统通过高时间分辨率的面部EMG采集模块获取肌电信号，结合预处理与频域特征提取，构建反映面部肌肉群空间关系的动态图结构，并借助图卷积神经网络实现微表情的深度建模与分类识别。系统支持基于肌肉解剖先验与动态协同机制的图结构自适应调整，增强对个体差异的适应能力。同时，采用模型剪枝与量化等技术，使其具备轻量化与低功耗运行能力，可部署于便携式或穿戴式边缘设备。此外，系统还提供实时可视化与人机交互界面，适用于情绪监测、心理健康评估、人机交互优化等应用场景。整体方案在信号建模、图结构设计、边缘部署与交互反馈等方面具有显著创新性，具备广泛的跨领域应用潜力与商业价值。

# 说明书：主要包括以下内容

## 技术领域：

本发明属于人工智能心理学领域。

## 背景技术：

微表情是人类在抑制情绪过程中无意识产生的短暂、细微的面部表情，通常持续时间不足 0.5 秒，具有较强的时效性与隐蔽性，被广泛应用于心理分析、安全审讯、情绪识别等领域。目前主流的微表情识别方法大多依赖于视频图像序列，通过提取面部肌肉动作单元（Action Units, AUs）或光流特征，结合深度学习模型进行分类。然而，图像/视频方法在遮挡、光照变化、头部姿态变化等现实场景下表现不稳定，且难以准确捕捉极其短暂的微表情变化。

表面肌电信号（Surface Electromyography, sEMG）作为一种能够客观反映面部肌肉活动的生物电信号，具有对微弱肌肉活动响应灵敏、抗环境干扰能力强等优势，逐渐受到研究关注。相比图像方法，基于 sEMG 的识别方式能够从源头感知面部肌肉活动，提升微表情识别的准确性与鲁棒性。然而，传统的 sEMG 特征提取与分类方法多依赖于人工设计特征或浅层模型，难以充分挖掘多通道肌电信号中的空间结构信息与复杂非线性关系，导致识别效果有限。

近年来，图神经网络（Graph Neural Network, GNN）在处理结构化数据方面展现出强大能力。将面部肌肉区域构建为图结构，并结合 GNN 提取时空关联特征，为微表情识别提供了一种新的研究方向。尽管如此，当前仍缺乏一种面向微表情识别、同时兼顾高精度与实时性、适用于便携式采集设备的 sEMG 图建模与分类方法。

## 发明内容

* + 1. **发明目的**：

开发一款面向各大高校（包含职业院校、高等院校）的AI心理测评产品，利用先进的人工智能技术，为高校提供高效、精准、个性化的心理健康测评服务。旨在通过该产品的广泛应用，显著提升高校的心理健康教育水平，有效促进学生的心理健康发展。

* + 1. **技术方案：**

基于面部肌电的情绪识别装置整体流程包括：1.EMG信号采集与预处理（强化生理信号获取与清洗流程）；2.多通道EMG图构建与节点特征生成（构造反映肌肉协同关系的图结构）；3.GCN特征建模与微表情识别（深度神经网络提取空间-时序联动特征）；4.轻量化模型部署与边缘推理（适应移动与低功耗设备）；5.实时识别与情绪状态反馈机制（可视化呈现与行为接口支持）。

1. EMG信号采集与预处理（强化生理信号获取与清洗流程）

本系统采用可穿戴式表面肌电采集模块，集成多通道干电极贴片，可精准定位于与情绪高度相关的面部肌肉群，包括额肌、眼轮匝肌、提上唇肌、颧小肌、咬肌与颏肌等区域，确保覆盖基本六类情绪所涉及的肌肉动作来源。

系统设计强调采集信号的生理有效性与环境适应性，采用以下关键技术手段：

高增益低噪声前端放大器：提升信噪比，有效捕捉微弱肌电活动；

\*\*模数转换（ADC）\*\*分辨率达 16 位以上，采样频率为 1000Hz，确保时间分辨率满足微表情爆发性特征的需求；

多级滤波机制：包括带通滤波（20–450Hz）消除运动伪迹与基线漂移，50Hz陷波滤除电源干扰；

伪迹检测机制：引入基于幅值阈值与斜率变化检测的运动伪迹识别模块，避免误将眨眼、头部轻微运动误判为肌肉激活。

在此基础上，使用滑动窗（250ms窗口，50%重叠）切分时序片段，并进行 Z-score 归一化与动态范围标准化，以消除个体间肌电幅度差异对后续分析造成的偏倚。预处理后的数据具备高时间一致性与特征表达性，适用于构建肌肉协同结构图。

1. 多通道EMG图构建与节点特征生成（构造反映肌肉协同关系的图结构）

为解决传统EMG处理方法中各通道孤立建模的不足，本发明将面部各采集通道视作图中的节点，借助图结构建模肌肉群之间的空间与功能性联系。

具体图构建策略如下：

静态邻接结构：依据医学肌肉解剖图谱与面部肌肉连接性预设邻接矩阵，确保肌肉协同活动的结构基础合理；

动态边权建模：系统实时计算不同节点信号之间的 Pearson 相关系数、互信息或协方差矩阵，并对邻接矩阵进行加权更新，形成融合生理结构与功能协同的动态图结构。

节点特征提取方面，结合时间序列统计与频域分析，提取以下特征维度：

时域特征：均值、标准差、RMS、零交叉率（ZCR）、包络均值；

频域特征：STFT谱熵、主频、带宽等；

非线性特征：样本熵、近似熵等，用于刻画非平稳信号特性。

该步骤的输出为形如 [节点数 × 特征维度] 的矩阵，配合邻接矩阵一同输入GCN模型，具备高维度表达力和良好的结构先验支持。

1. GCN特征建模与微表情识别（深度神经网络提取空间-时序联动特征）

在完本步骤为系统的核心识别环节。利用图卷积神经网络（GCN）对构建的EMG图进行多层嵌套建模，融合面部肌肉在空间结构上的协同激活与时间维度的动态变化。

具体模型架构如下：

输入层：接收节点特征矩阵与邻接矩阵；

图卷积层（GraphConv）× N：在每层中，节点通过邻接结构与邻居共享信息，逐层聚合，提取高阶肌肉联动模式；

时序建模模块：

使用双向LSTM 进一步建模各滑窗片段之间的时间演化趋势；

注意力机制：引入图注意力网络（GAT）以自动学习关键肌肉区域的权重，增强识别结果的解释性；

分类层：全连接 + Softmax 输出微表情类别，涵盖愤怒、厌恶、悲伤、惊讶、快乐、中性等；

损失函数：采用带类权重的交叉熵损失，以解决数据不均衡问题，支持多标签分类。

模型可借助端到端训练方式完成，标签来自高帧率视频中同步标注的微表情类别。为增强泛化能力，训练过程中引入 Dropout、L2正则化以及数据增强（时间反转、通道抖动）策略。

1. 轻量化模型部署与边缘推理（适应移动与低功耗设备）

为支持在可穿戴设备或移动终端上的实时部署，本系统采用多种模型压缩与加速手段，优化推理效率与功耗比，包括：

参数剪枝：根据节点重要性移除冗余通道或连接；

权重量化（ INT8）：将浮点模型压缩为低位表示，兼容边缘AI芯片；

模型转换与加速：支持 ONNX 导出，配合 TensorRT/NCNN 推理引擎加速运行；

图算融合：优化图结构下的稀疏矩阵运算，提升数据带宽利用率。

1. 实时识别与情绪状态反馈机制（可视化呈现与行为接口支持）

系统通过持续采集与滑窗分析机制，实时识别用户的微表情状态，并具备以下反馈与交互功能：

实时可视化界面：通过热力图或条形图显示当前预测的情绪类别与概率值，具备友好的人机界面；

阈值预警机制：对连续出现的负面情绪状态设置检测阈值，超过次数或时长后触发提示机制（震动/音效提醒）；

个体情绪曲线追踪：记录识别结果的时间序列，供用户回顾自身情绪趋势变化，支持数据导出；

外部设备联动：系统预留接口，可与智能照明、空调、社交机器人等设备联动，实现情绪感知型环境调控；

隐私保护机制：本地部署推理与加密存储识别数据，避免用户隐私泄露。

系统可广泛应用于心理健康监测、抑郁筛查、人机交互优化、压力测试评估、行为分析与司法领域等，对高敏感场景具有良好的实用性和推广价值。

* + 1. **说明有益效果：**

本发明提出了一种基于面部肌电信号与图卷积神经网络（GCN）的微表情识别方法与装置，融合了生理信号处理与图神经建模的前沿技术，显著提升了微表情识别的精度与鲁棒性。通过引入图神经网络对面部肌肉群间的空间协同关系进行建模，突破了传统方法仅依赖局部肌电通道分析的局限性，使得系统在面对复杂背景噪声或微弱信号变化时依然保持出色的识别性能。系统采用高时间分辨率的面部肌电（EMG）信号采集策略，结合短时窗滑动处理与多维频域特征提取，能够精准捕捉持续时间不足0.5秒的微表情动态变化，尤其适用于探测那些潜在压抑、非自愿或隐蔽性强的情绪波动。进一步地，本发明结合肌肉解剖结构先验知识与动态协同权重机制，使得图结构可随个体肌肉激活模式的差异动态调整，大幅增强模型的泛化能力与跨个体适应性。在模型设计上，系统通过剪枝压缩、权重量化和高效推理优化，实现了模型的轻量化部署，可在低功耗、资源受限的嵌入式设备上实现高效实时运行，充分满足移动场景下的情绪感知需求。此外，本发明还集成了直观的可视化界面与交互反馈机制，能够实时展示用户的情绪状态演变轨迹，具备持续监测、智能预警及用户交互等功能，广泛适用于心理健康管理、应激检测、人机交互优化等应用场景。值得一提的是，该图神经建模框架与推理机制具备高度的扩展性，可推广应用至运动意图识别、疼痛反应分析、谎言检测等多种肌电分析任务中，具备较强的通用性与商业转化前景。综上所述，本发明在生理信号获取、图结构构建、深度特征建模、轻量化部署及可视化交互等多个关键维度上实现了系统性的技术创新，能够实现高精度、低延迟、强适应性的微表情识别，体现出显著的技术先进性与广泛的实际应用价值。

# 说明书附图及附图说明

# 

系统整体框架示意图

# 权利要求书：

1. 一种基于面部肌电信号与图卷积神经网络的微表情识别方法，其特征在于，包括以下步骤：

(1) 采集用户面部的肌电（EMG）信号，并对所采集的信号进行预处理，所述预处理包括去噪、归一化及短时窗切分；

(2) 基于面部肌肉的解剖结构建立初始图结构，将各肌电采集点作为图的节点，节点之间的边根据肌肉解剖关系进行连接；

(3) 对每一时间窗内的肌电信号提取时域及频域特征，作为图神经网络的输入节点特征；

(4) 利用图卷积神经网络（GCN）对上述图结构进行特征建模，提取节点间空间协同特征，输出微表情识别结果；

(5) 根据模型输出进行微表情分类，并实时反馈用户的情绪状态。

2. 根据权利要求1所述的方法，其特征在于，所述图结构为动态图结构，能够根据个体肌肉激活特征进行动态调整。

3. 根据权利要求1或2所述的方法，其特征在于，所述GCN模型通过剪枝、权重量化与推理加速等技术进行轻量化优化，以适用于低功耗嵌入式平台的实时部署。

4. 根据权利要求1所述的方法，其特征在于，所述系统还包括实时可视化模块，用于将识别出的情绪变化以图形界面方式展示给用户，并支持人机交互与异常预警。

5. 一种基于面部肌电信号与图卷积神经网络的微表情识别装置，其特征在于，包括：

肌电信号采集模块，用于采集用户面部多个位置的EMG信号；

信号预处理模块，用于对采集的肌电信号进行滤波、标准化和短时窗划分；

图构建模块，用于结合肌肉解剖结构建立面部肌电图结构，并根据个体差异动态调整图连接；

图卷积处理模块，用于对图结构进行特征提取与微表情识别；

显示与交互模块，用于实时展示识别结果，并提供交互反馈与情绪趋势分析。

6. 根据权利要求5所述的装置，其特征在于，所述图卷积处理模块采用轻量化的图神经网络模型，并支持在边缘设备上运行。

7. 根据权利要求5或6所述的装置，其特征在于，所述显示与交互模块包括一可视化界面，支持连续情绪监测、异常提示及用户历史情绪查询功能。