

基于多通道生理信号的 情绪识别技术研究

Emotion recognition technique
using multi-channel physiological signals

王海宁 著

湖南大学出版社

设计学新视野丛书

基于多通道生理信号的 情绪识别技术研究

Emotion recognition technique
using multi-channel physiological signals

王海宁 著

湖南大学 出版社

设计学新视野丛书

内 容 简 介

情绪作为人反映客观世界的一种形式,是人的心理活动的重要组成部分,对人的现实生活和精神生活各方面都有着重要作用。随着人机交互技术的发展,计算机这一人工实体正逐渐变得更加职能化和拟人化,人们希望计算机能够越来越多地理解人们的情感和情绪,让计算机具有感知与识别、分析与表达情感的能力已成为情感职能的主要标志和实现下一代人机交互的重要前提。

图书在版编目(CIP)数据

基于多通道生理信号的情绪识别技术研究/王海宁主编. —长沙:湖南大学出版社, 2016.8

ISBN 978-7-5667-0975-2

I. ①基... II. ①王... III. ①人工智能—研究 IV. ①TP18

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第223676号

基于多通道生理信号的情绪识别技术研究

JIYU DUOTONGDAO SHENGLI XINHAO DE QINGXU SHIBIE JISHU YANJIU

作 者:王海宁 著

责任编辑:程 诚 责任校对:全 健 责任印制:陈 燕

印 装:虎彩印艺股份有限公司

开 本:787×1092 16开 印张:8.5 字数:228千

版 次:2016年8月第1版 印次:2016年8月第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-5667-0975-2

定 价:32.00元

出 版 人:雷 鸣

出版发行:湖南大学出版社

社 址:湖南·长沙·岳麓山 邮 编:410082

电 话:0731-88822559(发行部),88821594(编辑室),88821006(出版部)

传 真:0731-88649312(发行部),88822264(总编室)

网 址:<http://www.shejisys.com>

电子邮箱:hjhncs@126.com

版权所有,盗版必究

湖南大学版图书凡有印装差错,请与发行部联系

第1章 绪论

1.1 研究背景及意义	2
1.2 情绪的定义	3
1.3 情绪理论模型	4
1.4 情绪相关的生理信号	6
1.5 基于生理信号的情绪识别	13
1.6 研究目标与组织结构	19

第2章 基于事件相关电位的情绪模式识别

2.1 引言	24
2.2 实验目的	24
2.3 情绪主观量表	25
2.4 情绪诱发方式	26
2.5 实验材料和方法	28
2.6 实验结果	35
2.7 讨论	39
2.8 基于 ERP 的情绪识别模型	40
2.9 本章小结	45

第3章 多通道生理信号的情绪特征提取

3.1 引言	48
3.2 实验材料和方法	48
3.3 常规特征抽取	55
3.4 非线性特征抽取	58
3.5 本章小结	67

第4章 多通道生理信号的特征选择技术

4.1 引言	70
4.2 生理信号情绪识别中的特征约简	70
4.3 传统特征选择方法的问题	71
4.4 基于 Trace-Ratio 的情绪特征选择	72
4.5 最优情绪特征子集生成	75

4.6 本章小结 78

第 5 章 多通道生理信号的情绪分类模型

5.1 引言 80

5.2 情绪分类标准 80

5.3 多通道生理信号情绪分类 81

5.4 情绪分类实验结果 85

5.5 本章小结 88

第 6 章 多通道生理信号情绪识别系统开发

6.1 引言 90

6.2 系统整体界面 90

6.3 系统功能模块 91

6.4 本章小结 94

第 7 章 总结与展望

7.1 本书研究工作 96

7.2 主要成果与创新点 96

7.3 展望 98

参考文献 100

附录 115

后记 130

PART 1

第1章 绪论

- ▶ 1.1 研究背景及意义
- ▶ 1.2 情绪的定义
- ▶ 1.3 情绪理论模型
- ▶ 1.4 情绪相关的生理信号
- ▶ 1.5 基于生理信号的情绪识别
- ▶ 1.6 研究目标与组织结构

1.1 研究背景及意义

情感是人们对于客观事物是否符合自身需要而产生的态度体验。稳定均衡的情感不仅有助于人的身心健康,使人们在艺术、娱乐、社交等方面的生活更加充实,而且很大程度地影响着理性思维和逻辑推理等方面的根本机制。诺贝尔奖获得者 Herb Simon 在论述关于认知的基础时强调思维和问题解决的通用理论中必须包含情感的影响。情感理论家们认为情感作为一个强有力的因素影响人们的感知、认知、处事和创造力。来自神经科学、认知科学和社会心理学的研究成果也表明,情感在人们解决问题、决策、社交、感知、激励、记忆、推理、学习、注意力、创造力以及其他各种认知行为中发挥着重要的作用。20 世纪末以来,情绪研究这种最初属于哲学家、社会学家和心理学家研究范畴的概念,开始逐渐吸引计算机科学学者的关注。

图灵奖获得者、人工智能创始人之一的 Minsky 教授在《心智社会》一书中指出“问题不在于智能机器是否有情感,而在于没有情感的机器是否能够实现智能”。他认为,人工智能下一个重大突破很可能来自赋予计算机更多的情感智能,包括由人自身和人际间的智能组成的社交智能 (Social Intelligence),或称情感智能 (Emotional Intelligence),即获取自身以及他人的感觉和情感,并加以区别,然后利用这些信息指导人的思维和行为的能力。此外,随着人机交互技术的发展,以人为中心,自然、亲切和生动的交互成为发展新一代人机交互的主要目标。让计算机具有

感知与识别、分析与表达情感的能力已成为情感智能的主要目标和实现下一代人机情感交互的重要前提。

美国 MIT (Massachusetts Institute of Technology) 媒体实验室的 Picard 教授在 1997 年出版的《情感计算》专著中将情感计算定义为“与情感相关、来源于情感或者能够对情感施以影响的计算”。之后的十余年间,情感计算作为一门学科在人工智能、人机交互等领域引起了学术界和企业界的广泛重视。目前,学者们在“没有情感计算能力的智能机器无法充分实现人工智能”这一点上已经达成了普遍共识。情感计算通过各种传感器采集由人的情感引起的语言、语音、人脸表情、姿态手势、生理信号等信息,利用情感模型进行分析、处理和识别,进而理解人的感情并作出智能、灵敏和友好的响应。其目的在于通过赋予计算机类似于人的观察、理解和表达各种情感的能力,来建立和谐的人机环境,最终使计算机能够像人一样进行自然、亲切和生动的交互,从而实现更高级别的智能。目前国内外学术界的工作主要集中在情感信息获取与识别,这也正是本文的研究切入点。

人的情感信息可以通过视觉信号(如人脸表情、身体姿态、手势、头部运动等),语音信号(如音调、音强、频率和持续时间等参数),生理信号(心率、肌电、脑电、皮肤电反应、热红外影像等)等手段进行感知。其中生理信号由于直接受自主神经系统和内分泌系统控制,基本不受

被试者的主观影响,所以使得识别结果比其他间接识别方法更加客观、真实且具说服力。一个人即使不去显式地通过语音、手势姿态或者面部表情去表露自己的情绪,其内心生理信号的模式变化仍然不可避免,并且可以通过一系列生理电极测量得到。此外,与视觉或语音情感信号的短时和稀疏特性不同,生理信号是一种长时间的连续信号,能够在传统的视觉和语音信号出现缺失或失效时保持工作,因此可以有效地增强人-机交互甚至是人-人交互。

基于生理信号进行情绪识别是一个近年来不断发展的研究领域,在国外引起了众多研究者的兴趣,随着非侵入式生理信号检测技术的发展,出现了多样化的应用,主要体现在以下领域:

①人工智能:情境智能与普适计算、虚拟现实、智能代理和化身、互联网、信息抽取;

②人机交互:情感化设计、用户体验、交互设计、情感机器人、空间注意分析、

人机工程;

③临床和生物医学研究:压力/疼痛检测、康复医疗、孤独症等心理疾病的诊断和治疗;

④教育:在线学习、情境学习;

⑤智能驾驶:驾驶员情感分析、模拟飞行;

⑥多媒体:视频标注、推荐与检索;

⑦艺术:音乐情感、电影剧本创作;

⑧娱乐:游戏设计。

可以看出,生理信号情绪识别技术已经在我们的生活中出现并产生较大的影响。通过建立鲁棒的情绪识别系统,准确地识别、处理和响应用户的情感状态,能够为用户的工作、健康和娱乐带来更加舒适的交互体验。此外,随着社会竞争日益激烈,生活节奏不断加快,越来越多的人明显感觉到精神压力带来的沉重负荷,这也导致了各种疾患的产生。有效监测和识别人的情绪和精神状态对于预防各种亚健康疾病,提高生活质量有着重要意义。

1.2 情绪的定义

在情绪心理学和情感计算领域的研究中,情绪(Emotion)、感情(Feelings)、情感(Affect)、心境(Mood)、性情(Disposition)、性格(Personality)等概念比较接近,在不同的书籍和文献中有不同的释义,时常不加注解或者定义不清,在一定语境下可以混用。针对这些相似的语义,最为详细的对比来自心理学家 Scherer 设计的情感心理学概念表,从强度、持续时间、同步性等 7 个维度进行了情绪相关概念的比较,并给出了每种概念的简明定

义和实例。此外, Kleinginna 等人整理了近一个世纪以来 101 种关于情绪的定义和描述,从 11 个角度对这些定义进行分析后给出了情绪的一般性定义,即情绪是在神经/激素系统的调节下,通过主客观因素作用而产生的一系列复杂的交互行为。

总体来说,目前国内外心理学界就情绪概念达成的共识是:情绪是指与人的物质或生理需要相联系的态度体验,持续时间通常较短,从几秒到几分钟不等。具有情境性、激动性、暂时性、表浅性与外显

性。情绪过程通常始于对事件个人意义的评估,进而表现在主观体验、生理反应(中枢神经系统/周围神经系统)和外在行为三个方面。这三部分在对情绪的理解过程中共同呈现,不可替代。也只有当三者

同时存在、同时作用时,才能构成完整的情绪体验过程。这三个方面也恰好对应着情感计算的三种考量对象,即主观量表分析、生理学测量和行为学分析。

1.3 情绪理论模型

情绪研究的前提是选择合适的模型用以描述用户的心理状态。情感模型的选取,对于情感状态诱发、分析与合成等步骤都有着密切的影响。基于生理信号的情绪识别问题同样如此,情绪模型决定了生理信号的度量方式以及后续数据融合规范。根据心理学目前最新的研究成果,情绪研究主要包括三种途径,分别是基本情绪模型(又称分类模型或离散情绪模型)、维度模型和评价模型,其中前两种在情绪识别领域占据主导地位。

1.3.1 基本情绪论

基本情绪模型认为存在一系列基本的、普遍的、与生俱来的基本情绪集合,每种情绪有其独特的心理体验、生理反应及行为表现模式。数千年来,中外哲学家和心理学家尝试从不用的角度对情绪进行分类。我国古代有所谓六情说和七情说。从春秋到唐宋,从中医理论到儒、道、佛的宗教文化,这两种学说都各有许多大同小异的提法,但最典型的观点是“喜、怒、哀、乐、爱、恶”六情,再加上一个“欲”从而构成七情。我国当代心理学家林传鼎将人的情绪归纳为安静、喜悦、愤怒等18类。在西方学术界,从古希腊的斯多葛哲

学学派到20世纪末,对存在多少基本情绪、哪些情绪是基本的,为什么基本等问题的讨论从未停止。这方面最具代表性的成果是Ekman在20世纪70年代初基于人脸表情认知的研究总结出的6种基本情绪,分别是:快乐、悲伤、惊讶、愤怒、恐惧和厌恶,认为这些基本情绪能够在彼此间以及和其他情绪现象之间进行有效区分,并可以通过组合转化成其他情绪。Ekman教授的情绪分类方法至今仍在心理学界和工程界占有举足轻重的地位。

1.3.2 维度情绪论

由于情绪的产生机制复杂、边界模糊,在表达和体验上均存在较大的个体差异,仅仅依靠少数离散的语义标签往往无法有效反映出丰富的情绪信息中所传达的复杂和微妙。此外,来自心理学和语言学的研究发现,情绪类别并非具有跨语言一致性,基本情绪词汇的含义在不同语言之间存在显著差异。因此,情绪和行为计算领域的学者一直致力于研究如何通过连续维度对情绪行为中的复杂性、微妙性和连续性问题进行建模和解析,维度情绪理论由此产生。

情绪的维度理论源于传统的心理学,

认为情绪状态间并非彼此独立，而是可以通过一些基本的维度对情绪反应进行组织和归类。不同的情绪之间存在逐渐的、平稳的转变，并且可以用彼此在维度空间中的距离来度量其相似性和差异性。维度理论中使用最广泛的模型是 Russell 基于认知理论提出的情绪环，该模型认为每种基本情绪都呈现出一种由相互对立的两极特性构成的情绪连续体。核心情绪状态主要从两个维度加以度量：唤醒度（Arousal，决定于情绪的强度程度，从昏昏欲睡、放松到觉醒、全神贯注等）和效价（Valence，决定于情绪的正负性质，从愉悦、爱到悲伤、厌恶等）。根据这一理论，典型的情绪过程包括：

- （1）由某一内在或外在事件触发产生个体状态的变化；
- （2）个体核心情绪状态对变化进行感知；
- （3）个体对当前的情绪状态在唤醒度-效价维度空间中进行标识。

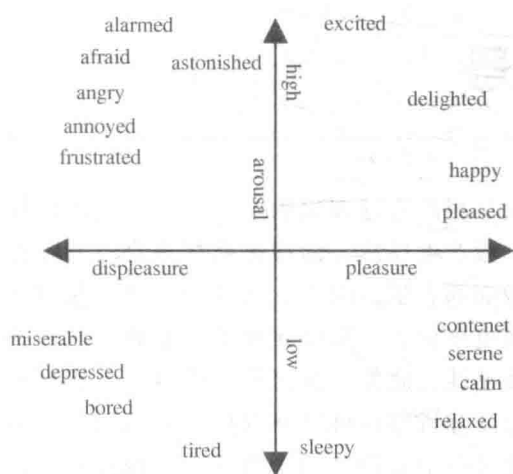


图 1-1 唤醒度-效价情绪模型

Russell 的唤醒度-效价模型在情绪计算领域中占据主导地位，除此之外，Watson 和 Tellegen 认为情绪空间轴应该覆盖人们对情绪语义描述最为密集的区域，并在 Russell 的工作基础上，使用基于方差最大旋转的因子分析法构造出包含正性情

绪（Positive Affect, PA）和负性情绪（Negative Affect, NA）的维度模型。和唤醒度-效价模型相一致，趋避动机理论（Approach - Avoidance）模型以物种的生存与进化为根源，用趋向维度表示对于某种刺激的倾向性，而用回避维度表示避免某种刺激的动机。德国心理学家 Wundt 提出了情绪三维学说，认为情绪过程由三对情绪元素构成，分别是快乐度（愉快-不愉快）、冲动度（兴奋-平静）和紧张度（紧张-松弛）。每一维度都具有两极性的强弱变化，每种情绪在具体发生时，都处在这三个维量的两极之间的不同位置上。之后比较有影响的三维情绪模型还包括 Woodworth 和 Schlosberg 等人根据面部表情分类研究提出的包含愉快-不愉快、注意-拒绝和激活水平的三维倒圆锥模型；Blumenthal 从认知论角度提出的注意-唤起-愉快三维模型；Osgood 的效价-唤醒度-控制三维模型，以及 Plutchik 的两极性-相似性-强度三维倒圆锥情绪模型等。3D 情绪空间理论（又称 PAD 情绪空间或情绪基元）在 Russell 情绪环的基础上加入了优势度（Dominance）。此外，为了更加完整地描述情绪构成问题，有些学者将期望值（期望程度或被忽视程度）、复杂度、确信度、动力性等作为第四维，将强烈度作为第五维加入模型。

关于维度模型的优劣比较，以及不同情绪维度内部间的相关性一直是心理学界争论的话题。但总体来说，尽管维度模型在理论细节上差异较大，但在可以通过有限的维度来组织和度量情绪状态这一核心理论上是一致的。经过系统的分析和比较，作者发现维度情绪划分方法比基本情绪的划分方法具有几方面的优势。首先，在实验场景下，诱发不同等级的情绪比诱发某种具体情绪要简单得多，被试者很可能无法被恰当地诱发出研究者所希望的情绪；其次，从研究者的角度来说，并不一定非

得诱发某种具体情绪，唤醒度和维度情绪各有其特性，诱发出不同等级的情绪就达到了研究目的，因此，在当前的情绪研究

工作中，Russell 的唤醒度-效价情绪模型仍具有广泛的应用价值，这也是本文后续情绪实验研究的依据。

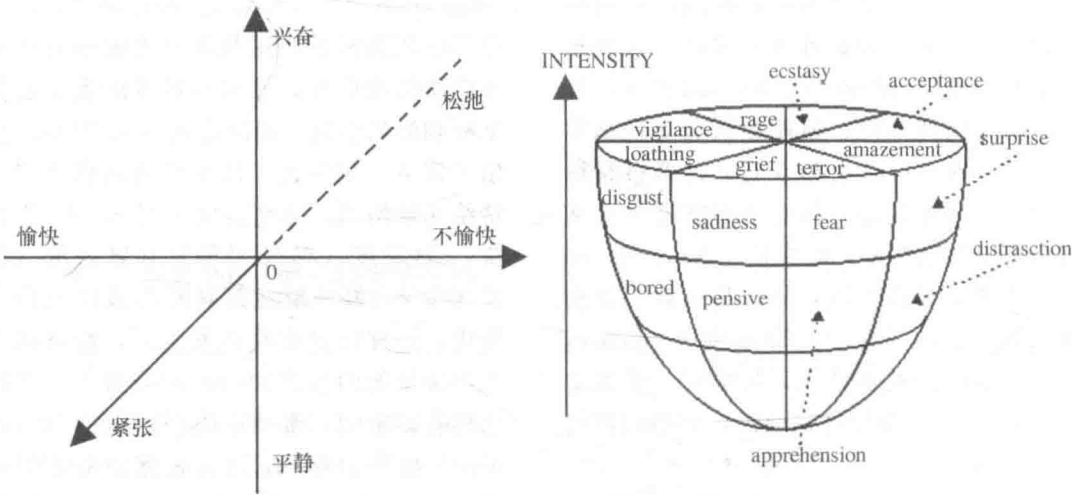


图 1-2 Wundt 的三维情绪模型和 Plutchik 的三维倒圆锥情绪模型

1.4 情绪相关的生理信号

近年来，心理学家和神经科学家在挖掘不同情绪的心理生理关联方面做了大量的研究工作，得出很多规律。目前情绪计算领域常用的生理信号包括：皮肤电反应、肌电、呼吸、眼动、皮温、皮阻、血压等。表 1-1 列出了情绪研究中最常见的生理信号及主要特征，下一节将分别进行介绍。

1.4.1 肌电反应 (EMG)

表面肌电信号是一种非侵入式的测量手段，通过探测并放大肌肉纤维收缩时产生的微小电脉冲来测量肌肉活动。面部肌肉的神经特性决定了其收缩过程不仅可以主动控制，并且能够在不同情绪条件下自

发进行。通过表面肌电能够对不同的情绪刺激产生反应，即使是那些观察不到的细微面部表情。因为大部分面部肌肉靠近表面电极位置，所以在幅值域上具有很好的敏感性。此外，表面肌电信号拥有较好的时间分辨率，可以准确捕获面部肌肉在心理过程中所产生的短暂变化，因而在人机交互领域，尤其是在情绪反应的实时、连续和高效测量方面发挥着重要作用。表 1-2 列出了 Ekman 提出的基本情绪与面部肌肉运动的对应关系。

目前与情绪研究相关的面部肌电测量主要集中在颧大肌和皱眉肌两处。前者位于嘴角外侧上部，其收缩可以牵引嘴角向斜上方运动，将其拉向颧骨从而形成笑容；

后者位于额肌和眼轮匝肌之间靠近眉间的位置,其收缩时,能使眉头向内侧偏下的方向拉动,在额头靠近鼻部位置产生纵向皱纹。已有研究发现,基于颧大肌和皱眉肌反应的测量分析能够有效地区分正负情绪,其中皱眉肌反应和情绪效价间呈现负

线性相关,而颧大肌反应则表现出线性相关和非线性相关。皱眉肌活动不仅会在经历正性情绪时得到加强,而且会在经历负性情绪时受到抑制,因而也被广泛应用于精神负荷的测量。

表 1-1 常见的情绪测量生理信号及特征

生理信号	主要特征	单位	反应时间	备注
心血管活动	心率	次/分	0.67~1.5s	
	心跳间隔标准差	s	0.67~1.5s	心率变异性指标
	心跳间隔差值均方根	s	0.67~1.5s	心率变异性指标
	低频功率 (0.05 Hz-0.15 Hz)	ms ²	0.67~1.5s	交感神经活动
	高频功率 (0.15 Hz-0.40 Hz)	ms ²	0.67~1.5s	副交感神经活动
	超低频功率 (< 0.05 Hz)	ms ²	0.67~1.5s	
	低频/高频比值		0.67~1.5s	
	脉搏传导时间	ms	0.67~1.5s	
皮肤电反应	皮肤电导水平均值、标准差	μs	>2~10s	交感神经活动
	皮肤电导反应数量	次/min	>2~10s	比率相位活动
	皮肤电导反应振幅	μs	>2~10s	相位活动
	皮肤电导反应 1/2 恢复时间	s	>2~10s	
	皮肤电导反应上升时间	s	>2~10s	
皮肤温度	皮温均值、标准差	°C	>15~20s	
眼球活动	眨眼间隔均值、标准差	ms	<1s	
呼吸活动	呼吸速率	次/min	4~15s	
	呼吸幅度	a. u.	4~15s	
	吸气时间	s	4~15s	
	呼气时间	s	4~15s	
	呼吸负载周期	s	4~15s	
	吸气/呼气比值		4~15s	
肌肉活动	皱眉肌机电均值、标准差	μV	<1s	皱眉
	颧大肌机电均值、标准差	μV	<1s	微笑
	上斜方肌机电均值、标准差	μV	<1s	

表 1-2 情绪相关的面部运动特征

基本情绪	涉及肌肉	产生动作
快乐	眼轮匝肌、颧大肌	眼睑闭合，嘴角侧向上拉
惊讶	额肌、上睑提肌	眉毛上扬，上睑提升
恐惧	额肌、皱眉肌、上睑提肌	眉毛上扬，眉毛降低，上睑提升
愤怒	皱眉肌、上睑提肌、眼轮匝肌	眉毛降低，上睑提升，眼睑闭合
悲伤	额肌、皱眉肌、口角降肌	眉毛上扬，眉毛降低，唇角下降
厌恶	上唇提肌、上唇鼻翼提肌	上唇上移，上唇上移和鼻部皮肤起皱

肌电信号分析中常用的特征包括振幅域、频域和时域等方面。对振幅特征而言，由于原始肌电信号会在 0 值上下振荡，一般需要先全波整流、平滑等信号处理方法对信号进行预处理，然后再对均值、峰值、最小值、面积、斜率等情绪研究中常用的标准振幅参数进行定量计算。Nakasone 和 Hazlett 使用整流的 EMG 信号对正负情绪进行区分，Hazlett 和 Benedek 采用整流 EMG 信号的均值来预测正性情绪，用 EMG 信号的峰值数量来关联负性情绪。Mandryk 和 Atkins 使用移动平均的方法对 EMG 信号进行平滑处理，并使用归一化后的 EMG 振幅在效价维度上进行分类。Amershi 等人在考察微笑和皱眉的 EMG 特征时发现只有均值和标准差相关性较大，而峰值与情绪相关性较小。

1.4.2 心电反应 (ECG)

心电信号是指心脏活动期间所发生的电变化，这种变化可以在人体表面安放电机测量得到，并将测得的结果描记成图，即得到心电图。如图 1-3 中记录的一次正常心跳，包括五个基本波形。依次是最先出现的缓慢 P 波，其后的宽度较窄、变化迅速的 QRS 波群，较宽的缓慢 T 波和最后的小 U 波。其中 QRS 波群里，第一个向下的波为 Q 波，第一个向上的波为 R

波，R 波后是一个向下的 S 波。在心电图的各个波中，R 波最为明显，一般以它为基准来定位其他波的位置，所以 R 波检测是心电信号分析诊断的前提和基础。通常通过标定 QRS 波群中相邻 R 波波峰的间距来计算出 RR 间期（又称 NN 间期或 IBI）和心率。

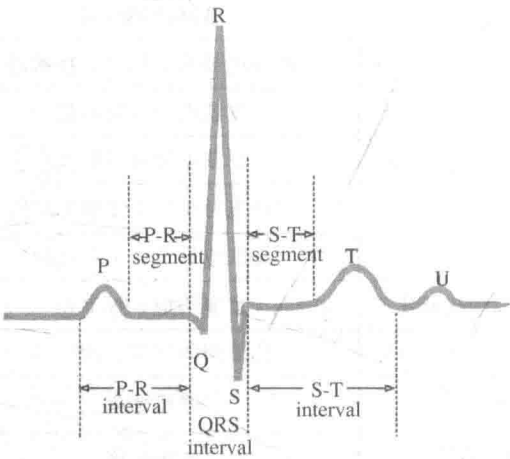


图 1-3 正常的心电图波形

心电分析具有较好的可靠性和易用性，是心理生理学研究的主流方法，常用的测量指标包括心率（HR）、心率变异性（HRV）、血容量搏动（BVP）、血压（BP）、血管总外周阻力（TPR）、心输出量（CO）、射血前期（PEP）等，这些指标会随着对交感神经系统或副交感神经系统行为的反应而变化。在情绪识别领域，目前学术界和工业界使用最多的是心率和

心率变异性这两项指标。

(1) 心率 (HR)

心率是情绪反应的有效生理指标之一,最早在人机交互任务中用于情绪效价的识别。Mandryk 和 Atkins 使用模糊规则研究了生理信号同唤醒度和效价等心理学概念间的相关性,发现当心率较高时,唤醒程度和效价值也较高;而当用户感到无聊或悲伤时,心率也较低。心理学家在研究愤怒和恐惧时发现这两种情绪均能够引起心率的显著增加。Lisetti 和 Nasoz 认为与悲伤和快乐情绪相比,心率同愤怒和恐惧的相关性更强。Detenber 等人在负性情绪刺

激和正性情绪刺激中均发现了心率减速现象,其中后者强度较弱,同时还发现心率减速同高低唤醒状态的相关性要强于同一般唤醒的相关性。此外,Wood 和 Hokanson 等人用心率作为紧张的衡量指标,研究任务操作和唤醒度水平的关系,发现随着心率的不断增加,操作水平也会随着提高,但达到一定水平后,心率的增加反而使操作水平下降。综上所述,关于心率同唤醒度和效价的相关性规律并不绝对,本文在情绪识别模型的论述中会结合实际情况作出分析。

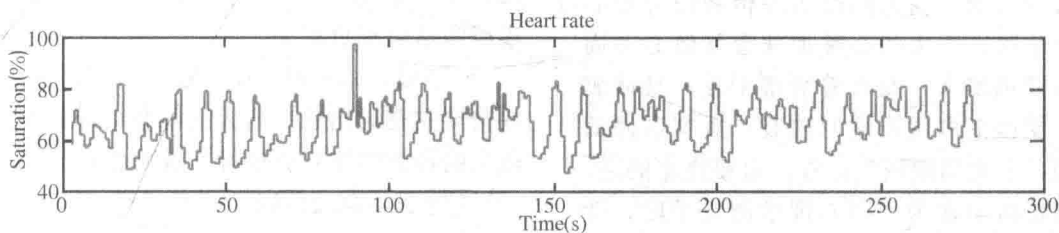


图 1-4 心率信号

在情绪研究领域,常用的心率相关的指标包括:平均 NN 间期 (MeanNN), NN 间期标准差 (SDNN), 连续 NN 间期差值的均方差 (r_{msSD}), 平均心率 (MeanHR), 心率标准差 (SDHR) 等等。Lee 等人通过研究 MeanNN, SDNN 和 r_{msSD} 与不同情绪状态之间的关联时发现, MeanNN 在情绪间无明显差异,而 SDNN 和 r_{msSD} 在恐惧情绪时最高,在快乐时最小。Amershi 等人基于这一研究结论,选取 MeanHR 和 SDHR 用于教育游戏中的情绪状态研究,其结果显示两种测量手段均存在相关性。

(2) 心率变异性 (HRV)

心率变异性是指连续心跳间期的振荡,一般通过 2~5 min 短时记录中得出的 RR 间期的功率谱密度来进行估计。功率谱密度分析是一种反映自主神经系统变化影响

心跳波动的评估方法,可将复杂的心率波动信号按不同频段来描述能量的分布情况。Kobayashi 提出功率谱主要包含 3 个频谱成分,分别为:

①高频 HF (频域为 0.15~0.4 Hz, 谱峰在 0.25 Hz 左右), 主要与副交感神经的抑制有关;

②低频 LF (频域为 0.04~0.15 Hz, 谱峰在 0.1 Hz 左右), 主要和交感神经活动相关;

③极低频 VLF (频域为 0.003 3~0.04 Hz), 标识心率的缓慢变化。

研究发现,当交感神经活性被阻断时,HRV 低频谱峰显著降低,而当迷走神经活性被阻断时,HRV 谱中高频谱峰显著降低。此外,LF/HF 比值作为自主平衡的标识,也常常被用于反映交感神经对副交感神经在心脏位置的相对影响。

心率变异性广泛应用于压力和情绪检

测方面的研究。目前普遍认为当人们处于正常的非疲劳状态时,自主神经系统的两个子系统间的平衡会产生相似的 LF 和 HF 成分;而当经历压力或恐慌等情况时,交感神经的主导地位会使得 LF 功率增大。Lee 等人在研究 LF/HF 和基本情绪间的关联时发现 LF/HF 值在恐惧和愉悦状态下要高于悲伤和平静状态。

(3) 血容量搏动 (BVP)

血容量搏动通常通过光电容积描记技术,利用红外线扫描皮肤表面,根据血液中的血红蛋白吸收射线的情况测出人体四肢的血流情况。波峰代表心脏向四肢供血的心动周期,当人们经历恐惧和愤怒等心理变化时,产生的心跳加速会导致心动周期的波幅增大;而随着情绪平复、身体放松,使得更多血液流回四肢,血容量搏动减弱,心动周期恢复正常。需要注意的是,血容量搏动作为一项心理学测量手段,受室温的影响较大,并且对于电极的放置以及测量设备的移动非常敏感,需要在实验过程中加以注意。此外,血容量搏动并不支持实时测量以及被试者之间比较。考虑到情绪诱发实验中的易用性,减少对被试者不必要的情绪干扰,本文使用血容量搏动的信号测量来计算心率并估算心率变异性。

1.4.3 脑电信号 (EEG)

心理活动是大脑的产物,脑电信号的产生与变化是脑细胞活动的基本实时表现。通过脑电能够捕获来自特定神经网络的脑区活动变化,对情绪状态的变化非常敏感。因此,从脑电信号中提取心理活动的信息并加以分析,从而揭示心理活动的脑机制历来是心理学研究的重要内容,并且成为近些年发展起来的认知神经科学、神经经济学、神经营销学的主要技术手段之一,在临床诊断、智能驾驶等领域也有着广泛

的应用。

脑电实验一般通过在头皮表面去角质、涂导电膏、放置电极或佩戴电极帽的方式进行测量,得到的神经电节律主要在 0.5 Hz~30 Hz 范围内,具体可划分为 5 个波段,分别是:

① δ 波, 0.5~3 Hz, 当人在婴儿期或智力发育不成熟时,或在极度疲劳和昏睡的状态下出现。

② θ 波, 4~7 Hz, 成年人在感到挫折或抑郁时出现,在精神病患者身上表现尤为显著。

③ α 波, 8~13 Hz, 平均数为 10 次/s, 是正常人脑电波的基本节律,和大脑局部皮层激活呈现负相关。

④ β 波, 14~30 Hz, 通常在精神紧张或情绪亢奋时出现,当人从睡梦中惊醒时,原来的慢波节律可立即被 β 波所替代。

⑤ γ 波, 30 Hz 以上,对于这一波段的含义界定至今仍然很模糊。

脑电信号作为唤醒度、精神工作负荷以及注意力的指标,其不同的波段可对应不同的情绪状态、精神负荷或者是注意力分配。然而在情绪研究领域,在寻求 EEG 和唤醒度关联时会存在一些问题。比如很多研究发现 EEG 在 θ 、 α 和 β 波段的信号能够反映出唤醒度的变化,然而对于脑电频域上的哪些具体指标对应于哪种程度的唤醒仍然没有定论。Scerbo 等人认为这种现象可能是由于唤醒度指标的单维结构性与脑电模式的复杂性的差异所致。

此外,额区脑电非对称性 (Frontal asymmetry) 也是脑电信号分析中一个值得关注的问题。Tomarken 等人发现较强的左侧脑激活更多对应的是正性情绪体验,Davidson 等人也通过实验得出正性情绪刺激会导致左侧额区激活的结论。Sutton 和 Davidson 后来用趋避动机理论来解释这一现象,认为较强的左侧激活对应着趋向动机,而右侧激活对应着回避动机。本文在

第2章和第3章中均对这一现象进行了针对性的分析和处理。

1.4.4 皮肤电活动 (EDR)

心理学研究表明,人体皮肤电阻的变化强度与情绪激动程度有关,在情绪状态变化时,皮肤内血管的舒张和收缩以及汗

腺分泌等变化能引起皮肤电阻的变化,以此来测定交感神经的情绪反应。一般情况下,皮肤电流具有固定的电阻参数,但在紧张、压力或激动不安时,皮肤电阻下降,导电电流增加;而当人感到镇定和放松时,皮肤电阻会增大。这一变化的过程被称为皮肤电反应。

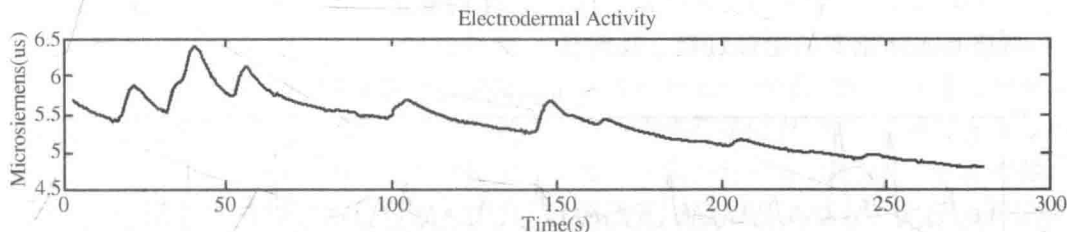


图 1-5 皮肤电反应

目前,情绪心理学领域普遍认为皮肤电反应可以用来作为情绪变化的一种生理指标。Wechsler 和 Syz 等人研究发现,有感情色彩的词汇能够引起皮肤电反应,但通过重复呈现能够降低这种反应。Dysinger 的研究表明愉快和不愉快的情绪刺激能引起不同的皮肤电反应。Patterson 研究发现,通过给被试者讲鬼故事、戏剧等方式诱发情绪变化,发现被试者的体验强度和皮肤传导反应 (SCR) 数量之间有明显的正相关。Landis 和 Hunt 认为主观状态不同所引起的皮肤电反应也不同。Nakasone 等人研究发现 SC 会随着唤醒度水平的增加而升高。与之形成对比的是,SC 在情绪效价方面的关联则存在争议,Dawson 等人认为在大多数情况下,SC 无法对正负情绪进行区分;而其他研究则得出相反的结论, Lee 等人发现 SC 数值的增加同负性情绪间存在关联。

在情绪研究中提取的皮肤电反应特征种类较多。Dawson 等人实验中使用了皮肤传导水平 (SCL)、SCL 方差、自发 SCR 频率、SCR 振幅、SCR 潜伏期、SCR 上升时间和 SCR 半恢复期等。Lang 等人

研究发现 GSR 均值同情绪唤醒度之间存在关联。Amershi 等人在研究教育游戏中皮肤电反应和情绪关联的过程中使用均值、标准差、高于阈值的反应波峰数量、波峰下面积之和等 GSR 特征,结果显示信号均值和标准差与情绪的关联性较强。此外,SCR 的时域特征在情绪研究中并不常用,这些特征与心理生理过程的关系也比较模糊。

同其他生理测量方式相比,皮肤电测量成本较低,并且和其他自主神经系统的反应不同,人的精神性出汗完全受交感神经作用影响,因此皮肤电反应可以作为交感神经活动的指标,也可用作衡量情绪唤醒度和其他心理活动的依据。皮肤电信号的另一优点是发生过程容易辨识,不受其他生理信号的干扰,并且由于电极移动引起的运动伪迹也比较容易识别。

1.4.5 皮温 (Skin temperature)

皮肤温度是医疗诊断中的一项重要生理指标,在情绪研究中同样如此。研究证明交感神经的激活会引发皮肤的冷却效应。

Levenson 等人发现手指温度会随着愤怒情绪而增加,随着恐惧情绪而降低。皮温的测量一般是通过置于皮肤表面的电极来完成。电极随着皮肤的温度升高或降低,并根据电极放置的位置不同,导致响应速度上略有区别。

1.4.6 呼吸 (Respiration)

呼吸是人体重要的生理过程,其测量

可以通过直接记录肺部的气体交换,或者观察胸腔的扩张反应来完成。常用的测量指标包括呼吸容量、吸气时间、呼气时间、周期时间等。但在情绪研究领域,主要以呼吸频率和幅度这两项指标的考察为主,前者用于描述单位时间内呼吸的次数,主要受各种内源性和外源性因素的影响;后者则是指人体胸廓内气体压力随呼吸而发生的变化。

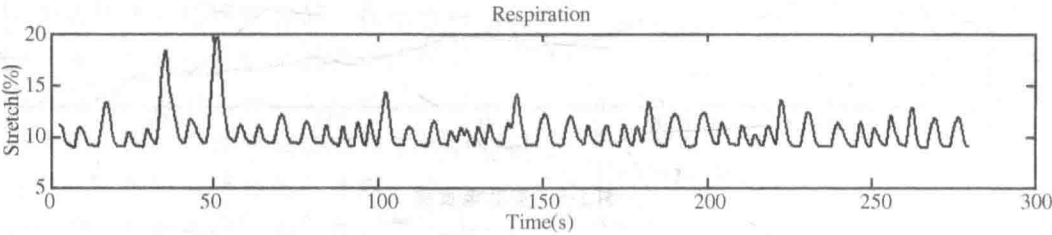


图 1-6 正常的呼吸信号

随着情绪状态的变化,呼吸系统在速度和深度上的反应会有所变化。一般来说,情绪唤醒会增加呼吸速率,而放松和休息会降低呼吸速率。疼痛、恐惧、焦虑和愤怒等情绪反应往往会使呼吸加深加快;突然性的惊吓等情境会导致呼吸会发生临时中断;狂喜或悲痛时,会发生呼吸痉挛现象。大量有关精神负荷的研究发现,高强度的认知任务会导致呼吸速率的增加和呼吸深度的减小。

1.4.7 脑成像技术 (Brain imaging)

随着脑成像技术的兴起,神经生理学的多种脑成像技术也开始被越来越多地用于认知心理学方面的研究。常见的脑成像技术包括事件相关电位 (ERP)、断层扫描技术 (CT)、磁共振成像 (MRI)、功能磁共振成像 (fMRI)、正电子发射计算机断层扫描 (PET) 和脑磁图 (MEG)、脑涨落图 (ET) 等。这些技术使得我们可以“看到活体脑的内部”,为理解脑特定区域与其心理功能之间的对应关系提供了重要

的技术手段。

其中 ERP 技术是指当外加一种特定的刺激作用于感觉系统或脑的某一部位,在给予刺激或撤销刺激时或当某种心理因素出现时在脑区所产生的电位变化。这项技术能够直接反映神经的电活动,具有实时性、无创性和高时间分辨率的特点,是中枢神经系统信息处理领域的一项重要生物学指标。

目前,ERP 的研究已经深入到心理学、生理学、医学、神经科学、人工智能、设计学、人机工效学等多个领域,发现了许多认知与情绪活动过程密切相关的成分。一些研究运用 ERP 技术对健康被试者利用人脸情绪图片诱发,发现负面情绪类的图片会诱发更大的 P300 振幅,表明结果的差异可能更多来自于刺激的强度而非效价。情绪性加工是指对可能唤醒情绪体验的情绪性刺激的感知或者评价,包括对情绪性面部表情的识别、情绪事件回想、观看能引起情绪性的图片或电影等。通过对情绪性图片加工的 ERP 研究,可以为我们提供情绪性刺激引起大脑活动的时程信息。已