



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 122219768 A

(43) 申请公布日 2026. 06. 16

(21) 申请号 202610324454.7

(22) 申请日 2026.03.17

(71) 申请人 深圳市形意智能科技有限公司

地址 518000 广东省深圳市宝安区新安街
道兴东社区69区洪浪北二路30号信义
领御研发中心1栋905

(72) 发明人 梁勇 刘新云 林国著 蒋秀喜

(74) 专利代理机构 深圳市道勤知酷知识产权代
理事务所(普通合伙) 44439

专利代理师 张文兴

(51) Int. Cl.

G06F 3/01 (2006.01)

A61B 3/113 (2006.01)

A61B 5/256 (2021.01)

A61B 5/291 (2021.01)

A61B 5/00 (2006.01)

G06F 1/16 (2006.01)

G06F 18/2415 (2023.01)

G06F 18/213 (2023.01)

G06V 40/19 (2022.01)

G06V 40/18 (2022.01)

G06F 18/24 (2023.01)

G06F 18/10 (2023.01)

G06N 5/04 (2023.01)

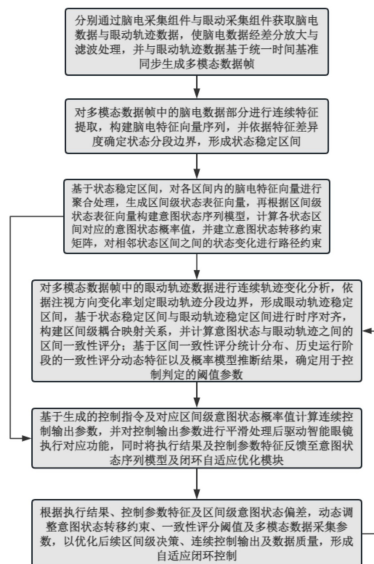
权利要求书4页 说明书15页 附图1页

(54) 发明名称

一种脑机控制智能眼镜的方法

(57) 摘要

本发明公开了一种脑机控制智能眼镜的方法,涉及脑机控制技术领域,包括S1、分别通过脑电采集组件与眼动采集组件获取脑电数据与眼动轨迹数据,使脑电数据经差分放大与滤波处理,并与眼动轨迹数据基于统一时间基准同步生成多模态数据帧;S2、对多模态数据帧中的脑电数据部分进行连续特征提取,构建脑电特征向量序列,并依据特征差异度确定状态分段边界,形成状态稳定区间;通过将脑电信号从模拟采集到结构化数据帧封装,再到与眼动轨迹数据帧的时间对齐与索引匹配,为后续区间级特征提取、多模态耦合分析及一致性评分计算提供稳定、可追溯且工程可实现的数据基础。



1. 一种脑机控制智能眼镜的方法,其特征在于,该方法包括如下步骤:

S1、分别通过脑电采集组件与眼动采集组件获取脑电数据与眼动轨迹数据,使脑电数据经差分放大与滤波处理,并与眼动轨迹数据基于统一时间基准同步生成多模态数据帧;

S2、对多模态数据帧中的脑电数据部分进行连续特征提取,构建脑电特征向量序列,并依据特征差异度确定状态分段边界,形成状态稳定区间;

S3、基于状态稳定区间,对各区间内的脑电特征向量进行聚合处理,生成区间级状态表征向量,再根据区间级状态表征向量构建意图状态序列模型,计算各状态区间对应的意图状态概率值,并建立意图状态转移约束矩阵,对相邻状态区间之间的状态变化进行路径约束;

S4、对多模态数据帧中的眼动轨迹数据进行连续轨迹变化分析,依据注视方向变化率划定眼动轨迹分段边界,形成眼动轨迹稳定区间,基于状态稳定区间与眼动轨迹稳定区间进行时序对齐,构建区间级耦合映射关系,并计算意图状态与眼动轨迹之间的区间一致性评分;基于区间一致性评分统计分布、历史运行阶段的一致性评分动态特征以及概率模型推断结果,确定用于控制判定的阈值参数;当一致性评分在预设时间窗口内满足连续稳定超过阈值参数的条件时输出控制指令,当未满足稳定性判定条件时抑制控制输出,以降低误触发概率并提高系统控制可靠性;

S5、基于生成的控制指令及对应区间级意图状态概率值计算连续控制判定的阈值参数,并对控制判定的阈值参数进行平滑处理后驱动智能眼镜执行对应功能,同时将执行结果及控制参数特征反馈至意图状态序列模型及闭环自适应优化模块;

S6、根据执行结果、控制参数特征及区间级意图状态偏差,动态调整意图状态转移约束、一致性评分阈值及多模态数据采集参数,以优化后续区间级决策、连续控制输出及数据质量,形成自适应闭环控制。

2. 根据权利要求1的一种脑机控制智能眼镜的方法,其特征在于,S1包括如下分步骤:所述S11、通过脑电采集组件获取用户头部脑电信号,对脑电信号设置采样频率、放大倍数及输入阻抗,并对采集的原始脑电信号进行实时噪声抑制以抑制工频干扰及肌电干扰;

S12、对脑电信号进行差分放大以增强微弱信号,并对差分放大后的信号进行滤波处理以去除基线漂移及高频噪声,同时对预处理后的脑电信号进行标记与缓存;

S13、通过眼动采集组件获取用户注视点、注视方向及眼球运动轨迹,对眼动信号设置采样频率及光源参数以保证追踪精度,并对眼动信号进行初步滤波与去噪以剔除眨眼干扰;

S14、将经过差分放大、滤波及噪声抑制处理并按采样时间标记的脑电信号,与眼动轨迹数据基于统一时间基准进行同步,对不同采样频率的数据进行插值或重采样,使各时间点对应脑电特征与眼动轨迹特征,并生成包含同步脑电数据与眼动轨迹数据的多模态数据帧,用于后续特征提取与区间级状态分析;

S15、对生成的多模态数据帧进行完整性检测,以剔除缺失、损坏或异常的数据帧,并对通过完整性检测的数据帧进行时间戳标记,形成标准化多模态数据集合,用于后续脑电特征提取及状态分段。

3. 根据权利要求1的一种脑机控制智能眼镜的方法,其特征在于,所述S2包括如下分步骤:S21、从标准化多模态数据集合中获取脑电数据部分,并对脑电数据连续提取时域特征、

频域特征及时频域特征;

S22、将时域特征、频域特征及时频域特征进行融合构建脑电特征向量,并按照采样时间顺序对脑电特征向量进行排列,形成脑电特征向量序列;

S23、对脑电特征向量序列中相邻特征向量计算特征差异度,并基于特征差异度通过分段判定机制确定状态分段边界,其中分段判定机制包括阈值参数判定或自适应判定条件,再根据状态分段边界将连续脑电特征向量序列划分为多个状态稳定区间,并将各状态稳定区间的起始时间戳和结束时间戳与多模态数据帧时间戳进行映射对应,以供后续区间聚合及意图状态建模使用。

4. 根据权利要求1的一种脑机控制智能眼镜的方法,其特征在于,S3包括如下分步骤:
S31、针对各状态稳定区间,获取区间内的脑电特征向量集合,并对脑电特征向量集合进行聚合处理包括均值、加权平均、统计分布编码及时序编码,生成区间级状态表征向量,并根据时间标识对区间级状态表征向量进行序列化构建区间级状态序列;

S32、提取各状态稳定区间对应的时间标识信息,建立时间标识与区间级状态表征向量之间的映射关系,并基于时间标识进行索引排序,构建区间级状态序列;

S33、将区间级状态表征向量依次输入意图状态序列模型进行特征映射与概率推断,生成各状态稳定区间对应的意图类别概率向量;

S34、基于意图状态概率向量及历史状态转移信息,计算相邻状态稳定区间之间的状态转移概率,形成意图状态转移约束矩阵,并可对低于阈值参数的转移概率进行稀疏化处理;

S35、获取各状态稳定区间对应的意图状态概率向量及意图状态转移约束矩阵,再对相邻状态稳定区间的候选意图状态进行筛选,并根据意图状态概率及转移约束矩阵计算转移评分,基于候选状态转移评分沿状态序列执行最优路径选择,确定最终意图状态序列,实现区间级决策优化;

S36、将最终意图状态序列用于生成连续控制输出,驱动智能眼镜执行对应功能,同时将执行结果及控制参数特征反馈至意图状态序列模型及闭环自适应优化模块;再根据反馈动态调整意图状态转移约束、一致性评分阈值及多模态数据采集参数,实现连续控制输出与区间级决策的自适应闭环优化。

5. 根据权利要求1的一种脑机控制智能眼镜的方法,其特征在于,S4包括如下分步骤:
S41、对多模态数据帧中的眼动轨迹数据进行连续轨迹变化分析,包括注视点位置、轨迹速度及方向变化率的计算,并提取轨迹局部特征;

S42、根据注视方向变化率及轨迹局部特征划定眼动轨迹分段边界,将连续轨迹划分为多个眼动轨迹稳定区间,为与脑电状态区间的耦合提供基础数据;

S43、将眼动轨迹稳定区间与脑电状态稳定区间的起始时间戳和结束时间戳进行对齐,对不同采样频率的数据通过插值或同步重采样方法处理,使时间轴上形成可对应的重叠区间;

S44、基于重叠区间建立映射关系,提取脑电特征向量与眼动轨迹向量的统计特征,包括均值、方差、频谱功率及注视方向变化率,再根据特征计算耦合权重,并对耦合权重进行归一化处理,使其落于统一尺度范围;

S45、对历史区间耦合权重执行移动平均或加权平滑,再根据闭环自适应模块反馈实时调整耦合权重计算参数,包括相似度阈值、归一化方式及采样窗口长度,以优化不同用户或

环境条件下的脑电-眼动耦合评估；

S46、将映射关系及归一化耦合权重以矩阵或映射表形式存储,并建立脑电区间与对应眼动区间的索引关系,实现快速查询及实时更新,为一致性评分计算、连续控制输出及闭环自适应优化提供输入；

S47、对各耦合区间计算意图状态与眼动轨迹之间的区间一致性评分,基于一致性评分统计特征、历史动态特征及概率模型推断结果生成用于控制判定的阈值参数,当一致性评分在预设时间窗口内连续超过阈值参数时输出控制指令,未达到条件时抑制控制输出,以降低误触发概率并提高系统控制可靠性；

S48、将执行结果及控制参数特征反馈至意图状态序列模型及闭环自适应优化模块,用于动态调整意图状态转移约束、一致性评分阈值及多模态数据采集参数,实现后续区间级决策和连续控制输出的闭环优化。

6. 根据权利要求1的一种脑机控制智能眼镜的方法,其特征在于,S5包括如下分步骤:
S51、根据生成的控制指令及对应区间级意图状态概率值,对控制指令进行量化处理:包括对区间级意图状态概率值进行加权平均、归一化及滤波处理,以形成适合智能眼镜驱动连续输出序列进而计算连续控制判定的阈值参数；

S52、对连续控制判定的阈值参数执行平滑处理,包括移动平均、加权滤波或低通滤波处理,以降低控制指令突变幅度,形成稳定的连续输出；

S53、将平滑后的连续控制判定的阈值参数发送至智能眼镜执行单元,驱动智能眼镜完成显示内容切换、交互界面触发及功能模式切换等操作；

S54、对智能眼镜执行过程中的状态数据、反馈信号及控制判定的阈值参数特征进行采集,包括执行结果状态编码、延迟时间、误触发事件及连续输出平滑指标,并将采集数据反馈至意图状态序列模型及闭环自适应优化模块；

S55、基于反馈数据,闭环自适应优化模块执行区间级参数更新,包括对意图状态转移约束矩阵进行加权修正或概率更新、对一致性评分阈值基于历史运行特征及概率模型进行自适应调整及对脑电及眼动采集参数进行增量优化更新形成统一参数集,用于下一轮连续控制输出计算及区间级决策；

S56、续控制参数计算、平滑处理、智能眼镜执行、反馈采集及自适应优化形成闭环迭代,通过意图状态序列模型与闭环自适应优化模块的交互,实现区间级决策及控制参数的动态更新。

7. 根据权利要求1的一种脑机控制智能眼镜的方法,其特征在于,所述S6包括如下分步骤:
S61、在智能眼镜执行连续控制过程中,对执行数据进行时间同步处理,并构建区间级反馈特征向量 $\mathbf{F}_k = [\mathbf{U}_k, \mathbf{R}_k, \Delta \mathbf{S}_k, \mathbf{P}_k, \mathbf{T}_k]$, 其中, k 为区间编号, $\mathbf{U}_k$ 为第 k 区间的连续控制参数序列特征向量, $\mathbf{R}_k$ 为第 k 区间的执行结果状态编码向量, $\Delta \mathbf{S}_k$ 为第 k 区间的意图状态偏差量, $\mathbf{P}_k$ 为第 k 区间的意图状态概率分布向量, $\mathbf{T}_k$ 为对应时间戳或区间时长参数, 反馈特征向量 $\mathbf{F}_k$ 为统一维度的结构化向量, 用于驱动状态转移约束更新、一致性阈值更新及采集参数更新；

S62、基于区间级反馈特征向量执行模型参数协同更新,包括根据预测状态分布与实际

状态分布计算状态偏差向量,并构建误差权重系数,对意图状态转移约束矩阵进行增量修正及概率约束归一化处理、根据反馈特征向量构建一致性评分序列,在滑动时间窗口内进行统计分析,并基于统计结果更新一致性评分阈值以及根据反馈特征向量提取数据质量指标以及控制稳定度指标,构建参数调节映射关系,对多模态数据采集参数进行增量修正;

S63、将更新参数集输入至意图状态序列模型,基于更新参数重新执行区间级意图状态推理,再根据更新后的意图状态推理结果计算连续控制参数,并对连续控制参数进行平滑处理后输出至智能眼镜执行模块;执行模块根据执行结果再次参与区间级反馈特征构建,从而形成基于反馈驱动的参数更新与控制执行闭环迭代过程。

8. 根据权利要求7的一种脑机控制智能眼镜的方法,其特征在于,所述S62包括如下分步骤S621、根据区间级反馈特征向量计算预测状态分布与实际状态分布之间的状态偏差向量,并构建误差权重系数;

S622、基于状态偏差向量及误差权重,计算增量项并对原状态转移约束矩阵进行修正,随后对矩阵执行非负约束及行归一化处理;

S623、根据反馈特征向量构建一致性评分序列,在滑动时间窗口内进行统计分析,并基于统计参数及区间级状态偏差更新一致性评分阈值;

S624、依据反馈特征向量提取数据质量及控制稳定度指标,构建参数调节映射关系,对原采集参数进行增量修正,得到更新后的采集参数;

S625、将更新后的状态转移约束矩阵、一致性评分阈值及采集参数作为统一参数集输入模型,重新执行区间级意图状态推理,以形成闭环迭代机制。

9. 根据权利要求7的一种脑机控制智能眼镜的方法,其特征在于,所述S63包括如下分步骤:S631将更新后的状态转移约束矩阵、一致性评分阈值及多模态数据采集参数作为统一参数集输入至意图状态序列模型;

S632、基于输入的更新参数集,重新执行各状态稳定区间的意图状态推理,生成各区间的意图状态概率向量;

S633、依据更新后的意图状态概率向量及区间级意图状态序列,计算连续控制判定的阈值参数,其包括对区间概率分布进行加权或归一化处理;

S634、对连续控制参数执行平滑处理,包括移动平均、加权滤波或低通滤波,以获得适合智能眼镜执行的连续输出序列;

S635、将平滑后的连续控制参数输出至智能眼镜执行模块,驱动显示、交互或功能切换,同时采集执行结果、控制参数特征及执行偏差,形成区间级反馈特征向量;

S636、将区间级反馈特征向量回传至自适应优化模块,基于反馈更新状态转移约束矩阵、一致性评分阈值及采集参数,为下一轮区间级意图状态推理与连续控制输出提供参数输入,形成连续闭环迭代机制。

一种脑机控制智能眼镜的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及脑机控制技术领域,具体涉及一种脑机控制智能眼镜的方法。

背景技术

[0002] 随着脑机接口及可穿戴智能设备的发展,基于脑电信号与眼动数据的智能控制系统逐渐成为人机交互的重要方向。然而,现有智能眼镜系统多依赖单模态信号进行意图识别,存在如下问题:单模态脑电或眼动信号易受环境噪声、动作干扰或采集条件变化影响,导致意图判断误差较大;传统方法多采用离散控制,未充分利用时间序列信息及状态转移约束,难以实现平滑连续的交互控制;现有技术在脑电与眼动数据融合中多停留在简单叠加或统计匹配,缺乏区间级时序对齐、耦合映射及基于执行反馈的动态阈值和采集参数优化机制;难以根据用户差异或环境变化动态调整意图状态转移约束、控制输出平滑度及采集参数,限制了交互稳定性和可靠性。

发明内容

[0003] 本发明的目的是提供一种脑机控制智能眼镜的方法,以解决现有技术中的上述不足之处。

[0004] 为了实现上述目的,本发明提供如下技术方案:一种脑机控制智能眼镜的方法,该方法包括如下步骤:S1、分别通过脑电采集组件与眼动采集组件获取脑电数据与眼动轨迹数据,使脑电数据经差分放大与滤波处理,并与眼动轨迹数据基于统一时间基准同步生成多模态数据帧;

S2、对多模态数据帧中的脑电数据部分进行连续特征提取,构建脑电特征向量序列,并依据特征差异度确定状态分段边界,形成状态稳定区间;

S3、基于状态稳定区间,对各区间内的脑电特征向量进行聚合处理,生成区间级状态表征向量,再根据区间级状态表征向量构建意图状态序列模型,计算各状态区间对应的意图状态概率值,并建立意图状态转移约束矩阵,对相邻状态区间之间的状态变化进行路径约束;

S4、对多模态数据帧中的眼动轨迹数据进行连续轨迹变化分析,依据注视方向变化率划定眼动轨迹分段边界,形成眼动轨迹稳定区间,基于状态稳定区间与眼动轨迹稳定区间进行时序对齐,构建区间级耦合映射关系,并计算意图状态与眼动轨迹之间的区间一致性评分;基于区间一致性评分统计分布、历史运行阶段的一致性评分动态特征以及概率模型推断结果,确定用于控制判定的阈值参数;当一致性评分在预设时间窗口内满足连续稳定超过阈值参数的条件时输出控制指令,当未满足稳定性判定条件时抑制控制输出,以降低误触发概率并提高系统控制可靠性;

S5、基于生成的控制指令及对应区间级意图状态概率值计算连续控制判定的阈值参数,并对控制判定的阈值参数进行平滑处理后驱动智能眼镜执行对应功能,同时将执行结果及控制参数特征反馈至意图状态序列模型及闭环自适应优化模块;

S6、根据执行结果、控制参数特征及区间级意图状态偏差,动态调整意图状态转移约束、一致性评分阈值及多模态数据采集参数,以优化后续区间级决策、连续控制输出及数据质量,形成自适应闭环控制。

[0005] 作为上述的进一步补充,其中S1包括如下分步骤:所述S11、通过脑电采集组件获取用户头部脑电信号,对脑电信号设置采样频率、放大倍数及输入阻抗,并对采集的原始脑电信号进行实时噪声抑制以抑制工频干扰及肌电干扰;S12、对脑电信号进行差分放大以增强微弱信号,并对差分放大后的信号进行滤波处理以去除基线漂移及高频噪声,同时对预处理后的脑电信号进行标记与缓存;S13、通过眼动采集组件获取用户注视点、注视方向及眼球运动轨迹,对眼动信号设置采样频率及光源参数以保证追踪精度,并对眼动信号进行初步滤波与去噪以剔除眨眼干扰;S14、将经过差分放大、滤波及噪声抑制处理并按采样时间标记的脑电信号,与眼动轨迹数据基于统一时间基准进行同步,对不同采样频率的数据进行插值或重采样,使各时间点对应脑电特征与眼动轨迹特征,并生成包含同步脑电数据与眼动轨迹数据的多模态数据帧,用于后续特征提取与区间级状态分析;S15、对生成的多模态数据帧进行完整性检测,以剔除缺失、损坏或异常的数据帧,并对通过完整性检测的数据帧进行时间戳标记,形成标准化多模态数据集合,用于后续脑电特征提取及状态分段。

[0006] 作为上述的进一步补充,其中,所述S2包括如下分步骤:S21、从标准化多模态数据集合中获取脑电数据部分,并对脑电数据连续提取时域特征、频域特征及时频域特征;S22、将时域特征、频域特征及时频域特征进行融合构建脑电特征向量,并按照采样时间顺序对脑电特征向量进行排列,形成脑电特征向量序列;S23、对脑电特征向量序列中相邻特征向量计算特征差异度,并基于特征差异度通过分段判定机制确定状态分段边界,其中分段判定机制包括阈值参数判定或自适应判定条件,再根据状态分段边界将连续脑电特征向量序列划分为多个状态稳定区间,并将各状态稳定区间的起始时间戳和结束时间戳与多模态数据帧时间戳进行映射对应,以供后续区间聚合及意图状态建模使用。

[0007] 作为上述的进一步补充,其中,S3包括如下分步骤:S31、针对各状态稳定区间,获取区间内的脑电特征向量集合,并对脑电特征向量集合进行聚合处理包括均值、加权平均、统计分布编码及时序编码,生成区间级状态表征向量,并根据时间标识对区间级状态表征向量进行序列化构建区间级状态序列;S32、提取各状态稳定区间对应的时间标识信息,建立时间标识与区间级状态表征向量之间的映射关系,并基于时间标识进行索引排序,构建区间级状态序列;S33、将区间级状态表征向量依次输入意图状态序列模型进行特征映射与概率推断,生成各状态稳定区间对应的意图类别概率向量;S34、基于意图状态概率向量及历史状态转移信息,计算相邻状态稳定区间之间的状态转移概率,形成意图状态转移约束矩阵,并可对低于阈值参数的转移概率进行稀疏化处理;S35、获取各状态稳定区间对应的意图状态概率向量及意图状态转移约束矩阵,再对相邻状态稳定区间的候选意图状态进行筛选,并根据意图状态概率及转移约束矩阵计算转移评分,基于候选状态转移评分沿状态序列执行最优路径选择,确定最终意图状态序列,实现区间级决策优化;S36、将最终意图状态序列用于生成连续控制输出,驱动智能眼镜执行对应功能,同时将执行结果及控制参数特征反馈至意图状态序列模型及闭环自适应优化模块;再根据反馈动态调整意图状态转移约束、一致性评分阈值及多模态数据采集参数,实现连续控制输出与区间级决策的自适应闭环优化。

[0008] 作为上述的进一步补充,其中,S4包括如下分步骤:S41、对多模态数据帧中的眼动轨迹数据进行连续轨迹变化分析,包括注视点位置、轨迹速度及方向变化率的计算,并提取轨迹局部特征;S42、根据注视方向变化率及轨迹局部特征划定眼动轨迹分段边界,将连续轨迹划分为多个眼动轨迹稳定区间,为与脑电状态区间的耦合提供基础数据;S43、将眼动轨迹稳定区间与脑电状态稳定区间的起始时间戳和结束时间戳进行对齐,对不同采样频率的数据通过插值或同步重采样方法处理,使时间轴上形成可对应的重叠区间;S44、基于重叠区间建立映射关系,提取脑电特征向量与眼动轨迹向量的统计特征,包括均值、方差、频谱功率及注视方向变化率,再根据特征计算耦合权重,并对耦合权重进行归一化处理,使其落于统一尺度范围;S45、对历史区间耦合权重执行移动平均或加权平滑,再根据闭环自适应模块反馈实时调整耦合权重计算参数,包括相似度阈值、归一化方式及采样窗口长度,以优化不同用户或环境条件下的脑电-眼动耦合评估;S46、将映射关系及归一化耦合权重以矩阵或映射表形式存储,并建立脑电区间与对应眼动区间的索引关系,实现快速查询及实时更新,为一致性评分计算、连续控制输出及闭环自适应优化提供输入;S47、对各耦合区间计算意图状态与眼动轨迹之间的区间一致性评分,基于一致性评分统计特征、历史动态特征及概率模型推断结果生成用于控制判定的阈值参数,当一致性评分在预设时间窗口内连续超过阈值参数时输出控制指令,未达到条件时抑制控制输出,以降低误触发概率并提高系统控制可靠性;S48、将执行结果及控制参数特征反馈至意图状态序列模型及闭环自适应优化模块,用于动态调整意图状态转移约束、一致性评分阈值及多模态数据采集参数,实现后续区间级决策和连续控制输出的闭环优化。

[0009] 作为上述的进一步补充,其中,S5包括如下分步骤:S51、根据生成的控制指令及对应区间级意图状态概率值,对控制指令进行量化处理:包括对区间级意图状态概率值进行加权平均、归一化及滤波处理,以形成适合智能眼镜驱动连续输出序列进而计算连续控制判定的阈值参数;S52、对连续控制判定的阈值参数执行平滑处理,包括移动平均、加权滤波或低通滤波处理,以降低控制指令突变幅度,形成稳定的连续输出;S53、将平滑后的连续控制判定的阈值参数发送至智能眼镜执行单元,驱动智能眼镜完成显示内容切换、交互界面触发及功能模式切换等操作;S54、对智能眼镜执行过程中的状态数据、反馈信号及控制判定的阈值参数特征进行采集,包括执行结果状态编码、延迟时间、误触发事件及连续输出平滑指标,并将采集数据反馈至意图状态序列模型及闭环自适应优化模块;S55、基于反馈数据,闭环自适应优化模块执行区间级参数更新,包括对意图状态转移约束矩阵进行加权修正或概率更新、对一致性评分阈值基于历史运行特征及概率模型进行自适应调整及对脑电及眼动采集参数进行增量优化更新形成统一参数集,用于下一轮连续控制输出计算及区间级决策;S56、续控制参数计算、平滑处理、智能眼镜执行、反馈采集及自适应优化形成闭环迭代,通过意图状态序列模型与闭环自适应优化模块的交互,实现区间级决策及控制参数的动态更新。

[0010] 作为上述的进一步补充,其中,所述S6包括如下分步骤:S61、在智能眼镜执行连续控制过程中,对执行数据进行时间同步处理,并构建区间级反馈特征向量: $F_k = [U_k, R_k, \Delta S_k, P_k, T_k]$,其中,k为区间编号, U_k 为第k区间的连续控制参数序列特征向量, P_k 为第k区间的执行结果状态编码向量, ΔS_k 为第k区间的意图状态偏差量, P_k 为第k

区间的意图状态概率分布向量, T_k 为对应时间戳或区间时长参数, 反馈特征向量 F_k 为统一维度的结构化向量, 用于驱动状态转移约束更新、一致性阈值更新及采集参数更新; S62、基于区间级反馈特征向量执行模型参数协同更新, 包括根据预测状态分布与实际状态分布计算状态偏差向量, 并构建误差权重系数, 对意图状态转移约束矩阵进行增量修正及概率约束归一化处理, 再根据反馈特征向量构建一致性评分序列, 在滑动时间窗口内进行统计分析, 并基于统计结果更新一致性评分阈值以及根据反馈特征向量提取数据质量指标以及控制稳定度指标, 构建参数调节映射关系, 对多模态数据采集参数进行增量修正; S63、将更新参数集输入至意图状态序列模型, 基于更新参数重新执行区间级意图状态推理, 再根据更新后的意图状态推理结果计算连续控制参数, 并对连续控制参数进行平滑处理后输出至智能眼镜执行模块; 执行模块根据执行结果再次参与区间级反馈特征构建, 从而形成基于反馈驱动的参数更新与控制执行闭环迭代过程。

[0011] 作为上述的进一步补充, 其中, 所述S62包括如下分步骤S621、根据区间级反馈特征向量计算预测状态分布与实际状态分布之间的状态偏差向量, 并构建误差权重系数; S622、基于状态偏差向量及误差权重, 计算增量项并对原状态转移约束矩阵进行修正, 随后对矩阵执行非负约束及进行归一化处理; S623、根据反馈特征向量构建一致性评分序列, 在滑动时间窗口内进行统计分析, 并基于统计参数及区间级状态偏差更新一致性评分阈值; S624、依据反馈特征向量提取数据质量及控制稳定度指标, 构建参数调节映射关系, 对原采集参数进行增量修正, 得到更新后的采集参数; S625、将更新后的状态转移约束矩阵、一致性评分阈值及采集参数作为统一参数集输入模型, 重新执行区间级意图状态推理, 以形成闭环迭代机制。

[0012] 作为上述的进一步补充, 其中, 所述S63包括如下分步骤: S631将更新后的状态转移约束矩阵、一致性评分阈值及多模态数据采集参数作为统一参数集输入至意图状态序列模型; S632、基于输入的更新参数集, 重新执行各状态稳定区间的意图状态推理, 生成各区区间的意图状态概率向量; S633、依据更新后的意图状态概率向量及区间级意图状态序列, 计算连续控制判定的阈值参数, 其包括对区间概率分布进行加权或归一化处理; S634、对连续控制参数执行平滑处理, 包括移动平均、加权滤波或低通滤波, 以获得适合智能眼镜执行的连续输出序列; S635、将平滑后的连续控制参数输出至智能眼镜执行模块, 驱动显示、交互或功能切换, 同时采集执行结果、控制参数特征及执行偏差, 形成区间级反馈特征向量; S636、将区间级反馈特征向量回传至自适应优化模块, 基于反馈更新状态转移约束矩阵、一致性评分阈值及采集参数, 为下一轮区间级意图状态推理与连续控制输出提供参数输入, 形成连续闭环迭代机制。

[0013] 有益效果

在上述技术方案中, 本发明提供了一种脑机控制智能眼镜的方法通过对脑电信号与眼动轨迹进行联合采集、时间对齐及区间级耦合映射, 通过一致性评分实现脑电意图与眼动意图的互补验证, 使其基于区间级意图状态概率生成连续控制参数, 并采用滤波或加权平滑处理, 驱动智能眼镜执行功能, 再根据执行结果、意图状态偏差及反馈特征向量, 动态更新意图状态转移约束矩阵、一致性评分阈值及多模态采集参数, 形成区间级决策与连续控制的自适应闭环, 然后通过状态稳定区间划分及联合评分计算, 对意图状态变化进行路径约束和最优选择, 将执行结果与控制特征向量反馈至意图状态序列模型及闭环优化

模块,实现连续控制输出与区间级决策的闭环迭代,提高系统精度、稳定性和响应速度,进而实现将脑电信号从模拟采集到结构化数据帧封装,再到与眼动轨迹数据帧的时间对齐与索引匹配,为后续区间级特征提取、多模态耦合分析及一致性评分计算提供稳定、可追溯且工程可实现的数据基础。

[0014] 应当理解,前面的一般描述和以下详细描述都仅是示例性和说明性的,而不是用于限制本公开。

本申请文件提供本公开中描述的技术的各种实现或示例的概述,并不是所公开技术的全部范围或所有特征的全面公开。

附图说明

[0015] 为了更清楚地说明本申请实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明中记载的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0016] 图1为本发明实施例提供的脑机控制智能眼镜的方法的流程示意图。

具体实施方式

[0017] 为使得本公开实施例的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合本公开实施例的附图,对本公开实施例的技术方案进行清楚、完整地描述。显然,所描述的实施例是本公开的一部分实施例,而不是全部的实施例。基于所描述的本公开的实施例,本领域普通技术人员在无需创造性劳动的前提下所获得的所有其他实施例,都属于本公开保护的范围。

[0018] 参照图1所示,本发明提供一种脑机控制智能眼镜的方法,该方法包括如下步骤:

S1、分别通过脑电采集组件与眼动采集组件获取脑电数据与眼动轨迹数据,使脑电数据经差分放大与滤波处理,并与眼动轨迹数据基于统一时间基准同步生成多模态数据帧;

其中,S1包括如下分步骤:S11、通过脑电采集组件获取用户头部脑电信号,对脑电信号设置采样频率、放大倍数及输入阻抗,并对采集的原始脑电信号进行实时噪声抑制以抑制工频干扰及肌电干扰;

S12、对脑电信号进行差分放大以增强微弱信号,并对差分放大后的信号进行滤波处理以去除基线漂移及高频噪声,同时对预处理后的脑电信号进行标记与缓存;

S13、通过眼动采集组件获取用户注视点、注视方向及眼球运动轨迹,对眼动信号设置采样频率及光源参数以保证追踪精度,并对眼动信号进行初步滤波与去噪以剔除眨眼干扰;

S14、将经过差分放大、滤波及噪声抑制处理并按采样时间标记的脑电信号,与眼动轨迹数据基于统一时间基准进行同步,对不同采样频率的数据进行插值或重采样,使各时间点对应脑电特征与眼动轨迹特征,并生成包含同步脑电数据与眼动轨迹数据的多模态数据帧,用于后续特征提取与区间级状态分析;

S15、对生成的多模态数据帧进行完整性检测,以剔除缺失、损坏或异常的数据帧,并对通过完整性检测的数据帧进行时间戳标记,形成标准化多模态数据集,用于后续脑电特征提取及状态分段。

[0019] 具体的,本发明中,首先通过脑电采集组件与眼动采集组件分别获取用户的脑电信号与眼动轨迹数据,并基于统一时间基准同步生成多模态数据帧,以实现脑电意图与眼动行为的联合分析。为保证后续数据处理与意图识别精度,脑电信号需经差分放大与滤波处理,眼动轨迹信号需经滤波与去噪处理。

[0020] S11、脑电信号采集与初步处理,通过脑电采集组件获取用户头部脑电信号,脑电采集组件包括电极单元、前端放大电路、滤波电路、模数转换单元及主控单元。采样频率设置为250~1000 Hz,以覆盖脑电主要频段(δ 波0.5-4Hz、 θ 波4-8 Hz、 α 波8-13Hz、 β 波13-30 Hz、 γ 波30-100Hz);放大倍数设置为1000~10000倍,将微伏级信号放大至适合模数转换的电平;输入阻抗设置为1 M Ω ~10 G Ω ,以减小电极接触变化对信号幅值的影响。

[0021] 采集的原始脑电信号首先经差分放大处理以抑制共模干扰,再通过带通滤波、50 Hz或60 Hz陷波滤波及自适应滤波抑制工频干扰和肌电干扰,获得高信噪比模拟信号。经调理后的模拟信号输入模数转换器进行数字化处理,分辨率为16位或24位,形成连续采样序列,并写入环形缓冲区或FIFO队列,实现实时数据流管理。

[0022] S12、脑电信号预处理与缓存,其基于S11采集的脑电信号,通过差分放大电路抑制共模干扰并增强微弱信号,差分放大器可采用仪表放大器结构,共模抑制比优选不低于80 dB。随后对信号进行高通滤波(0.1-0.5 Hz)去除基线漂移、低通滤波(40-100 Hz)抑制高频噪声及陷波滤波抑制工频干扰,获得稳定脑电输出。滤波后的信号在写入缓存时附加通道标识及时间戳信息,时间戳继承S11中建立的统一时间基准,实现跨模态时间一致性,并标记数据有效性状态,为后续多模态帧封装提供输入。

[0023] S13、眼动轨迹采集与初步处理,通过眼动采集组件获取用户注视点、注视方向及眼球运动轨迹,眼动采集组件包括红外或近红外光源、眼动摄像传感器及光学追踪系统。眼动采集采样频率优选60-500 Hz,并优化光源亮度、照射角度及曝光时间,以保证不同环境下的追踪精度。

[0024] 采集的原始眼动信号在输入处理模块前进行滤波与去噪,包括低通滤波抑制高频抖动、高通滤波去除慢速漂移,并结合运动学模型剔除或插值眨眼瞬间产生的异常值。各数据点附加采样时间戳、通道标识及帧序号,继承S11建立的统一时间基准,实现脑电信号与眼动轨迹的时间同步。处理后的眼动轨迹数据按时间窗口或采样点数量分段缓存,形成结构化数据单元,为多模态帧封装及区间级耦合分析提供输入。

[0025] S14、多模态数据帧生成与时间对齐,将S12处理后的脑电信号与S13处理后的眼动轨迹数据进行同步,生成时间对齐的多模态数据帧。两类数据可能采样频率不同(脑电250-1000 Hz,眼动60-500Hz),通过插值、同步重采样或线性/样条插值方法,将数据映射至统一时间轴,使各时间点对应脑电特征与眼动轨迹特征。

[0026] 其中,多模态数据帧包括:脑电信号数据:多通道幅值序列;眼动轨迹数据:注视点坐标、注视方向及运动变化率;统一时间戳:跨模态时间索引;帧序号及校验信息:保证数据完整性和顺序一致性。将生成的数据帧被缓存于环形缓冲区或FIFO队列中,为区间级特征提取、脑电状态分段及眼动稳定区间划分提供基础。

[0027] S15、多模态数据帧完整性检测与标准化,其通过对S14生成的多模态数据帧执行完整性检测,包括:帧序号连续性检查,检测丢帧或重复帧;校验字段验证(CRC或哈希值),保证帧内容未被破坏;异常值检测,剔除脑电幅值超 $\pm 100 \mu\text{V}$ 或注视点坐标超显示区域的

异常数据;时间戳一致性检查,偏差阈值1-20 ms;在完成检测后,通过数据帧附加标准化时间戳,并按时间序列组织,形成标准化多模态数据集。该集合保证各时间点脑电与眼动数据对应、帧序号连续、数据完整且时间一致,作为脑电特征提取、状态分段及区间级耦合分析的统一输入,确保闭环控制与意图识别的准确性和稳定性。

[0028] 本发明提供的S2、对多模态数据帧中的脑电数据部分进行连续特征提取,构建脑电特征向量序列,并依据特征差异度确定状态分段边界,形成状态稳定区间;

其中,S2包括如下分步骤:S21、从标准化多模态数据集中获取脑电数据部分,并对脑电数据连续提取时域特征、频域特征及时频域特征;

S22、将时域特征、频域特征及时频域特征进行融合构建脑电特征向量,并按照采样时间顺序对脑电特征向量进行排列,形成脑电特征向量序列;

S23、对脑电特征向量序列中相邻特征向量计算特征差异度,并基于特征差异度通过分段判定机制确定状态分段边界,其中分段判定机制包括阈值参数判定或自适应判定条件,再根据状态分段边界将连续脑电特征向量序列划分为多个状态稳定区间,并将各状态稳定区间的起始时间戳和结束时间戳与多模态数据帧时间戳进行映射对应,以供后续区间聚合及意图状态建模使用。

[0029] 具体的,在本发明中,S2是基于S15获得的标准化多模态数据集,首先对其中的脑电数据部分进行连续特征提取,构建脑电特征向量序列,并依据特征差异度进行状态分段,形成状态稳定区间,为后续区间聚合及意图状态建模提供基础。

[0030] 其中,S21、脑电数据特征提取:从标准化多模态数据集中获取脑电数据部分,包括多通道幅值序列及对应时间戳。对连续脑电数据在预设时间窗口(如0.5-2 s)或固定采样点数量(如128-512 点)内进行特征提取,包括:时域特征:均值、方差、峰度、偏度、平均绝对值、零交叉率等;频域特征:功率谱密度、各频段能量(δ 、 θ 、 α 、 β 、 γ)、频率重心、频谱熵等;时频域特征包括小波包分解系数、短时傅里叶变换特征、瞬时能量变化率等。在特征提取过程中,可使用数字滤波器、快速傅里叶变换、短时傅里叶变换、小波包变换等实现,提取每一脑电采样时间点或窗口对应的多维特征向量,保证特征反映脑电信号的瞬时状态及动态变化特性。

[0031] S22、脑电特征向量构建与序列排列,将S21提取的时域、频域及时频域特征进行融合,构建脑电特征向量。例如,可采用加权组合或主成分分析(PCA)进行特征融合,以降低冗余并增强特征区分度。构建完成后,按采样时间顺序对特征向量进行排列,形成连续的脑电特征向量序列 $V = [v_1, v_2, \dots, v_n]$,其中各 v_i 表征当前时间点的脑电状态信息,时间索引与多模态数据帧的时间戳一一对应,以便后续与眼动轨迹数据耦合分析。

[0032] S23、状态分段与稳定区间划分:通过对脑电特征向量序列中相邻特征向量 v_i, v_{i+1} 计算特征差异 $D(v_i, v_{i+1})$,可采用欧氏距离、余弦相似度或马氏距离等方式,量化特征变化幅度。基于差异度建立分段判定机制,确定状态分段边界。分段判定机制包括:固定阈值判定:当差异度 $D(v_i, v_{i+1})$ 超过预设阈值(如0.1-0.5,依据归一化特征范围确定)时,判定为状态边界;自适应判定:结合滑动窗口均值、标准差或历史序列动态特征,自适应计算阈值,以适应不同用户脑电信号特性及环境干扰。

[0033] 根据状态分段边界,将连续脑电特征向量序列划分为多个状态稳定区间,各区间

内特征变化平稳,表示用户脑电状态相对稳定。通过记录各状态稳定区间的起始时间戳和结束时间戳,并与多模态数据帧时间戳进行映射对应,形成区间级数据索引,为后续 S3 意图状态序列建模及区间聚合分析提供输入。

[0034] 本发明提供的S3、基于状态稳定区间,对各区间内的脑电特征向量进行聚合处理,生成区间级状态表征向量,再根据区间级状态表征向量构建意图状态序列模型,计算各状态区间对应的意图状态概率值,并建立意图状态转移约束矩阵,对相邻状态区间之间的状态变化进行路径约束;

其中,S3包括如下分步骤:S31、针对各状态稳定区间,获取区间内的脑电特征向量集合,并对脑电特征向量集合进行聚合处理包括均值、加权平均、统计分布编码及时序编码,生成区间级状态表征向量,并根据时间标识对区间级状态表征向量进行序列化构建区间级状态序列;

S32、提取各状态稳定区间对应的时间标识信息,建立时间标识与区间级状态表征向量之间的映射关系,并基于时间标识进行索引排序,构建区间级状态序列;

S33、将区间级状态表征向量依次输入意图状态序列模型进行特征映射与概率推断,生成各状态稳定区间对应的意图类别概率向量;

S34、基于意图状态概率向量及历史状态转移信息,计算相邻状态稳定区间之间的状态转移概率,形成意图状态转移约束矩阵,并可对低于阈值参数的转移概率进行稀疏化处理;

S35、获取各状态稳定区间对应的意图状态概率向量及意图状态转移约束矩阵,再对相邻状态稳定区间的候选意图状态进行筛选,并根据意图状态概率及转移约束矩阵计算转移评分,基于候选状态转移评分沿状态序列执行最优路径选择,确定最终意图状态序列,实现区间级决策优化;

S36、将最终意图状态序列用于生成连续控制输出,驱动智能眼镜执行对应功能,同时将执行结果及控制参数特征反馈至意图状态序列模型及闭环自适应优化模块;再根据反馈动态调整意图状态转移约束、一致性评分阈值及多模态数据采集参数,实现连续控制输出与区间级决策的自适应闭环优化。

[0035] 具体的,本发明的S3步骤基于S2所生成的状态稳定区间,对各区间内的脑电特征向量进行聚合与序列化处理,以构建区间级意图状态序列模型,实现连续控制输出及区间级决策优化。

[0036] 在S31中,同一状态稳定区间内的脑电特征向量集合经过聚合处理形成区间级状态表征向量。聚合包括均值和加权平均,其中加权平均可根据各通道信号的信噪比或通道重要性赋予不同权重,以突出关键通道信息。均值反映区间整体活动水平,加权平均增强关键通道贡献,从而兼顾全局与局部特征。统计分布编码用于刻画区间内特征分布特性,包括方差、偏度、峰度等指标,为区间稳定性和异常检测提供量化依据。时序编码用于保留区间内特征的动态变化,可采用差分编码、滑动窗口趋势或自回归模型特征提取,将时间演变信息嵌入表征向量。最终,将均值/加权平均特征、统计分布编码特征及时序编码特征进行向量级融合,形成统一的区间级状态表征向量。融合方式可采用拼接、线性加权或PCA降维,以保留关键特征并减少冗余,提高建模稳定性与计算效率。

[0037] 在S32中,从每个状态稳定区间获取起始和结束时间戳,并使用多模态数据帧的统

一时间基准作为区间时间标识。区间级状态表征向量与对应时间标识形成键值对映射存储于映射表或字典结构中,保证每个时间区间可直接索引对应表征向量。随后根据区间起始时间戳对映射表进行升序排序,形成连续的区间级状态序列,并将排序后的表征向量存储在数组、队列或环形缓冲区中,为S33中意图状态序列模型输入及概率推断提供时间一致的序列。

[0038] 在S33中,区间级状态表征向量依次输入意图状态序列模型进行特征映射与概率推断,生成各状态稳定区间对应的意图类别概率向量。具体技术手段包括特征变换函数将表征向量映射至意图状态特征空间,可采用线性映射、主成分分析、线性判别分析或深度神经网络(如多层感知机、卷积网络或自注意力机制)进行非线性映射以增强特征可分性。随后利用序列建模方法,如隐马尔可夫模型、条件随机场、长短期记忆网络或变分自编码器,结合前一区间状态与当前区间特征进行概率推断,生成每个区间的意图类别概率向量。概率向量每维取值 $0 \sim 1$,且归一化保证总和为1。意图类别概率向量按照S32构建的时间顺序排列,形成区间级意图状态概率序列,为S34计算状态转移概率及路径约束提供输入。模型参数可依据历史意图状态序列与执行结果进行在线优化,实现个性化自适应闭环。

[0039] 在S34中,基于S33生成的概率向量及历史状态信息,计算相邻状态稳定区间之间的状态转移概率,形成意图状态转移约束矩阵。实现技术包括统计历史区间意图序列转移频率或基于序列模型(如隐马尔可夫模型、条件随机场)计算相邻区间转移概率,范围 $0 \sim 1$ 并归一化。低于阈值参数($0.05 \sim 0.2$)的概率可稀疏化处理,以减少低可能性状态干扰,同时保留主要候选状态连续性和决策精度。转移概率矩阵与S33概率序列基于时间标识映射,确保矩阵元素与实际区间对应,实现决策与时间序列的一致性。

[0040] 在S35中,利用各区间意图状态概率向量及转移约束矩阵,对相邻区间候选状态进行筛选,并执行最优路径选择以确定最终意图状态序列。技术手段包括剔除概率低于阈值或违反转移约束的状态,降低决策空间;对候选状态转移根据概率向量值、转移概率及历史路径评分加权计算转移评分;沿时间序列使用动态规划或Viterbi算法搜索总转移评分最大路径,保证区间级意图预测的全局一致性和时序合理性。

[0041] 在S36中,最终意图状态序列用于生成连续控制输出,驱动智能眼镜执行对应功能,并将执行结果及控制参数特征反馈至意图状态序列模型,实现自适应闭环控制。实现手段包括根据意图状态序列及区间持续时间计算连续控制参数,通过平滑滤波处理避免跳变或抖动;智能眼镜执行模块根据控制参数执行功能,同时采集执行特征(响应延迟、动作幅度、误差);反馈结果映射至模型,对参数、转移约束、概率阈值及多模态数据采集参数进行增量更新,实现连续控制输出与区间级决策的自适应闭环优化。

[0042] 本发明提供的S4、对多模态数据帧中的眼动轨迹数据进行连续轨迹变化分析,依据注视方向变化率划定眼动轨迹分段边界,形成眼动轨迹稳定区间,基于状态稳定区间与眼动轨迹稳定区间进行时序对齐,构建区间级耦合映射关系,并计算意图状态与眼动轨迹之间的区间一致性评分;基于区间一致性评分统计分布、历史运行阶段的一致性评分动态特征以及概率模型推断结果,确定用于控制判定的阈值参数;当一致性评分在预设时间窗口内满足连续稳定超过阈值参数的条件时输出控制指令,当未满足稳定性判定条件时抑制控制输出,以降低误触发概率并提高系统控制可靠性;

S4包括如下分步骤:S41、对多模态数据帧中的眼动轨迹数据进行连续轨迹变化分

析,包括注视点位置、轨迹速度及方向变化率的计算,并提取轨迹局部特征;

S42、根据注视方向变化率及轨迹局部特征划定眼动轨迹分段边界,将连续轨迹划分为多个眼动轨迹稳定区间,为与脑电状态区间的耦合提供基础数据;

S43、将眼动轨迹稳定区间与脑电状态稳定区间的起始时间戳和结束时间戳进行对齐,对不同采样频率的数据通过插值或同步重采样方法处理,使时间轴上形成可对应的重叠区间;

S44、基于重叠区间建立映射关系,提取脑电特征向量与眼动轨迹向量的统计特征,包括均值、方差、频谱功率及注视方向变化率,再根据特征计算耦合权重,并对耦合权重进行归一化处理,使其落于统一尺度范围;

S45、对历史区间耦合权重执行移动平均或加权平滑,再根据闭环自适应模块反馈实时调整耦合权重计算参数,包括相似度阈值、归一化方式及采样窗口长度,以优化不同用户或环境条件下的脑电-眼动耦合评估;

S46、将映射关系及归一化耦合权重以矩阵或映射表形式存储,并建立脑电区间与对应眼动区间的索引关系,实现快速查询及实时更新,为一致性评分计算、连续控制输出及闭环自适应优化提供输入;

S47、对各耦合区间计算意图状态与眼动轨迹之间的区间一致性评分,基于一致性评分统计特征、历史动态特征及概率模型推断结果生成用于控制判定的阈值参数,当一致性评分在预设时间窗口内连续超过阈值参数时输出控制指令,未达到条件时抑制控制输出,以降低误触发概率并提高系统控制可靠性;

S48、将执行结果及控制参数特征反馈至意图状态序列模型及闭环自适应优化模块,用于动态调整意图状态转移约束、一致性评分阈值及多模态数据采集参数,实现后续区间级决策和连续控制输出的闭环优化。

[0043] 具体的,本发明的S4步骤基于S2生成的状态稳定区间及多模态数据帧中的眼动轨迹数据,对眼动轨迹进行连续变化分析,构建眼动轨迹稳定区间,并与脑电状态稳定区间进行时序对齐,形成区间级耦合映射关系,以计算意图状态与眼动轨迹之间的区间一致性评分,从而实现基于一致性评分的控制判定与闭环优化。

[0044] 在S41中,对多模态数据帧中的眼动轨迹数据进行连续变化分析。具体技术手段包括计算注视点位置、轨迹速度及方向变化率,并提取局部轨迹特征,如注视停留时间、眼动幅度变化及瞬时方向变化趋势,为划定轨迹边界及后续耦合分析提供基础数据。轨迹速度可采用欧氏距离与时间间隔计算,方向变化率可通过相邻轨迹向量夹角或单位向量差分计算得到。

[0045] 在S42中,根据注视方向变化率及局部轨迹特征划定眼动轨迹分段边界,将连续轨迹划分为多个眼动轨迹稳定区间。具体手段可采用阈值判定或自适应边界判定方法,如当方向变化率连续低于预设阈值或局部速度稳定性指标满足条件时确定区间边界,以保证划分的稳定区间能够反映眼动轨迹的连续性和注视稳定性,为脑电状态区间的耦合提供基础数据。

[0046] 在S43中,将眼动轨迹稳定区间与脑电状态稳定区间的起始时间戳和结束时间戳进行对齐。针对不同采样频率的数据,采用插值方法(如线性插值、样条插值)或同步重采样方法处理,使脑电区间和眼动区间在时间轴上形成可对应的重叠区间,确保不同模态数据

的时间一致性,为后续区间耦合和一致性评分计算提供可比性基础。

[0047] 在S44中,基于重叠区间建立脑电区间与眼动区间的映射关系,并提取统计特征。脑电特征向量和眼动轨迹向量分别计算均值、方差、频谱功率及注视方向变化率等指标。随后根据脑电特征与眼动特征的相似性或相关性计算耦合权重,如采用皮尔逊相关系数、余弦相似度或加权相关度指标,并将耦合权重进行归一化处理,使其落于统一尺度范围(如0~1),保证不同区间权重可比较性。

[0048] 在S45中,对历史区间耦合权重执行移动平均或加权平滑,以消除瞬时噪声或异常波动的影响。同时,通过闭环自适应模块实时调整耦合权重计算参数,包括相似度阈值、归一化方式及采样窗口长度等,以适应不同用户个体差异及环境条件,实现脑电-眼动耦合评估的动态优化和鲁棒性增强。

[0049] 在S46中,将映射关系及归一化耦合权重以矩阵或映射表形式存储,并建立脑电区间与对应眼动区间的索引关系。具体手段包括构建二维矩阵、哈希映射表或字典结构,使每个脑电区间可快速查询到对应眼动区间及耦合权重,同时支持实时更新。该索引结构为S47一致性评分计算、连续控制输出及闭环自适应优化提供输入基础。

[0050] 在S47中,对各耦合区间计算意图状态与眼动轨迹之间的区间一致性评分。技术手段包括结合脑电区间对应的意图状态概率向量(S33生成)与眼动区间特征,计算统计特征、相似性指标或加权匹配度,形成一致性评分。随后基于一致性评分的统计分布、历史动态特征及概率模型推断结果,生成用于控制判定的阈值参数(可设为0.6~0.9)。当一致性评分在预设时间窗口内连续稳定超过控制判定的阈值参数输出控制指令,否则抑制控制输出,以降低误触发概率并提高系统控制可靠性。

[0051] 在S48中,将执行结果及控制参数特征反馈至意图状态序列模型及闭环自适应优化模块,用于动态调整意图状态转移约束、一致性评分阈值及多模态数据采集参数。技术手段包括对执行反馈映射到模型参数的增量更新或自适应调节,结合移动平均或加权滤波调整阈值和采样窗口长度,实现后续区间级决策和连续控制输出的闭环优化,从而增强系统对用户个体差异和环境变化的适应性。

[0052] 本发明提供的S5、基于生成的控制指令及对应区间级意图状态概率值计算连续控制判定的阈值参数,并对控制判定的阈值参数进行平滑处理后驱动智能眼镜执行对应功能,同时将执行结果及控制参数特征反馈至意图状态序列模型及闭环自适应优化模块;

S5包括如下分步骤:S51、根据生成的控制指令及对应区间级意图状态概率值,对控制指令进行量化处理:包括对区间级意图状态概率值进行加权平均、归一化及滤波处理,以形成适合智能眼镜驱动连续输出序列进而计算连续控制判定的阈值参数;

S52、对连续控制判定的阈值参数执行平滑处理,包括移动平均、加权滤波或低通滤波处理,以降低控制指令突变幅度,形成稳定的连续输出;

S53、将平滑后的连续控制判定的阈值参数发送至智能眼镜执行单元,驱动智能眼镜完成显示内容切换、交互界面触发及功能模式切换等操作;

S54、对智能眼镜执行过程中的状态数据、反馈信号及控制判定的阈值参数特征进行采集,包括执行结果状态编码、延迟时间、误触发事件及连续输出平滑指标,并将采集数据反馈至意图状态序列模型及闭环自适应优化模块;

S55、基于反馈数据,闭环自适应优化模块执行区间级参数更新,包括对意图状态

转移约束矩阵进行加权修正或概率更新、对一致性评分阈值基于历史运行特征及概率模型进行自适应调整及对脑电及眼动采集参数进行增量优化更新形成统一参数集,用于下一轮连续控制输出计算及区间级决策;

S56、续控制参数计算、平滑处理、智能眼镜执行、反馈采集及自适应优化形成闭环迭代,通过意图状态序列模型与闭环自适应优化模块的交互,实现区间级决策及控制参数的动态更新。

[0053] 具体的,本发明的S5步骤基于S3和S4生成的控制指令及对应区间级意图状态概率值,计算连续控制判定的阈值参数并进行平滑处理,驱动智能眼镜执行对应功能,同时将执行结果及控制参数特征反馈至意图状态序列模型及闭环自适应优化模块,实现连续控制输出与区间级决策的自适应闭环优化。

[0054] 在S51中,根据生成的控制指令及对应区间级意图状态概率值,对控制指令进行量化处理。具体技术手段包括:对区间级意图状态概率向量进行加权平均处理,以考虑不同意图状态对控制输出的贡献比例;对加权结果进行归一化处理,使连续输出值落于预定范围(如0~1或智能眼镜执行模块的最小-最大控制幅度范围);对归一化序列进行滤波处理,如低通滤波或指数平滑,以消除瞬时异常值或噪声干扰,形成适合智能眼镜驱动连续输出序列,并据此计算连续控制判定的阈值参数,用于驱动执行单元。量化参数可依据历史数据、用户习惯及设备响应特性进行自适应设置。

[0055] 在S52中,对连续控制判定的阈值参数执行平滑处理。平滑处理的技术手段包括移动平均滤波、加权滤波、低通滤波或滑动窗口平滑方法,以降低控制指令突变幅度,防止智能眼镜功能切换抖动或误触发,同时保留关键意图变化信息。滑动窗口长度、加权系数或滤波截止频率可根据设备响应时间及用户操作习惯设置,例如窗口长度可为50~200 ms,滤波截止频率可设为2~5Hz,以兼顾响应速度与输出稳定性。

[0056] 在S53中,将平滑后的连续控制判定的阈值参数发送至智能眼镜执行单元,实现功能驱动。具体技术手段包括:通过控制总线或API接口将连续输出映射到执行模块,如显示内容切换、交互界面触发或功能模式切换等;将连续输出映射为设备可识别的操作命令,例如通过归一化值与动作幅度、方向或强度对应,实现平滑、连续的交互控制;采用时间戳或区间标识同步执行与数据采集,保证区间级决策与执行动作的对应关系。

[0057] 在S54中,对智能眼镜执行过程中的状态数据、反馈信号及控制判定的阈值参数特征进行采集。具体技术手段包括采集执行结果状态编码、响应延迟时间、误触发事件及连续输出平滑指标等信息;通过数据采集接口记录控制指令与实际动作之间的偏差,形成反馈特征向量;将采集的多模态反馈数据映射至区间级意图状态序列及闭环自适应优化模块,确保每个区间控制输出及执行结果均可追踪和回溯。

[0058] 在S55中,基于反馈数据,闭环自适应优化模块执行区间级参数更新。技术手段包括:对意图状态转移约束矩阵进行加权修正或概率更新,使转移概率随实际执行反馈动态调整;对一致性评分阈值基于历史运行特征及概率模型进行自适应调整,例如通过移动平均或贝叶斯更新方法更新阈值参数,使控制判定更加稳健;对脑电及眼动采集参数进行增量优化更新,如调整采样频率、窗口长度或滤波参数,使连续控制输出及区间级决策能够适应用户个体差异和环境变化。上述更新结果形成统一参数集,用于下一轮连续控制输出计算与区间级决策。

[0059] 在S56中,连续控制参数计算、平滑处理、智能眼镜执行、反馈采集及闭环自适应优化形成闭环迭代,实现动态交互与区间级决策优化。具体技术手段包括:通过意图状态序列模型与闭环自适应优化模块的交互,实现每个时间区间连续输出参数的更新;根据反馈动态调整控制输出的平滑策略、权重参数及阈值判定,保证连续控制输出的稳定性与精度;对历史执行结果和反馈特征进行增量学习和模型优化,使系统在不同使用场景和用户个体差异下保持高可靠性与响应一致性。闭环迭代过程确保每轮控制输出不仅响应当前意图状态,同时优化下一轮区间级决策,实现智能眼镜的自适应连续控制与稳定交互。

[0060] 本发明提供的S6、根据执行结果、控制参数特征及区间级意图状态偏差,动态调整意图状态转移约束、一致性评分阈值及多模态数据采集参数,以优化后续区间级决策、连续控制输出及数据质量,形成自适应闭环控制。

[0061] S6包括如下分步骤:S61、在智能眼镜执行连续控制过程中,对执行数据进行时间同步处理,并构建区间级反馈特征向量: $\mathbf{F}_k = [\mathbf{U}_k, \mathbf{R}_k, \Delta\mathbf{S}_k, \mathbf{P}_k, \mathbf{T}_k]$,其中, k 为区间编号, $\mathbf{U}_k$ 为第 k 区间的连续控制参数序列特征向量, $\mathbf{P}_k$ 为第 k 区间的执行结果状态编码向量, $\Delta\mathbf{S}_k$ 为第 k 区间的意图状态偏差量, $\mathbf{P}_k$ 为第 k 区间的意图状态概率分布向量, $\mathbf{T}_k$ 为对应时间戳或区间时长参数,反馈特征向量 $\mathbf{F}_k$ 为统一维度的结构化向量,用于驱动状态转移约束更新、一致性阈值更新及采集参数更新;

S62、基于区间级反馈特征向量执行模型参数协同更新,包括根据预测状态分布与实际状态分布计算状态偏差向量,并构建误差权重系数,对意图状态转移约束矩阵进行增量修正及概率约束归一化处理、根据反馈特征向量构建一致性评分序列,在滑动时间窗口内进行统计分析,并基于统计结果更新一致性评分阈值以及根据反馈特征向量提取数据质量指标以及控制稳定度指标,构建参数调节映射关系,对多模态数据采集参数进行增量修正。

[0062] 其中,S62包括如下分步骤S621、根据区间级反馈特征向量计算预测状态分布与实际状态分布之间的状态偏差向量,并构建误差权重系数;

S622、基于状态偏差向量及误差权重,计算增量项并对原状态转移约束矩阵进行修正,随后对矩阵执行非负约束及行归一化处理;

S623、根据反馈特征向量构建一致性评分序列,在滑动时间窗口内进行统计分析,并基于统计参数及区间级状态偏差更新一致性评分阈值;

S624、依据反馈特征向量提取数据质量及控制稳定度指标,构建参数调节映射关系,对原采集参数进行增量修正,得到更新后的采集参数;

S625、将更新后的状态转移约束矩阵、一致性评分阈值及采集参数作为统一参数集输入模型,重新执行区间级意图状态推理,以形成闭环迭代机制。

[0063] S63、将更新参数集输入至意图状态序列模型,基于更新参数重新执行区间级意图状态推理,再根据更新后的意图状态推理结果计算连续控制参数,并对连续控制参数进行平滑处理后输出至智能眼镜执行模块;执行模块根据执行结果再次参与区间级反馈特征构建,从而形成基于反馈驱动的参数更新与控制执行闭环迭代过程。

[0064] S63包括如下分步骤:S631将更新后的状态转移约束矩阵、一致性评分阈值及多模态数据采集参数作为统一参数集输入至意图状态序列模型;

S632、基于输入的更新参数集,重新执行各状态稳定区间的意图状态推理,生成各区间的意图状态概率向量;

S633、依据更新后的意图状态概率向量及区间级意图状态序列,计算连续控制判定的阈值参数,其包括对区间概率分布进行加权或归一化处理;

S634、对连续控制参数执行平滑处理,包括移动平均、加权滤波或低通滤波,以获得适合智能眼镜执行的连续输出序列;

S635、将平滑后的连续控制参数输出至智能眼镜执行模块,驱动显示、交互或功能切换,同时采集执行结果、控制参数特征及执行偏差,形成区间级反馈特征向量;

S636、将区间级反馈特征向量回传至自适应优化模块,基于反馈更新状态转移约束矩阵、一致性评分阈值及采集参数,为下一轮区间级意图状态推理与连续控制输出提供参数输入,形成连续闭环迭代机制。

[0065] 具体的,本发明提供的S6步骤基于执行结果、控制参数特征及区间级意图状态偏差,动态调整意图状态转移约束、一致性评分阈值及多模态数据采集参数,以优化后续区间级决策、连续控制输出及数据质量,实现自适应闭环控制。

[0066] 在S61中,在智能眼镜执行连续控制过程中,对执行数据进行时间同步处理,并构建区间级反馈特征向量。具体技术手段包括:依据各状态稳定区间的时间戳或区间长度,将连续控制参数序列、执行结果状态、意图状态偏差及概率向量进行统一时间对齐;构建区间级反馈特征向量 $F_k=[U_k, R_k, \Delta S_k, P_k, T_k]$,其中 k 为区间编号, U_k 为第 k 区间的连续控制参数序列特征向量, R_k 为第 k 区间的执行结果状态编码向量, ΔS_k 为第 k 区间的意图状态偏差量, P_k 为第 k 区间的意图状态概率分布向量, T_k 为对应时间戳或区间时长参数。上述反馈特征向量为统一维度的结构化向量,便于用于状态转移约束更新、一致性阈值更新及采集参数更新。

[0067] 在S62中,基于区间级反馈特征向量执行模型参数协同更新,实现闭环自适应优化。技术手段包括:对预测状态分布与实际状态分布进行对比,计算状态偏差向量;构建误差权重系数,以突出关键区间或偏差较大的区间对约束矩阵更新的影响;基于状态偏差向量及误差权重,计算增量修正项并对原状态转移约束矩阵进行更新;对更新后的矩阵执行非负约束及进行归一化处理,保证转移概率合理性和归一化范围(0~1);根据反馈特征向量构建一致性评分序列,在滑动时间窗口内进行统计分析(均值、方差及趋势变化),并基于统计参数及区间级偏差更新一致性评分阈值,使阈值自适应不同用户及环境条件;依据反馈特征向量提取数据质量指标(如信号丢失率、噪声幅度)及控制稳定度指标(如连续输出波动幅度),构建参数调节映射关系,对多模态数据采集参数(采样率、滤波窗口、信号增益等)进行增量修正;将更新后的状态转移约束矩阵、一致性评分阈值及采集参数形成统一参数集,用于下一轮区间级意图状态推理,实现闭环迭代。

[0068] S62可进一步细分为如下技术子步骤:S621:根据区间级反馈特征向量计算预测状态分布与实际状态分布之间的偏差向量,并构建误差权重系数,以便区分关键区间和非关键区间对闭环优化的贡献;S622:基于状态偏差向量及误差权重,计算增量修正项并对原状态转移约束矩阵进行修正,同时执行非负约束及行归一化处理,确保矩阵元素范围为0~1且各行归一化;S623:根据反馈特征向量构建一致性评分序列,在滑动时间窗口内进行统计分析(均值、方差、变化趋势),并结合区间级偏差更新一致性评分阈值,以实现自适应判定;

S624:依据反馈特征向量提取数据质量指标及控制稳定度指标,构建参数调节映射关系,对原采集参数进行增量修正(如采样率 $\pm 5 \sim 10$ Hz调整、滤波窗口 $\pm 10 \sim 20$ ms调整),形成更新后的采集参数;S625:将更新后的状态转移约束矩阵、一致性评分阈值及采集参数作为统一参数集输入模型,重新执行区间级意图状态推理,形成闭环迭代机制。

[0069] 在S63中,将更新后的统一参数集输入意图状态序列模型,基于更新参数重新执行区间级意图状态推理,并据此计算连续控制参数及输出至智能眼镜执行模块,形成完整闭环控制。具体技术手段包括:S631:将更新后的状态转移约束矩阵、一致性评分阈值及多模态数据采集参数作为统一参数集输入至意图状态序列模型,确保模型参数与最新执行反馈一致;S632:基于输入的更新参数集,重新执行各状态稳定区间的意图状态推理,生成各区间的意图状态概率向量,每一维对应候选意图类别,值域 $0 \sim 1$ 且归一化;S633:依据更新后的意图状态概率向量及区间级意图状态序列,计算连续控制判定的阈值参数,包括对区间概率分布进行加权平均、归一化或滤波处理,以生成适合智能眼镜执行的连续输出序列;S634:对连续控制参数执行平滑处理,可采用移动平均、加权滤波或低通滤波,以降低突变幅度和抖动,形成稳定的连续输出序列;S635:将平滑后的连续控制参数输出至智能眼镜执行模块,实现显示内容切换、交互触发及功能模式切换,同时采集执行结果、控制参数特征及执行偏差,形成区间级反馈特征向量;S636:将区间级反馈特征向量回传至自适应优化模块,基于反馈更新状态转移约束矩阵、一致性评分阈值及采集参数,为下一轮区间级意图状态推理与连续控制输出提供输入,实现闭环迭代,使连续控制输出、区间级决策及数据采集参数自适应优化。

[0070] 通过上述S6步骤,系统可根据实时执行反馈动态调整意图状态转移约束、一致性评分阈值及采集参数,实现多模态数据的自适应优化,保证连续控制输出的稳定性与准确性,同时优化区间级决策的可靠性,为智能眼镜提供高精度、实时响应的闭环控制能力。

[0071] 以上只通过说明的方式描述了本发明的某些示范性实施例,毋庸置疑,对于本领域的普通技术人员,在不偏离本发明的精神和范围的情况下,可以用各种不同的方式对所描述的实施例进行修正。因此,上述附图和描述在本质上是说明性的,不应理解为对本发明权利要求保护范围的限制。

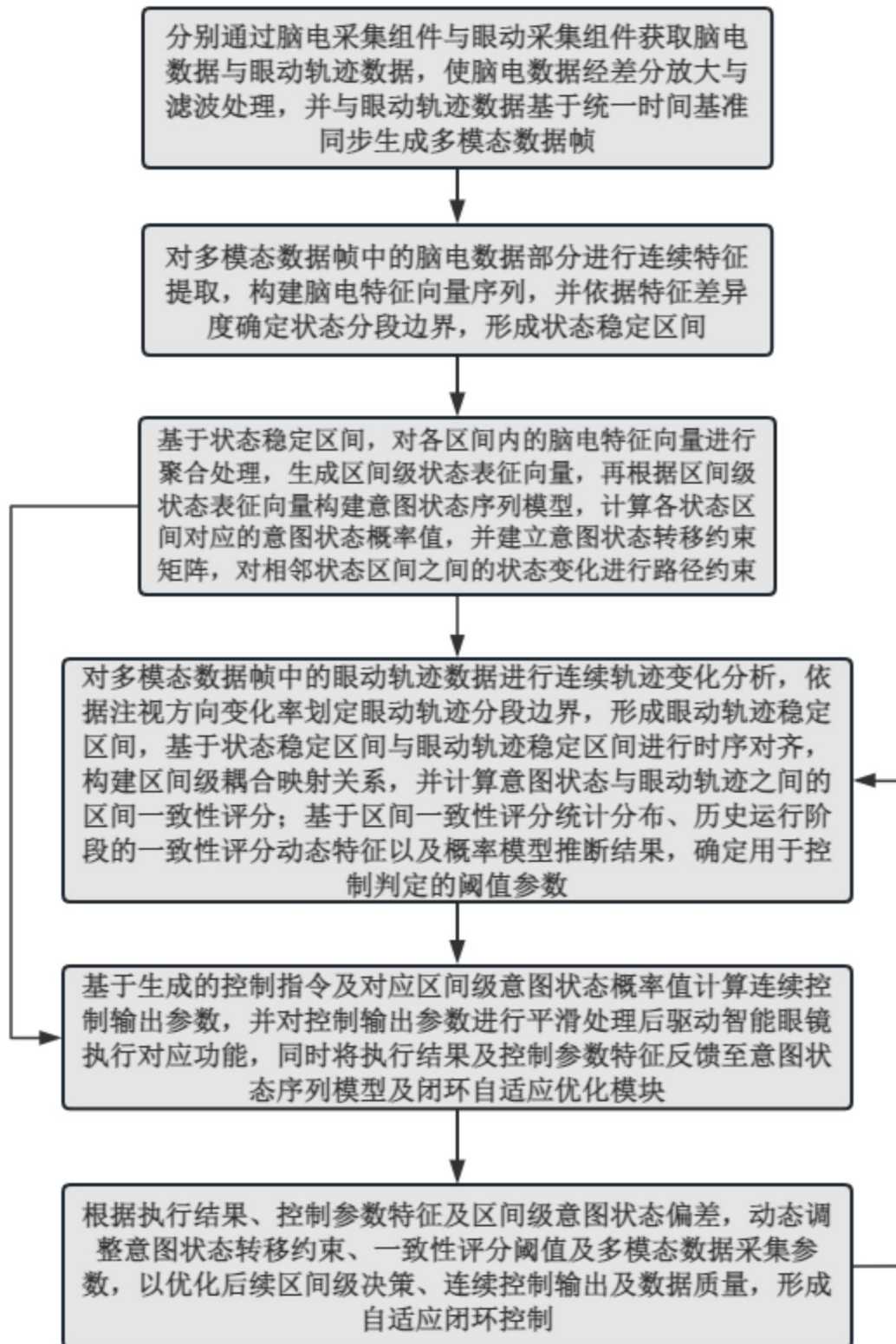


图1