



中国科学院自动化研究所
INSTITUTE OF AUTOMATION
CHINESE ACADEMY OF SCIENCES

情感计算

-基于肢体动作和生理信号 的情感识别



授课教师：陶建华

■ 基于肢体动作的情感识别

- 背景与研究现状
- 肢体动作特征
- 基于肢体动作的情感识别

■ 基于生理信号的情感识别

- 背景与研究现状
- 生理信号特征
- 基于生理信号的情感识别

■ 基于肢体动作的情感识别

- 背景与研究现状
- 肢体动作特征
- 基于肢体动作的情感识别

■ 基于生理信号的情感识别

- 背景与研究现状
- 生理信号特征
- 基于生理信号的情感识别

基于肢体动作的情感识别

■ 肢体动作的情感表现

- 肢体动作包含：面部、躯干、四肢、腰身点、线、面上的动作。其中，躯干包含肩、胸、背、腹、臂、腰等；四肢包含臂、手、膝、腿、脚等。
- 人们运用肢体动作的变换来表达情感，是能够被大众所接受的演绎情感方式。



典型肢体动作

基于肢体动作的情感识别

■ 肢体动作的情感表现

- 身体的位置和运动在感兴趣/厌倦和同意/不同意中有连续的表现并且可以识别。
- 相对于语音和人脸表情变化来说，**姿态变化的规律性较难获取，但由于人的姿态变化会使情感表述更加生动。**
- 随着对情感计算及智能人机交互研究的不断深入，肢体动作识别也开始作为获取情感的一种手段被用于情感识别中。



基于肢体动作的情感识别

■ 肢体动作的情感表现

情感	身体姿势和运动
高兴	各种无意的运动,高兴地跳跃,跳舞,鼓掌,跺脚,大笑时点头,过分大笑时身体前仰后合,身体颤动或笑得直不起腰,身体保持异常兴奋和头部竖直
悲伤	无运动,被动的,头耷拉在收缩的胸前
骄傲	头部和身体异常兴奋
害羞	将整个身体转过去,尤其是脸;逃避、俯身、笨拙、紧张地运动
害怕	头部下沉到肩膀间,无运动或者蹲下
恐怖	痉挛性运动,手交替性的抓紧、张开并伴随着颤动性的运动,手臂在头部上方大幅度运动,转身或退缩,手臂做推开状,肩膀提起并且手臂弯曲地压在身体侧面或胸前
生气	身体发抖,意图猛推或猛击,将无生命的物体猛掷到地上,姿势变得无目的性或疯狂,来回走动,摇动拳头,头部竖直,胸部展开,双脚紧贴在地面上,单肘或双肘成直角或手臂紧贴身体侧面,拳头握紧,肩膀成方形
嫌恶	意图推开或保卫自己,吐痰,手臂紧压在身体侧面,肩膀如恐惧般提起
轻蔑	转身,呈满不在乎状

基于肢体动作的情感识别

- 相对于基于语音和表情的情感识别，基于肢体动作情感识别的研究工作相对较少，主要包括以下研究单位
 - 英国格拉斯哥大学
 - 荷兰蒂尔堡大学
 - 意大利热那亚大学
 - 澳大利亚悉尼科技大学

基于肢体动作的情感识别

■ 英国格拉斯哥大学运动数据库

- 英国格拉斯哥大学的运动数据库包括格拉斯哥大学和爱丁堡大学的30名学生（15男，15女）表演的敲、扔、举和走的运动，涉及中性、高兴、生气和悲伤四种情感。

■ 荷兰蒂尔堡大学的身体姿态数据库

- 身体姿态图像集包括了50名演员在白色受控背景下表演的七种情感（分别为生气、嫌恶、害怕、高兴、悲伤、惊讶和中性）。



基于肢体动作的情感识别

■ 意大利热那亚Third Summer学院运动数据库

- 数据库包含240个姿势，是GEMEP (Geneva Multimodal Emotion Portrayals) 数据集的子集。
- 参与者需要表演八种不同的情感状态，包括生气、失望、感兴趣、愉快、悲伤、愤怒、欢乐和骄傲。参与者用不同的情感表演相同的姿势，每个姿势重复三遍。

情感	诱力	激励	姿势
生气	负	高	手强烈地向下
绝望	负	高	独自待着
感兴趣	正	低	举手
愉快	正	低	张开双臂
悲伤	负	低	缓慢地落下手
恼怒	负	低	缓慢地离开
高兴	正	高	意大利式圆周运动
骄傲	正	高	双臂在胸前交叉

基于肢体动作的情感识别

■ 澳大利亚悉尼科技大学的人脸和身体姿势双模数据库

- 包括了23名被试者（11男，12女）在蓝色受控背景下表演的中性、不确定、生气、惊讶、害怕、焦急、高兴、厌恶、厌倦、悲伤的面部表情和身体姿势。



(a) 中性



(b) 负性惊讶



(c) 正性惊讶



(d) 厌倦



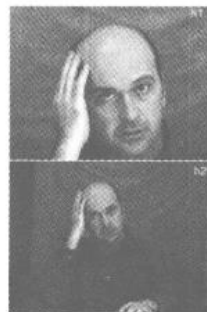
(e) 不确定



(f) 焦急 1



(g) 焦急 2



(h) 迷惑

■ 基于肢体动作的情感识别

- 肢体动作研究背景与研究现状
- 肢体动作特征
- 基于肢体动作的情感识别

■ 基于生理信号的情感识别

- 生理信号研究背景与研究现状
- 生理信号特征
- 基于生理信号的情感识别

基于肢体动作的情感识别

■ 肢体动作特征

- 局部二值模式

- Gabor

- 光流法

- 轨迹法

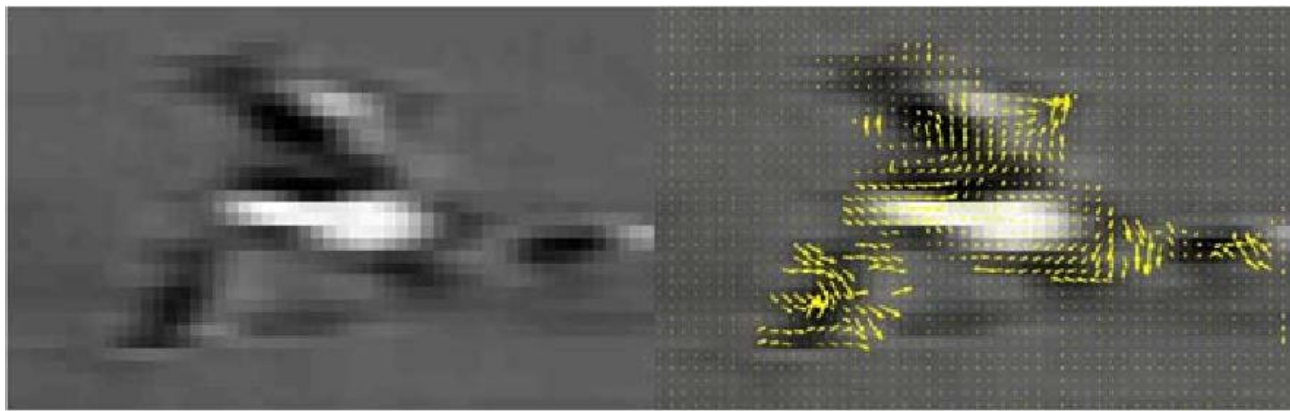
- EyesWeb平台

■ 肢体动作特征与表情等视觉相关特征有类似之处，**本节重点介绍针对肢体动作建模的光流法、轨迹法等。**

基于肢体动作的情感识别

■ 基于光流的表示

- 基于光流的行为表示方法，**将人体视为一个整体并以整体的运动来识别人的肢体动作。**
- 不需要剪影和轮廓的提取。
- 易受到目标遮挡和尺寸改变的影响。



original image

原始图像

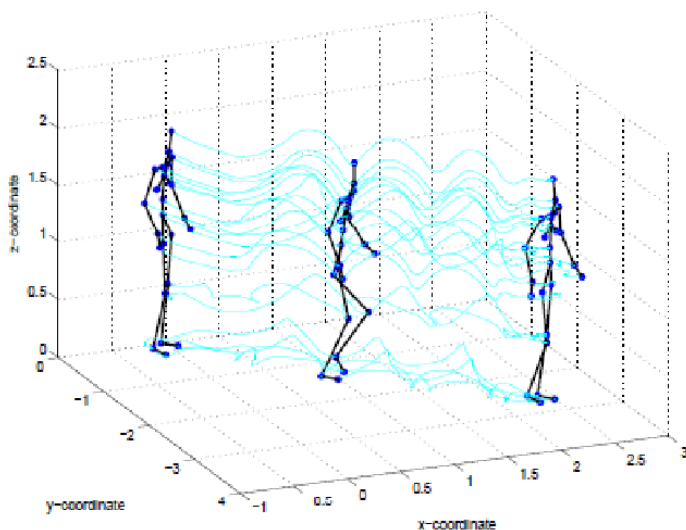
optical flow $F_{x,y}$

光流表示

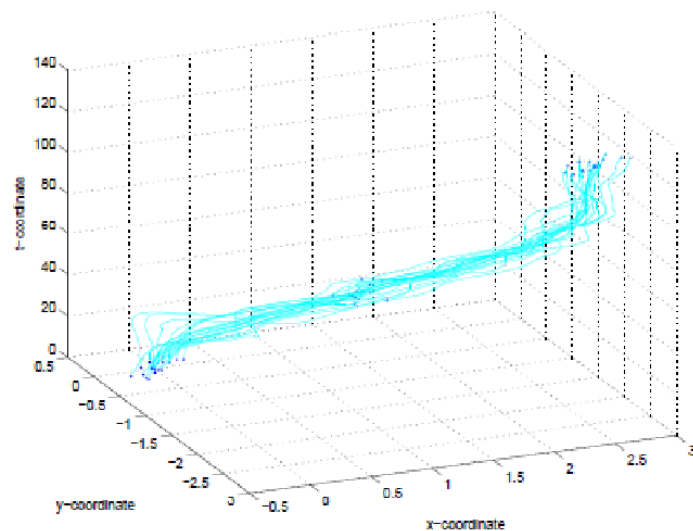
基于肢体动作的情感识别

■ 基于轨迹的表示方法

- 基于轨迹的特征表示将肢体动作表示为一组时空轨迹。人的肢体动作被表示为一组平面上或三维空间上的点，对应人体的关节位置。
- 动作过程中关节点的变化通过时空轨迹的方式记录下来，从而构造了相应行为的三维时空（X-Y-T）或四维时空（X-Y-Z-T）的表示。



XYZ空间中的行为轨迹



XYT空间中的行为轨迹

基于肢体动作的情感识别

■ 通过EyesWeb平台提取肢体动作特征

- 肢体动作特征主要包括身体的运动数量、收缩标志、运动速度、运动加速度、手掌中心流动性等指标；
- 运动数量：是对检测到的运动数量的度量，基于轮廓运动图像计算得到；由前几帧提取的轮廓之和减去当前帧提取的轮廓；
- 收缩标志：身体收缩和扩展程度的一个度量，采用动力学指标描述运动特征，计算可以包围身体的最小矩形的大小变化过程，在0到1的范围内变化；
- 运动速度与加速度：体现出各种情感在表达过程中的差异；
- 手掌中心流动性：当肢体动作的加速度为零的时候，流动性最大，体现了肢体运动过程的稳定性。

Camurri A, Coletta P, Massari A, et al. Toward Real-time multimodal processing: Eyesweb4.0

■ 基于肢体动作的情感识别

- 肢体动作研究背景与研究现状
- 肢体动作特征
- 基于肢体动作的情感识别

■ 基于生理信号的情感识别

- 生理信号研究背景与研究现状
- 生理信号特征
- 基于生理信号的情感识别

基于肢体动作的情感识别

- 常用的肢体动作识别模型包括隐马尔科夫模型、支持向量机、贝叶斯网络、深度学习等方法；**这里重点介绍针对肢体动作识别的典型方法。**

■ 典型方法

- 基于分层模型的情感识别
- 融合面部表情和身体姿态的情感识别
- 仿生代理交互系统中的肢体动作识别
- 基于多区域的肢体动作识别
- 多因子分解处理的肢体动作识别

基于肢体动作的情感识别

■ 基于分层模型的情感识别

- 从舞蹈运动中识别不同个体的情感；
- 第一层模型对多个传感器数据进行运动检测与运动跟踪，第二层模型获得运动描述子和表情特征，第三层模型进行运动分割、姿势表征和姿势识别，第四层模型采用神经网络、支持向量机等分类技术进行情感识别。

情感	特征
生气	持续时间短；速度变化频繁，变化间的停顿较短；运动达到身体中心以外；运动中动态地高度紧张，紧张加剧然后爆发
害怕	速度变化频繁，变化间的停顿较长；运动保持在身体中心附近；运动中持续高度的紧张
悲痛	持续时间长；速度变化低，平滑；运动中连续低度的紧张
欢乐	速度变化频繁，变化间的停顿长；运动达到身体中心以外；运动中动态地紧张，在高度紧张和低度紧张间变化

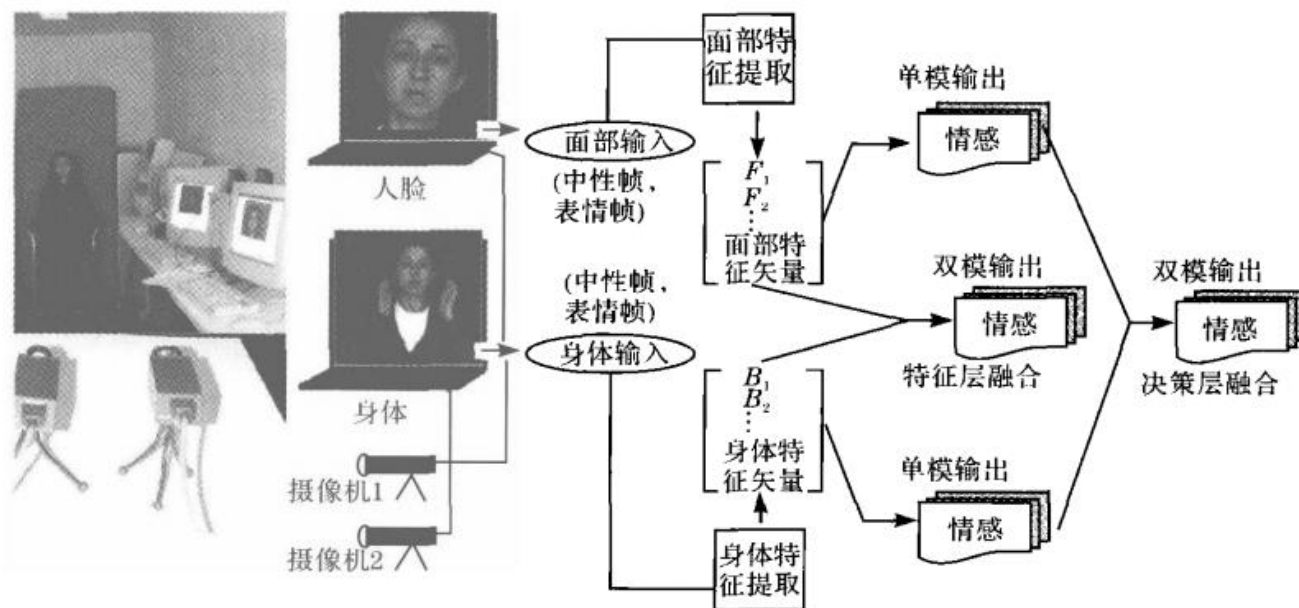
舞蹈运动中四种情感的部分特征

Camurri A, Lagerlof I, Volpe G. Recognizing emotion from dance movement: Comparison of spectator recognition and automated techniques.

基于肢体动作的情感识别

■ 融合面部表情和身体姿态的情感识别

- 通过面部表情和身体姿态识别焦急、生气、嫌恶、害怕、高兴和不确定六种情感。
- 基于隐马尔可夫模型对面部表情和身体姿势的开始、峰值和释放时段进行了自动检测，并进行双模特征融合和决策融合。



基于肢体动作的情感识别

■ 仿生代理交互系统中的肢体动作识别

- 能够实时的通过身体姿势识别儿童的情感及其强度。
- 通过隐马尔可夫模型识别悲伤、挫折、高兴、欢乐等四种情感及其强度。



(a) 悲伤, 强度=0.61



(b) 挫折, 强度=0.72



(c) 高兴, 强度=0.52



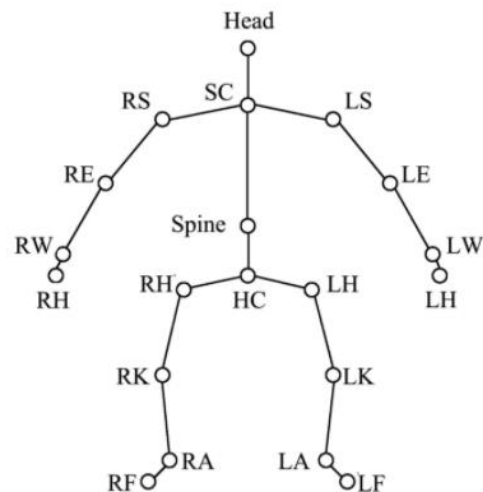
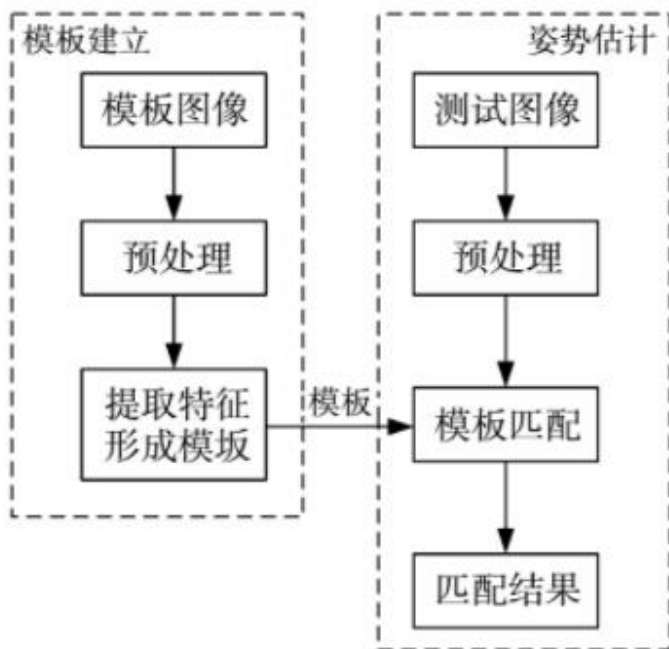
(d) 欢乐, 强度=0.87

De Silva P R, Madurapperuma A P, Marasinghe A, et al. A multi-agent based interactive system towards child's emotion performances quantified through affective body gesture.

基于肢体动作的情感识别

■ 基于模板匹配的肢体动作识别

- 该方法主要分为动作**模板建立**与**姿势估计**两部分。
- 通过计算目标与模板之间**人体骨骼模型特征**的差异识别情感。



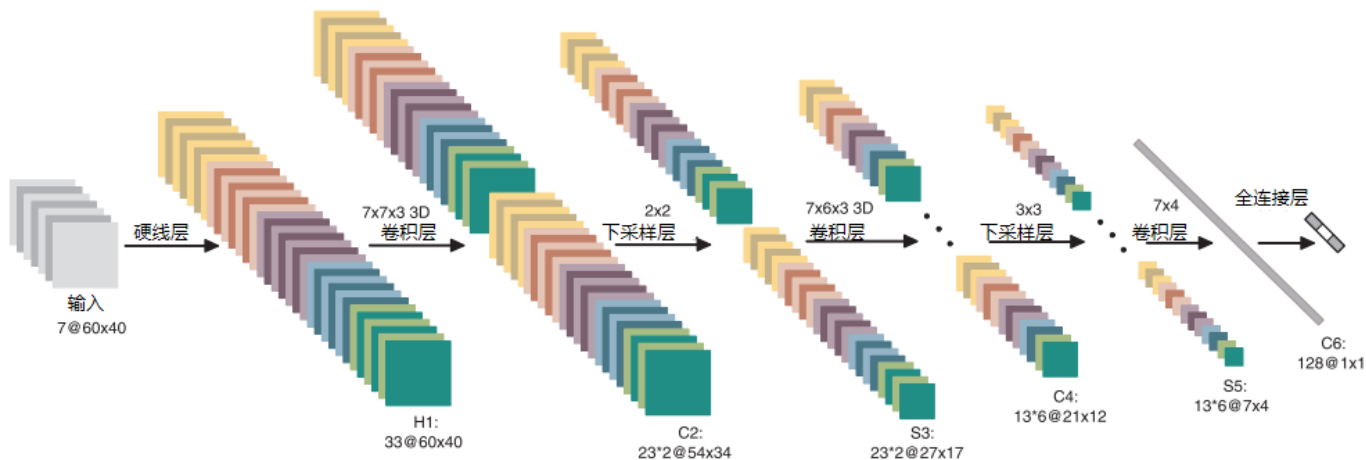
人体骨骼模型

基于模板匹配的肢体动作识别流程图

基于肢体动作的情感识别

■ 基于时空网络的的肢体动作识别

- CNN与LSTM的组合，**CNN**提取二维图片特征，**LSTM**提取时间维度信息；
- 双通道**3DCNN**，分别输入视频帧和该段视频的光流信息，融合两个通道的特征后，利用**SVM**分类。



3DCNN架构用于人类肢体动作识别

基于肢体动作的情感识别

■ 其它肢体动作的情感识别

- 分析身体的**多个区域对视频进行自动情感鉴别**；采用Blob分析提取视频中的头部和手部信息（包括位置、尺寸和角度），并采用延时神经网络和递归神经网络对姿势进行分类。
- 采用多因子分解处理从姿势中识别情感，他们**对运动数据进行多因子分解**，并应用隐马尔可夫模型识别情感。

Naemura M, Takahashi M, Fujii M, et al. A method of multi-factorization for recognizing emotions from gestures.

基于肢体动作的情感识别

■ 总结

- 基于肢体动作的情感识别是重要的人类**情感非语言交流方式**，已经得到越来越多研究者的关注；
- 针对特征提取与分类方面**鲁棒性**有待提高，在摄像机移动、遮挡、多目标干扰等条件下性能不理想；
- 需要**结合上下文信息和交互场景**，提高系统情感理解能力；
- 身体姿态**与表情、语音的协同处理**是未来研究热点。

■ 基于肢体动作的情感识别

- 肢体动作研究背景与研究现状
- 肢体动作特征
- 基于肢体动作的情感识别

■ 基于生理信号的情感识别

- 生理信号研究背景与研究现状
- 生理信号特征
- 基于生理信号的情感识别

基于生理信号的情感识别

■ 基于生理信号的情感识别

- 从音视频中提取的特征难以排除被试者的主观因素的影响。
- 生理变化主要由人的自主神经系统和内分泌系统支配，**反应的信息更为客观**。
- 生理信号虽然能够比较客观精确的表现情感信息，但是多数**生理信号并不容易获取**。
- 生理信号主要包括皮肤电、肌电、血压、脑电、呼吸、脉搏、心电图等。

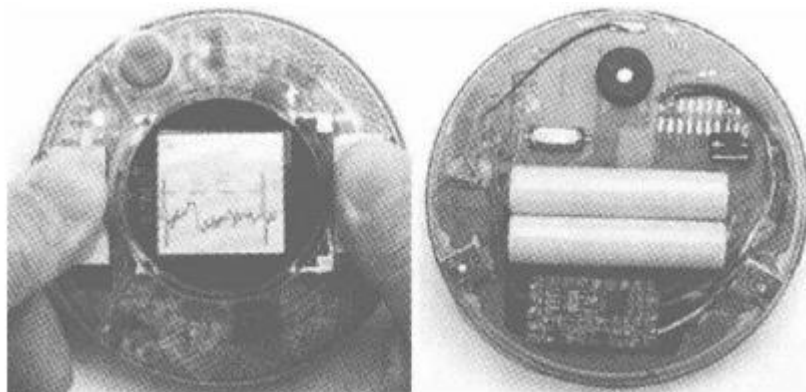
基于生理信号的情感识别

■ 轻便式心电仪

- 该仪器十分小巧，使用者可以装入口袋随身携带，使用时只需要用两只拇指按住传感器可实时记录心电信息。

■ 情感监视手表

- 该手表可以实时监控使用者的心率、位置、体温和皮肤湿度，并通过蓝牙耳机技术将数据传给控制台。



轻便式心电仪



情感监视手表

基于生理信号的情感识别

■ 多导生理记录仪

- 该记录仪可用于对多种生理参数进行精确测量和专业化分析，如：
对心电、脑电、肌电、眼电和皮肤电等；
- 可用于失眠、儿童注意力缺陷、考试焦虑、自闭症和抑郁症等领域的研究和干预工作。



多导生理记录仪

基于生理信号的情感识别

■ 情感类型跟相关生理反应的关系

序号	情感类型	相应生理反应
1	愤怒	心率过速、血压升高、急速呼吸、加快血流等
2	高兴	心跳加快，皮温升高等
3	平静	最典型的的生理数据
4	悲伤	心率慢于愤怒时的心率，快于平静时的心率；手指温度低； 脉搏波幅值减小，频率加快。

基于生理信号的情感识别

■ 美国麻省理工学院

- Picard教授及其合作者率先从生理信号中提取特征模式进行情感状态识别方面的研究, 并且证明从生理信号中提取特征模式来进行情感识别是可行的。

■ 德国奥格斯堡大学

- 研究基于心电信号、肌电信号、皮肤电导信号和呼吸信号的情感识别。

■ 美国加州大学

- 研究基于脑电信号的情感识别。

基于生理信号的情感识别

■ 国内

- 中国科学院自动化研究所
- 清华大学
- 兰州大学
- 北京科技大学
- 上海交通大学

基于生理信号的情感识别

■ MIT数据库

- 包含4种类型的生理信号传感器所获得的数据：**皮肤电导传感器、光学体积描记术、呼吸传感器和肌肉电传感器**；
- 请一位女演员作为被试，根据设计好的提示表达出8种情感状态（平静、生气、厌恶、悲哀、喜爱、浪漫的爱、愉快和尊敬）；
- 被试每进行一个实验都要进行自我评估，包括愉悦度和唤醒度；
- 该实验记录了32天的数据，**每种情绪状况的生理信号记录时间为3分钟左右，最终选择20天有效数据。**

基于生理信号的情感识别

■ DEAP数据集

- 包括脑电信号、8种外周生理信号以及部分被试人的面部视频；
- 脑电信号采集使用32导的电极帽，8种外围生理信号涉及肌电、眼电、皮肤电、血压、呼吸等；
- 以音乐视频作为情绪激发源，每名被试观看40段长度为1分钟的音乐视频，每一段音乐视频的情绪激发都作为一个单独实验；
- 被试每进行一个实验都要进行自我评估，包括愉悦度、唤醒度、支配度、喜爱程度和熟悉程度。

基于生理信号的情感识别

■ 奥格斯堡大学情绪生理信号数据集

- 采用四首可以唤醒不同情绪的歌曲作为情绪唤醒的素材，唤醒的情绪分别为愉悦、愤怒、悲伤和高兴；
- 共采集四种生理信号，分别是心电、肌电、皮肤电和呼吸信号；
- 每种情绪状态收集了25份样本，每份样本时长为20秒。

■ 基于肢体动作的情感识别

- 肢体动作研究背景与研究现状
- 肢体动作特征
- 基于肢体动作的情感识别

■ 基于生理信号的情感识别

- 生理信号研究背景与研究现状
- 生理信号特征
- 基于生理信号的情感识别

基于生理信号的情感识别

■ 皮肤电反应信号

- 皮肤电反应信号是皮肤传导性的指示。
- 皮肤电位可以随视、听、触、痛等刺激以及情绪波动而变化，这一过程称为皮肤电反应。

■ 皮肤电反应基础水平与个性特征相关：

- 基础水平越高者，越内向、紧张、焦虑不安、情绪不稳定、反应过分敏感；
- 基础水平越低者，越开朗、外向，心态比较平衡，自信、心理适应越好。

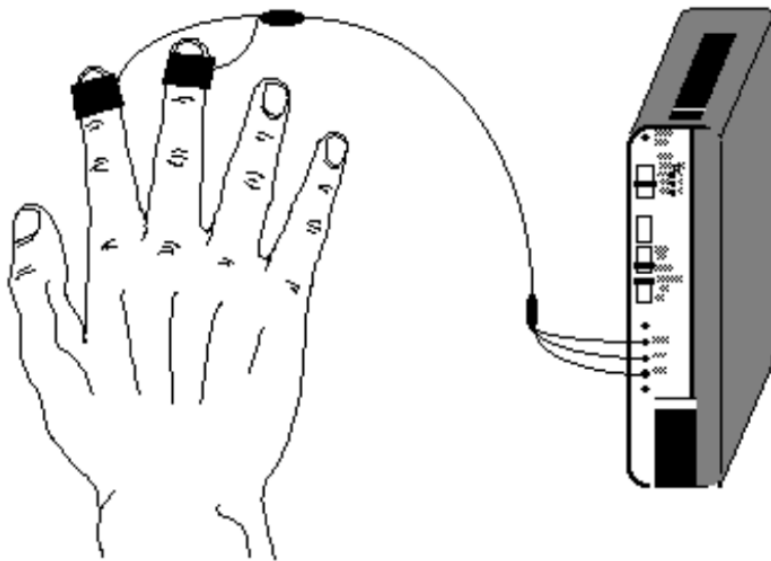
基于生理信号的情感识别

■ 皮肤电反应基础水平的主要影响因素：

- **觉醒水平**：在正常温度范围内，手掌和脚掌特别能反映唤醒水平。因此，这两个部位适合测量皮肤电；
- **温度**：身体皮肤主要反映身体的温度调节机制。当气温很高、身体需要散热时，皮肤出汗，电水平高；而气温较低，身体需要保存热量时，皮肤电水平较低；
- **活动**：开始从事某一活动时，皮肤电水平将相应的升高到一个较高的水平；而在休息时，皮肤电水平降低。

基于生理信号的情感识别

- 在一般情况下, 皮肤电流运动具有固定的电阻参数。但**在外部刺激或情绪刺激作用下, 皮肤电阻下降, 导电电流增加。**
- 多指标互相参照的情况下, 皮肤电阻变化可以被确定为情绪变化的有效指标 。



指尖皮肤电采集示意图

基于生理信号的情感识别

■ 皮肤电反应的生理信号特征

- 主要包括均值、方差、一阶差分均值等统计特征；
- 皮肤电反应的活动特性：通过平滑处理后的一阶差分时序序列可以定义皮肤电反应的活动特性；例如，通过序列中两次通过零点判断活动特性。

基于生理信号的情感识别

- 肌电图是肌肉产生的生理电信号的记录。可以通过放置在皮肤上的表面电极来测量, 也可以利用针电极经皮肤插入肌肉来测量。
- 肌电图的幅度与电极放置部位有关, 范围大约为 $50\mu\text{V}$ – 5mV , 带宽为 2 – 500Hz 。
- 皮肤电和肌电都是属于生理电信号, 可以很好的反应被试在不同情绪下的电信号反应。这两种信号的采集设备通常是一样的。

基于生理信号的情感识别

- 随着情绪状态的变化, 呼吸系统的活动在速度和深度上会有所改变。
- 对剧痛的情绪反应往往会使呼吸加深加快; 突然惊恐时, 呼吸会发生临时中断; 狂喜或悲痛时, 会发生呼吸痉挛现象。



哎呀, 我的呼吸怎么回事?

基于生理信号的情感识别

- 呼吸信号的生理指标主要有呼吸频率和呼吸幅度。
 - **呼吸频率**:呼吸频率是描述单位时间内呼吸的次数,受到各种内源性和外源性因素的影响。
 - **呼吸幅度**:呼吸幅度是指人体胸廓内气体压力随着呼吸而发生的变化。
 - 当人处于兴奋状态时,呼吸频率和幅度会同时加快。
 - 当人处于抑制状态时,呼吸频率和幅度会同时减小。

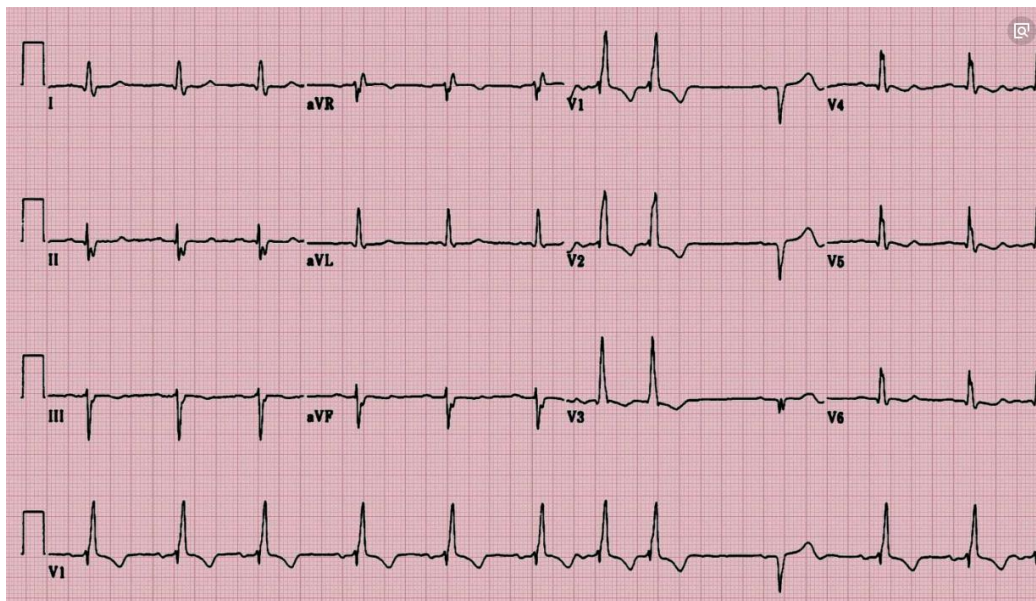
基于生理信号的情感识别

- 心电信号是心脏搏动时在人体表面形成的电位差, 通过分析心电信号, 可以了解心脏的搏动状态。
- 它的基本原理是: 人体内由窦房结发出的一次电兴奋, 按一定的途径和时程, 依次传向心房和心室, 引起整个心脏的兴奋, 使心脏周期性地收缩, 推动全身血液循环。
- 在每一个心动周期中, 心脏各部分兴奋过程中出现的电变化的方向、途径、次序和时间都有一定的规律。

基于生理信号的情感识别

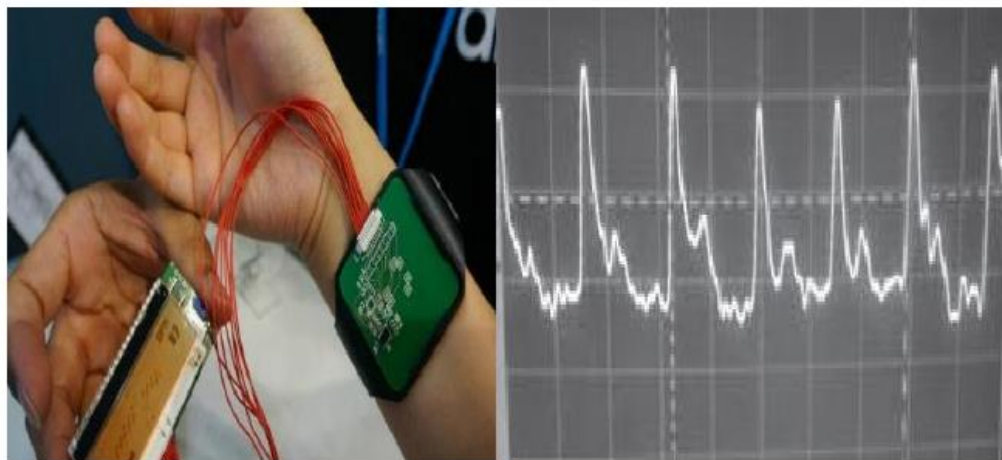
■ 心率间期信号特征

- 描述两次连续心跳之间的变化特征，它的变化主要是通过交感和副交感神经进行调整的。
- 心率间期特征可以通过相邻差的均方根、不同频率范围的功率、低频功率与高频功率之比表示。



基于生理信号的情感识别

- 脉搏反映了人体心率的变化，是人体的一项重要生理指标。因为脉搏易测量，所以常用于医学检测身体状况。
- 医生会在体检或紧急情况下检测脉搏，就可知一个人身体内部的生理疾病、情绪问题。例如，当个体体验恐惧不安的情绪时，就出汗，四肢冰凉。

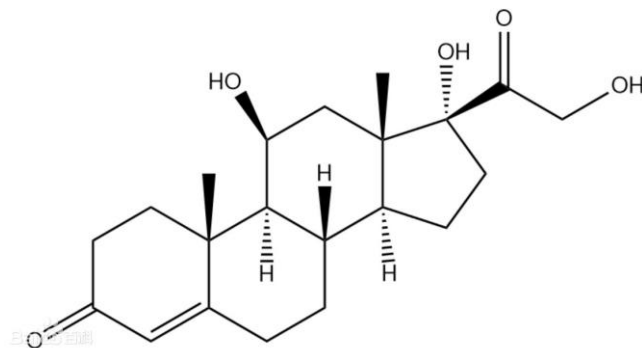


(a) 桡动脉的脉搏检测

(b) 桡动脉脉搏波形图

基于生理信号的情感识别

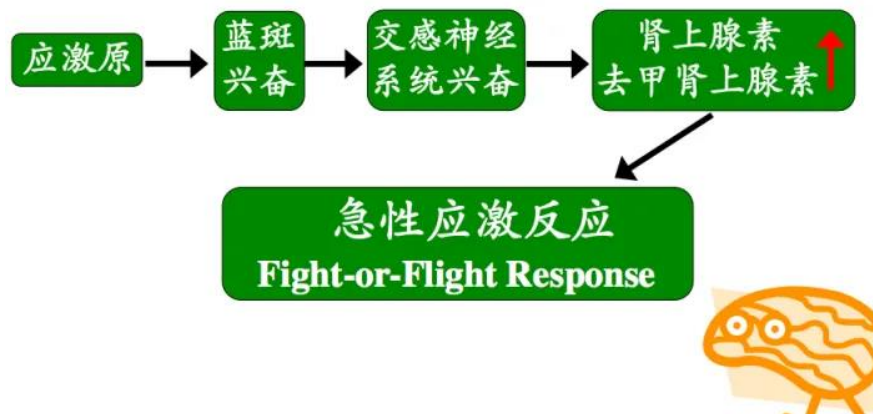
- 皮质醇的调节被广泛用于评估身体和心理状态。
- 研究表明皮质醇和享乐幸福感（hedonic well-being）、抑郁相关因子（depression-related factors）的相关性较大。那些生活节奏紧张、正在节食或者每晚睡眠少于8小时的人，都很有可能长期处在压力状况下，从而皮质醇水平偏高。



皮质醇：又称“氢化可的松”，分子式 $C_{21}H_{30}O_5$ ，是肾上腺皮质激素中的一种

基于生理信号的情感识别

- 肾上腺素和去甲肾上腺素就是压力激素中的一种，受到精神压力的刺激，它们会立即分泌。
- 当精神压力过大，肾上腺素和去甲肾上腺素也无法对付的时候，腺垂体就会分泌ACTH（促肾上腺皮质激素），同时，肾上腺会分泌皮质醇。



基于生理信号的情感识别

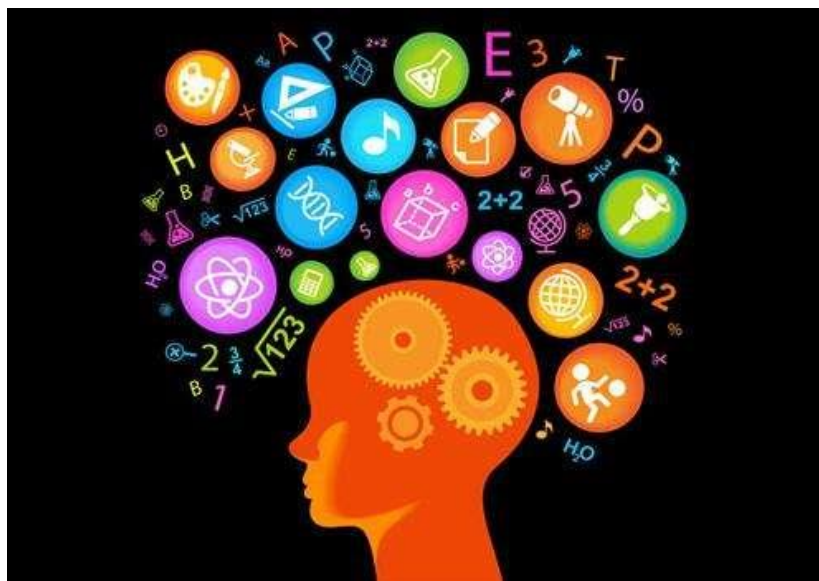
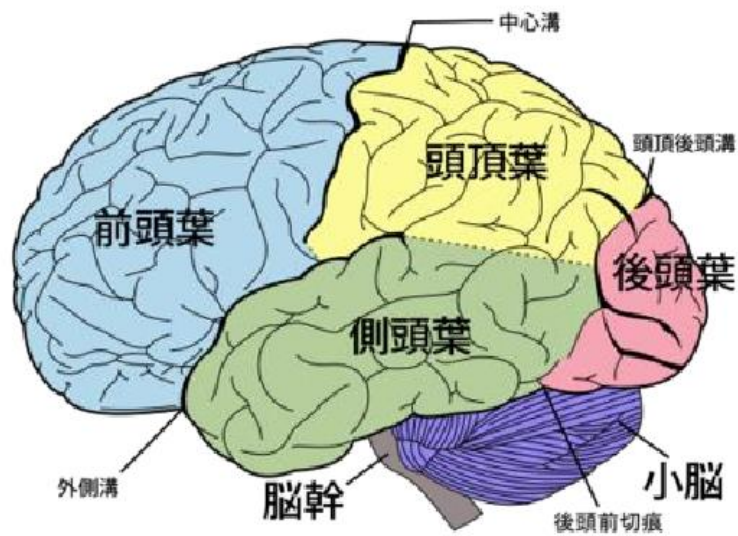
- 唾液 α -淀粉酶由腮腺、颌下腺和舌下腺浆液性腺泡细胞产生，其生成过程由交感神经和副交感神经控制，并被认为是交感-肾上腺髓质系统激活直接的标志物。
- 唾液 α -淀粉酶已经用于急性应激、慢性压力和疼痛的测评中。研究表明压力和唾液 α -淀粉酶呈正相关。



一种用于临床化学分析的唾液淀粉酶监视器

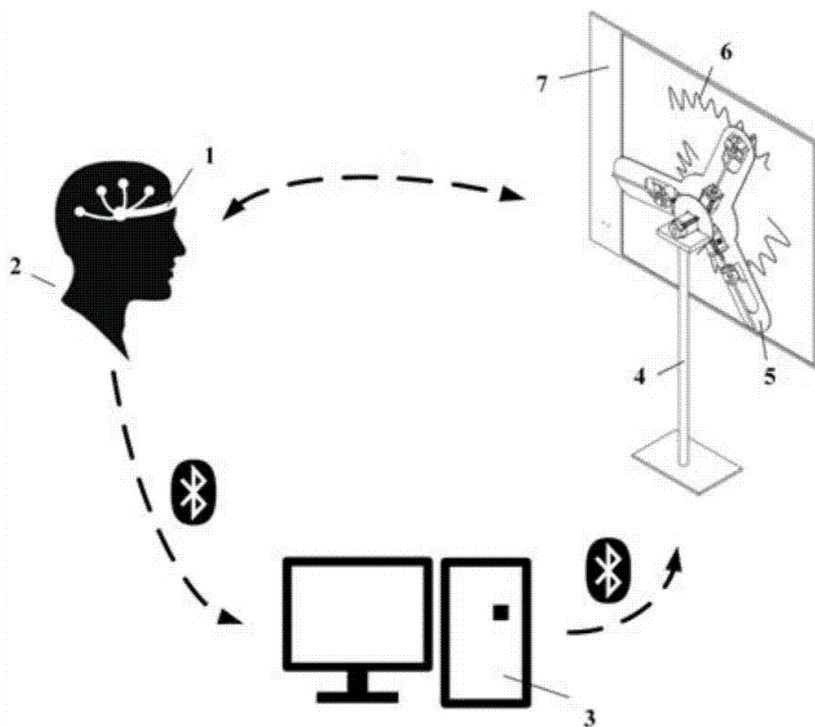
基于生理信号的情感识别

- 作为人体活动的高级神经中枢，大脑各部位分工明确，额叶主要负责面部表情的活动及肢体运动，顶叶主要与躯体的感觉有关，如嗅觉、声音等，枕叶是视觉处理的中心，而颞叶则与人的听觉功能有关。



基于生理信号的情感识别

- 脑电是人类大脑神经活动的外在表现，实时记录着脑神经信号的变化过程。
- 脑电因其产生机理不同被分为两大类，即自发式脑电和诱发式脑电。



基于生理信号的情感识别

- 大多数情感与脑电信号存在着某些密切的关系，且它们对应的信号峰值、频率各不相同；
- 不同的脑区对情感往往会做出不同反应：
 - 个体处在厌恶、恐惧等与回避动机相关的情感状态时，右侧额叶相对左侧额叶有明显的激活现象；
 - 个体处于高兴等与接近动机相关的情感状态时，左侧额叶相对右侧额叶的激活程度高。

基于生理信号的情感识别

- 情感的愉悦度在前额区存在着偏侧化现象（或不对称），并且唤醒度激活程度与左右两个前额区的活跃度有着某种关联；
- 在音乐刺激的情况下，脑电信号中的 θ 节律会有较为明显的增强迹象；
- 上述研究成果揭示了人的大脑与情感之间的联系，并且能够从脑波活动中推测出情感信息。

基于生理信号的情感识别

■ 脑电信号的时域特征

- ERP特征：当对被试外加一种特定的刺激时，在刺激给予的瞬间或刺激撤销的瞬间，**脑区所产生的电位变化**；不同情感刺激下电位变化的延迟不同；
- 统计特征：主要指通过统计的方法计算的相关特征信息，包括：**能量统计特征、均值特征、标准差特征**；
- Hjorth特征：反映出脑电信号**活跃度、变化度、复杂度**等因素。

基于生理信号的情感识别

■ 脑电信号的常用的ERP特征

- P300特征一般是在给刺激后的300ms左右出现，故称P300。P300的波幅（Amp）和潜伏期（PL）被用来评价大脑对信息的初步认知加工能力。潜伏期越短、波幅越高、分化越好就代表认知功能越好；
- N400特征一般是在给刺激后200-600ms之间的一个单向负波，在中央-顶叶区域幅值最大。常被用于语言任务的研究中，N400效应常与词汇的长时记忆表征关联起来。

基于生理信号的情感识别

■ 脑电信号的常用的ERP特征

- CNV特征(contingent negative variation)于1964年被发现。
并被认为与完成一种任务时的期待，意动，觉醒，注意，动机等心理负荷有关；
- MFN特征(medial frontal negativity)反映在有速度要求的任务中犯错或遭受损失时的厌恶情绪，动机和享乐倾向都对MFN有重要影响。

基于生理信号的情感识别

■ 脑电信号的频域特征

- 常见的频域特征包括功率谱、功率谱密度等，上述特征提取通常建立在功率谱估计基础上；
- 波段能量特征：将脑电信号从时域转换到频域，然后将原有的脑电原始信号划分为不同的波段数据，按照不同的频率波段进行特征提取。

■ 脑电信号时域-频域特征

- 希尔伯特-黄谱：通过经验模态分解将原来的信号分成多层次的本征函数，不同层次的本征函数对应原始信号在不同频率范围内的分量，相对于频域特征在抗噪方面有优势。

基于生理信号的情感识别

■ 脑电信号的微分熵特征

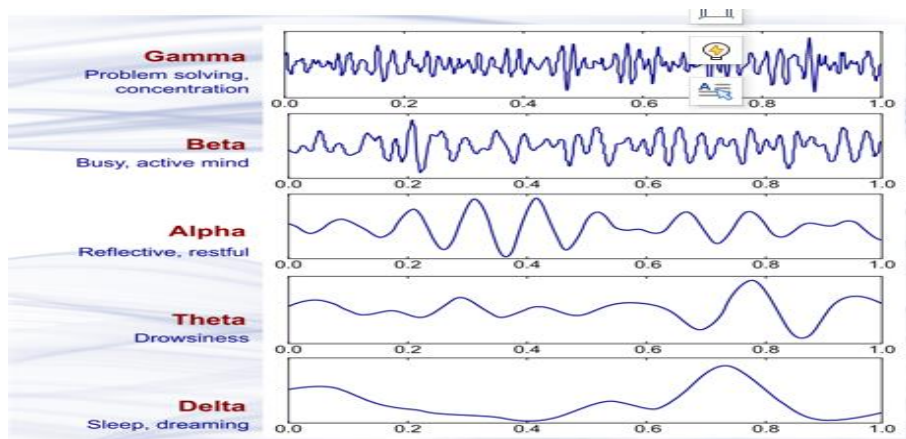
- 微分熵 Differential entropy是信息论中的一个概念，其来源于香农尝试将他的香农熵的概念扩展到连续的概率分布。香农熵是衡量一个随机变量的平均惊异程度的指标；
- Zheng Wei-Long等首先将微分熵利用到脑电情感识别上，证明DE特征优于其他脑电特征，并简化了微分熵的计算。

$$DE = \log 2(PSD)$$

基于生理信号的情感识别

■ 脑电信号的不同波段

- 脑电信号可以分为不同的波段，且在不同波段内包含不同的信息，因此常会滤波后单独提取单一频带的特征；
- 在脑电解码任务中，常聚焦与Delta, theta, alpha, beta, gamma这五个波段。并根据现有的脑电解码研究表明在大脑发出的gamma波段包含更多的情感信息。



五种不同的脑电波段

基于生理信号的情感识别

■ 脑电信号的脑网络特征

- 脑网络特征对脑功能网络的定量表征，为脑功能网络研究提供了分析工具，不仅可以对大脑功能进行数据驱动的定量评估，而不需要假设各个大脑区域如何参与不同的认知过程，还可以从实验数据对网络进行基于模型的推断，以及建模大脑系统之间的耦合及其受任务、感觉刺激或时间的调节；
- 常见的脑网络特征包括：Pearson相关系数，相干系数，相位斜率指数。

■ 基于肢体动作的情感识别

- 肢体动作研究背景与研究现状
- 肢体动作特征
- 基于肢体动作的情感识别

■ 基于生理信号的情感识别

- 生理信号研究背景与研究现状
- 生理信号特征
- 基于生理信号的情感识别

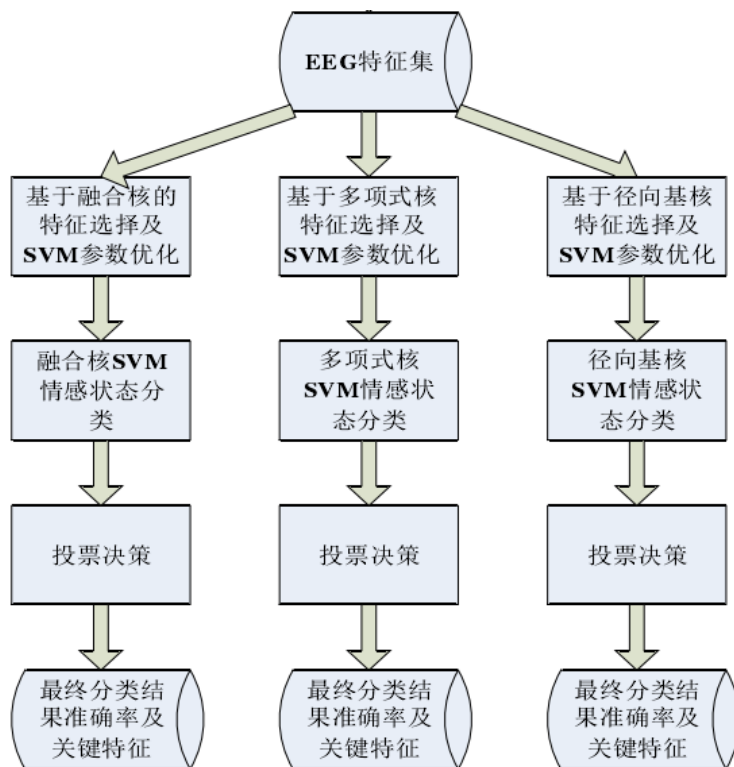
基于生理信号的情感识别

- 早期的基于生理信号的情感识别主要采用支持向量机、随机森林、决策树等方法；基于深度学习的生理信号情感识别近年来不断得到尝试。
- 典型方法
 - 支持向量机
 - 受限波尔兹曼机-深度置信网络（RBM-DBN）
 - 长短时记忆递归神经网络（LSTM-RNN）

基于生理信号的情感识别

■ 基于支持向量机的生理信号情感识别

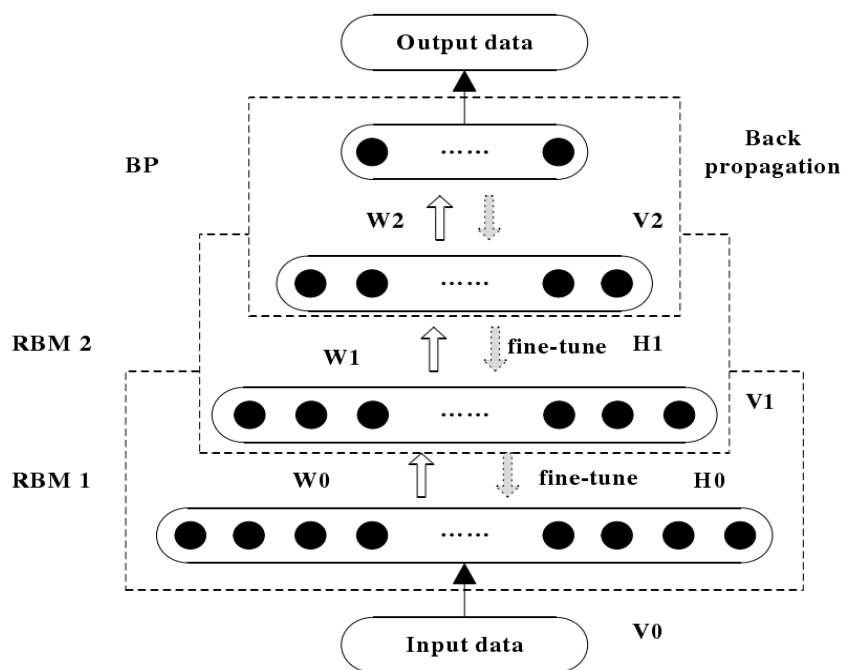
- 利用支持向量机处理小样本高维数据的优势，融合径向基核、多项式核等多核的识别结果，提高生理信号情感识别性能。



基于生理信号的情感识别

■ 基于RBM-DBN的生理信号情感识别

- 针对生理信号数据资源受限的问题，首先通过受限玻尔兹曼机进行逐层预训练，然后采用BP神经网络对模型参数进行细调。

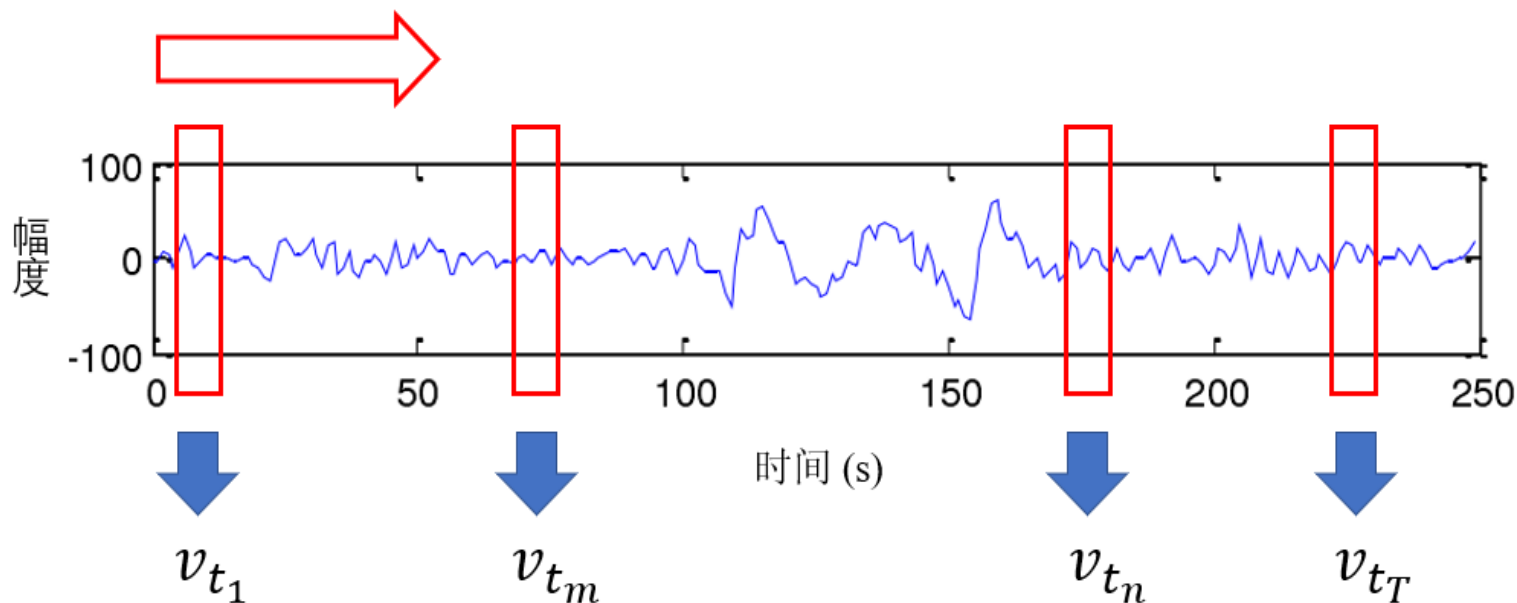


Enrique J, Juan C, Sonia H, et al. A machine learning model for emotion recognition from physiological signals

基于生理信号的情感识别

■ 基于LSTM-RNN的生理信号情感识别

- 生理信号的是一种时序信号，使用长短时记忆递归神经网络能够有效的捕获上下文时序信息，通过融合时序信息提高情感识别分类性能。

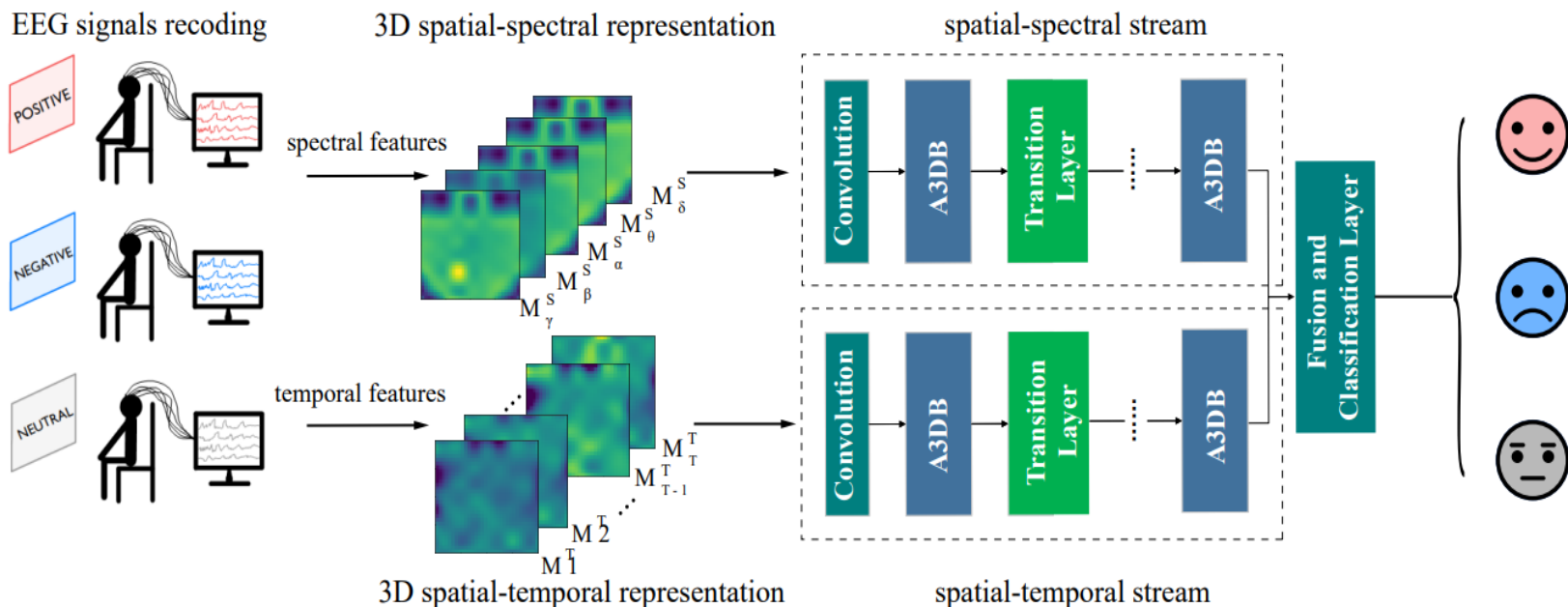


Enrique J, Juan C, Sonia H, et al. A machine learning model for emotion recognition from physiological signals

基于生理信号的情感识别

■ 基于双流注意力网络的生理信号情感识别

- 生理信号包含丰富的时空频信息，使用空频以及空时双流网络。利用了脑电的空间, 时间, 频带三方面信息, 并在采用相应的注意力机制。

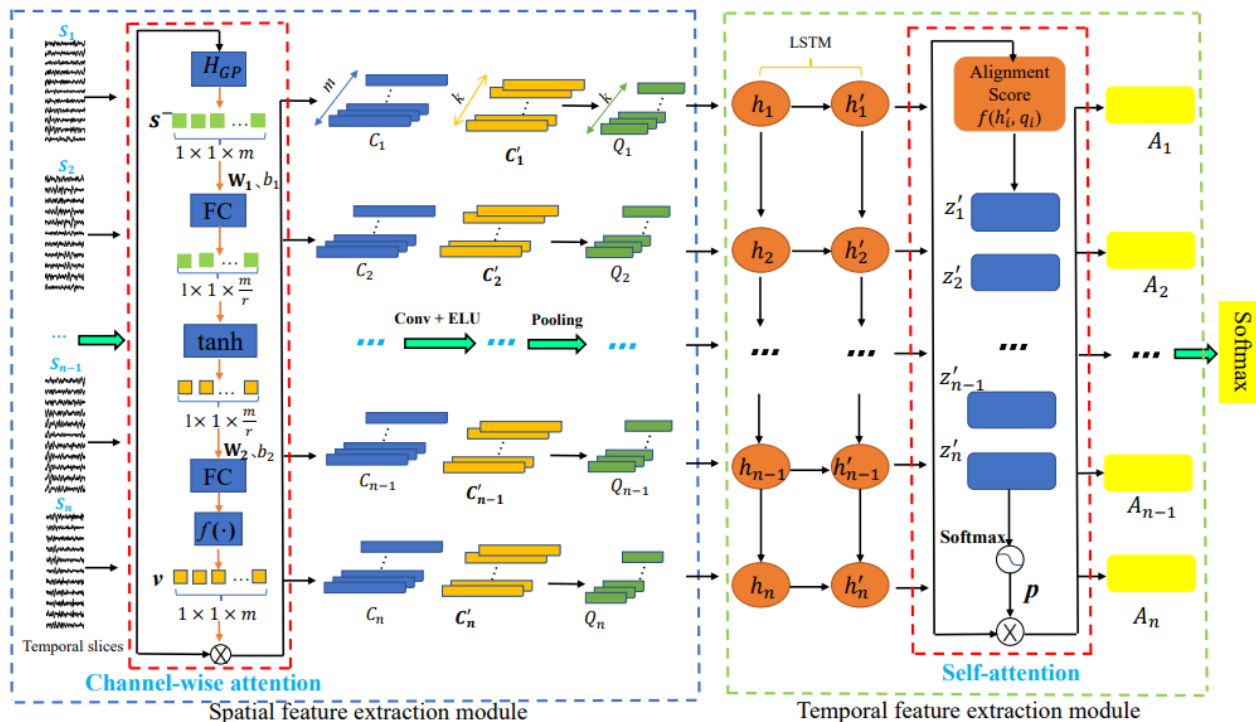


Ziyu Jia, Youfang Lin, Xiyang Cai, et al. SST-EmotionNet: Spatial-Spectral-Temporal based Attention 3D Dense Network for EEG Emotion Recognition

基于生理信号的情感识别

■ 基于通道注意力机制的生理信号情感识别

- 首先使用通道注意力机制提取生理信号的空间信息，再利用时序注意力网络提取时序信息。

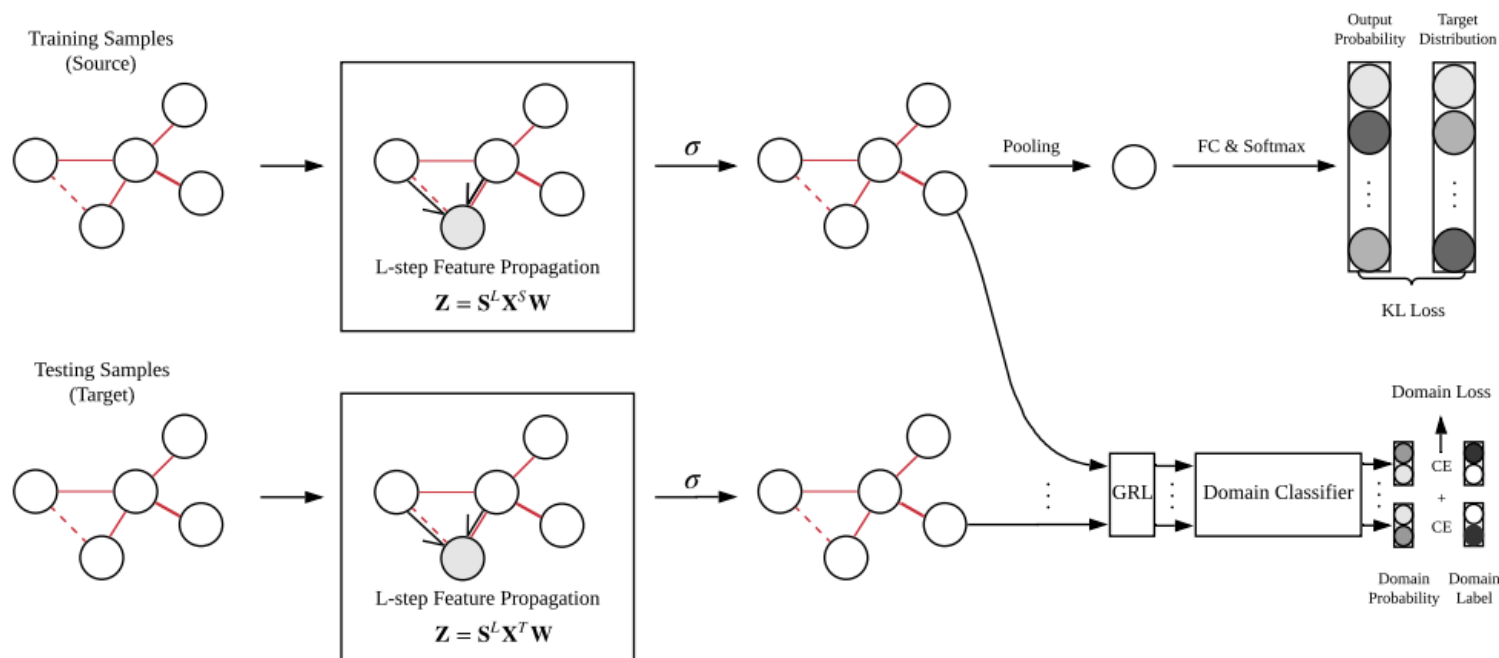


Wei Tao, Chang Li, Rencheng Song, et al. EEG-based Emotion Recognition via Channel-wise Attention and Self Attention

基于生理信号的情感识别

■ 基于RGNN的生理信号情感识别

- 通过图卷积神经网络提取生理信号的空间信息并利用领域对抗训练缩减不同被试间的数据分布差异，提高跨被试识别精度。

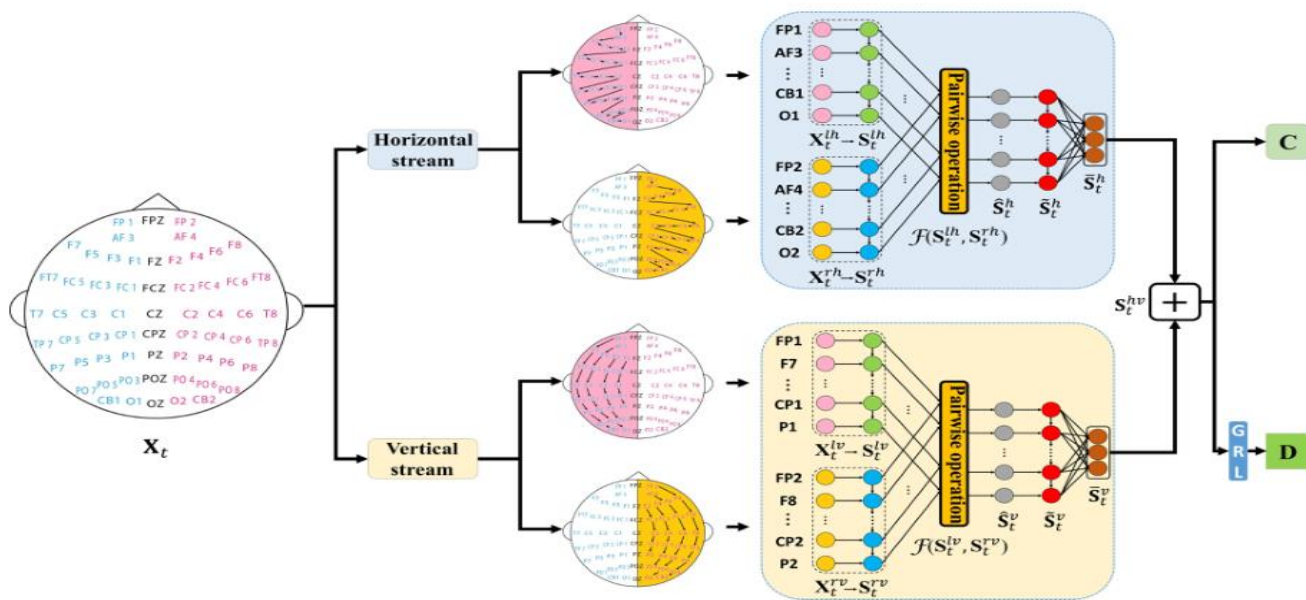


Peixiang Zhong, Di Wang, Chunyan Miao, et al. EEG-Based Emotion Recognition Using Regularized Graph Neural Networks

基于生理信号的情感识别

■ 基于领域对抗训练的生理信号情感识别

- 首先使用多个RNN模型提取大脑不同半球的情感特征，并提取不同半球间的差异特征。后利用领域对抗训练模型消除不同被试间的数据分布差异。



基于生理信号的情感识别

■ 基于非接触式的生理信号情感识别

- 采用非接触式生理信号识别人类情感始于21世纪初的美国；
- Honeywell实验室的研究成果表明，**当人突然遭受惊吓时，眼眶的温度明显高于其它部位；**
- 通过实验证实，通过热成像技术对紧张情感的识别率可达84%；
- 面部的各个区域温度变化是由于面部相应区域的血流量的变化造成的；在环境温度恒定的情况下，**血流量越大则温度越高**，面部血流变化是一种生理变化。

基于生理信号的情感识别

■ 基于非接触式的生理信号情感识别

- 首先提取每帧视频中面部的热像信息；
- 利用热像图可以计算面部区域的温度；
- 通过生物热传递模型可以将体表温度转换为血流量变化；
- 通过血流量变化分析个体是否紧张。

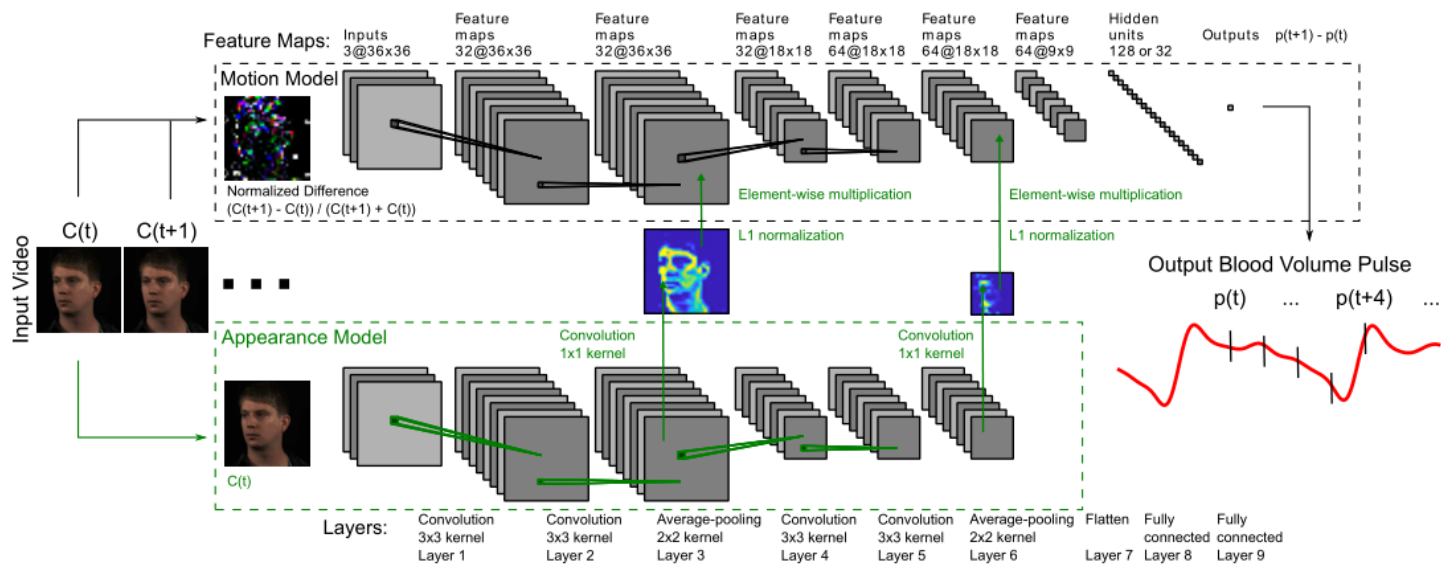


基于红外热成像的体温检测

基于生理信号的情感识别

■ 基于非接触式的生理信号情感识别

- 模型分为运动模型和表观模型，运动模型输入使用归一化帧差，有助于减少背景像素的影响；表观模型输入为当前图片帧；
- 注意力机制学习生理信号表现强的感兴趣区域。

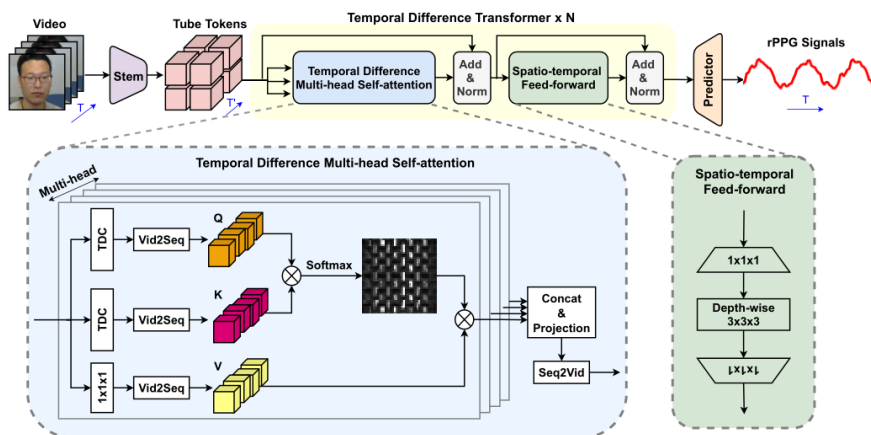


Chen, Weixuan, and Daniel McDuff. "Deepphys: Video-based physiological measurement using convolutional attention networks."

基于生理信号的情感识别

■ 基于非接触式的生理信号情感识别

- Stem有几个不同尺寸3D卷积核，用于粗略提取局部时空特征；
- Tube Tokens用于特征图尺寸缩放，减少计算量；
- 时间差分多头注意力模块捕获细粒度的局部时间差特征，用于细微颜色变化描述；
- 空间-时间前馈模块用于增强局部空间-时间特征表示，深度可分离卷积减少计算量。

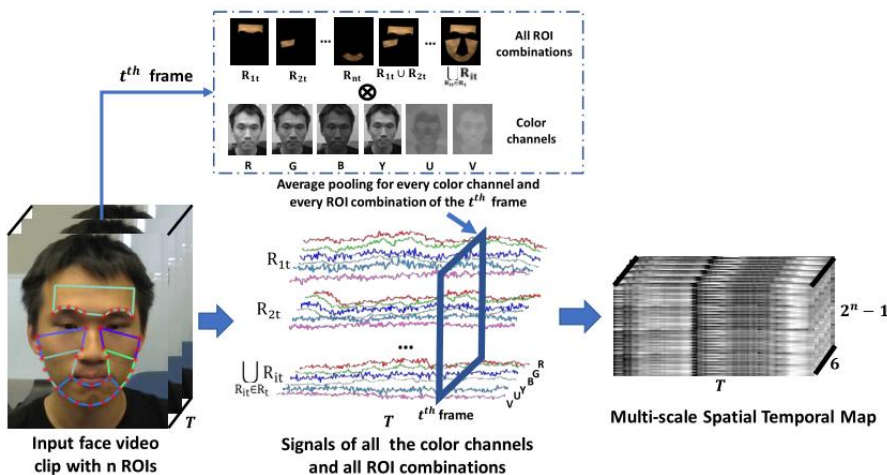


Yu, Zitong, et al. "PhysFormer: facial video-based physiological measurement with temporal difference transformer"

基于生理信号的情感识别

■ 基于非接触式的生理信号情感识别

- 提取时序人脸的感兴趣区（ROI），共 n 块；
- 对感兴趣区进行组合，有 $2^n - 1$ 种方式；
- 通道数6，RGB与YUV组合；
- 生成特征图MSTmap，大小 $(2^n - 1) \times T \times 6$ 。

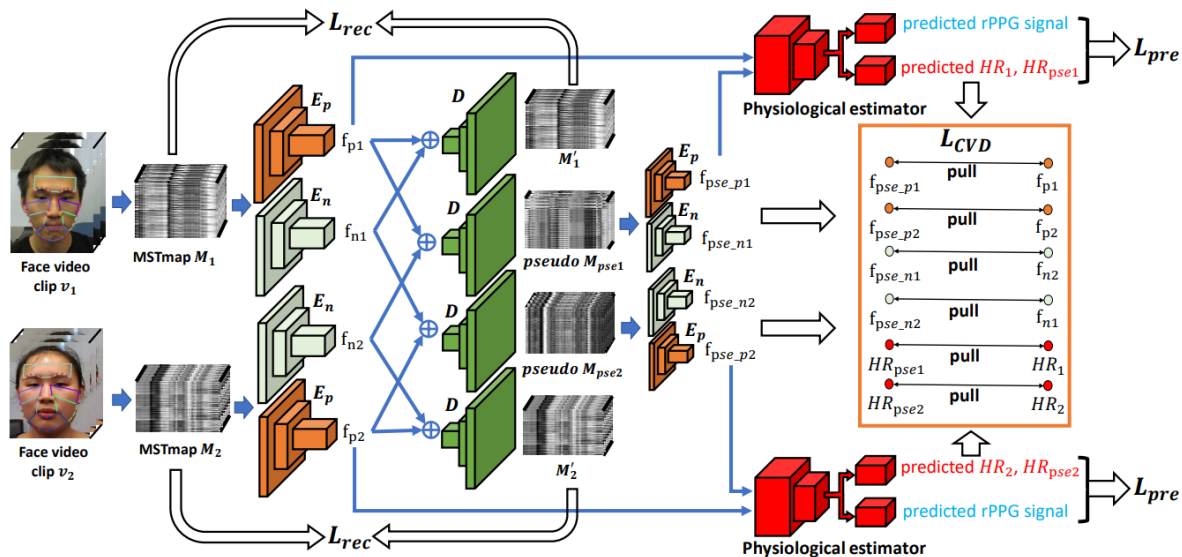


Niu, Xuesong, et al. "Video-based remote physiological measurement via cross-verified feature disentangling."

基于生理信号的情感识别

■ 基于非接触式的生理信号情感识别

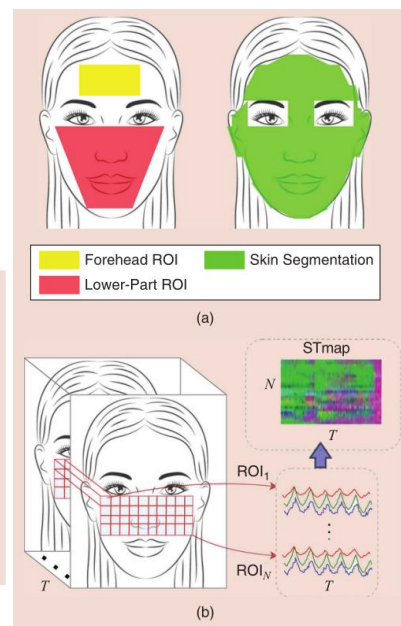
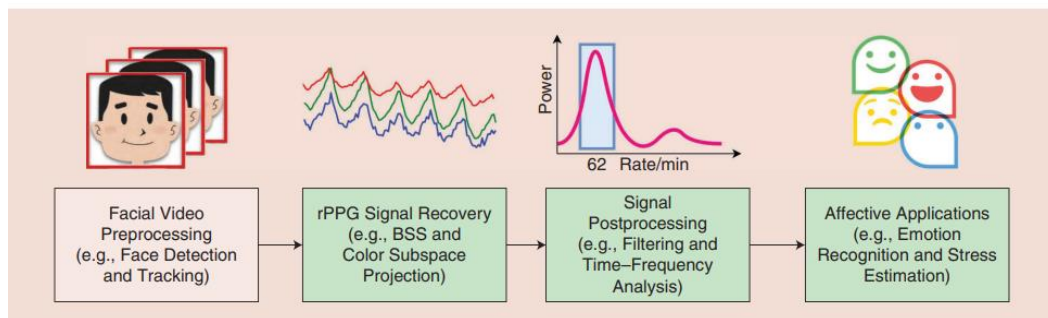
- 对人脸的兴趣区（ROI）提取特征图MSTmap ；
- MSTmap通过编码分别得到生理特征 f_{p1} 、 f_{p2} 和非生理特征 f_{n1} 、 f_{n2}
- f_{p1} 和 f_{n1} 通过解码还原特征MSTmap1 (M_1')，对于MSTmap2同理；
- f_{p1} 和 f_{n2} 通过解码合成新特征图pseudo M_{pse1} ；
- 通过损失函数 L_{rec} 、 L_{CVD} 和 L_{pre} 约束编解码后的特征相似度和预测值与标签的准确性。



基于生理信号的情感识别

■ 基于非接触式的生理信号情感识别

- 视频预处理（人脸检测和跟踪、提取人脸感兴趣区ROI、生成特征图）
- rPPG信号恢复（传统信号处理方法或神经网络方法）；
- 信号后处理（信号滤波和时域频域）；
- 情感分析（单模态/多模态）。



(a) ROI

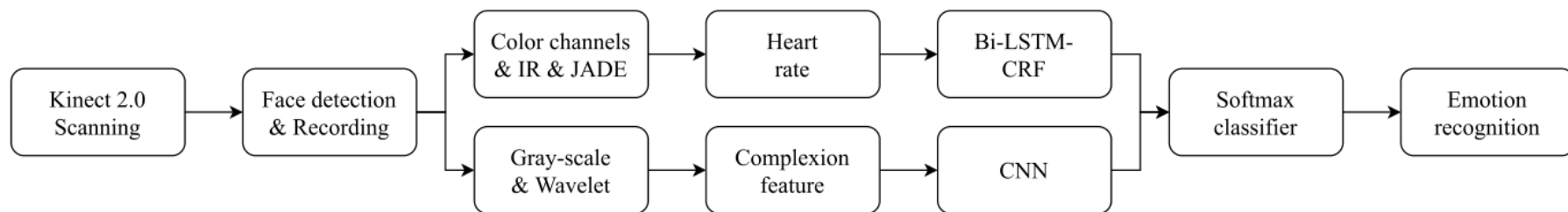
(b) 特征图STmap

Yu, Zitong, Xiaobai Li, and Guoying Zhao. "Facial-video-based physiological signal measurement: Recent advances and affective applications.

基于生理信号的情感识别

■ 基于非接触式的生理信号情感识别

- 面部肤色变化可能是由血流、血压、血糖水平的变化以及情绪变化引起的；
- Bi-LSTM和CRF来提取心率特征，允许模型适应任意上下文信息；
- 与面部表情相比，面部肤色特征不易受人的可控，用卷积网络提取肤色特征。



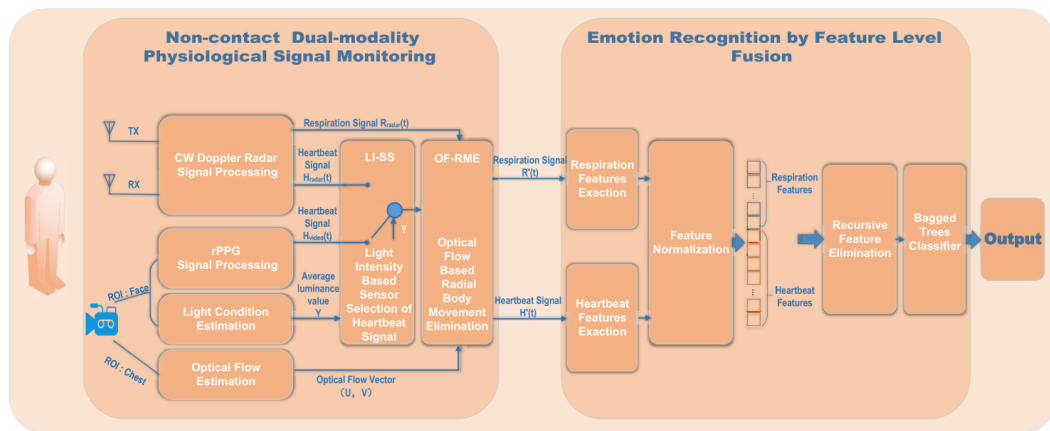
非接触融合心率特征和肤色特征

Du, Guanglong, et al. "A Noncontact Emotion Recognition Method Based on Complexion and Heart Rate."

基于生理信号的情感识别

■ 基于非接触式的生理信号情感识别

- 雷达用于捕捉由呼吸和心跳，手机摄像头用于捕捉心跳信号；
- 雷达捕捉生理信号受朝向或远离传感器运动影响，RGB传感器捕捉生理信号受光照强度影响；
- 摄像机和多普勒雷达结合用于情感识别中的非接触生理信号监测。



非接触双模情感识别

Zhang, Li, et al. "Non-contact dual-modality emotion recognition system by CW radar and RGB camera.

基于生理信号的情感识别

■ 总结

- 生理信号**不易伪装**，能够相对客观的反应个体的情感状态；
- 生理信号数据资源受限，需要建立**高质量的生理信号数据库**；
- 需要结合生理信号探索**基于认知机制的情感模型**；
- 基于**非接触式的生理信号情感识别**是未来的研究热点。



中国科学院自动化研究所
INSTITUTE OF AUTOMATION
CHINESE ACADEMY OF SCIENCES

谢谢

