

文章编号: 1001-4888(2017)02-0152-11

基于三维数字图像相关方法的 面部表情变形测量研究^{*}

赵明珠¹, 王志勇¹, 王世斌¹, 李林安¹, 孙颖², 李毓¹

(1. 天津大学机械工程学院力学系, 天津 300354; 2. 天津大学教育学院心理学系, 天津 300354)

摘要: 目前关于人脸面部表情的相关研究正在逐渐应用到各领域, 而其研究大多为基于数据库的定性分析。本文将三维数字图像相关方法用于人脸面部表情研究。首先, 针对人脸面部图像的具体特点, 在深入研究方法原理的基础上, 提出以参数优化和消除刚体位移来提高实验测量精度。在此基础上, 对普通表情和微表情状态下面部肌肉变形进行精确的计算和定量的研究, 分析特定表情的形成原因。实验采用自传式回忆的方法唤起被测试者的基本情绪, 随之进行模仿来诱发面部普通表情; 采用指导性表达抑制的方法诱发被测试者的微表情。通过对特定表情状态下的肌肉运动进行全场和局部的计算, 获得精确的三维位移场和位移矢量场。结果表明, 面部微表情状态与普通表情状态的运动规律基本一致, 只是位移幅度存在显著差异。实验测量结果与实际情况基本吻合, 符合常规认知。不同的是本文将特定表情状态下面部肌肉的运动规律从以往的感性认知上升到精确计算和定量分析的水平, 为面部表情的自动识别及形成机理的深入研究提供了良好的基础。

关键词: 面部表情; 数字图像相关方法; 位移场; 位移矢量

中图分类号: O34 **文献标识码:** A **DOI:** 10.7520/1001-4888-16-229

0 引言

近些年, 关于人脸面部表情的相关研究越来越得到重视, 针对表情的研究正在逐渐应用到国家安全、司法系统、医学临床和政治选举等领域。在临床领域, 临床心理学家通过仔细观察患者, 发现其对事物的真正态度和想法, 从而对症治疗; 在司法领域, 法官通过犯罪嫌疑人的面部表情, 判断其供词的可信度; 在安全领域, 安检人员通过人脸识别系统, 在非接触的条件下自动检测出嫌疑人, 为出入境安全提供帮助^[1]。时至今日, 关于面部表情的研究已经非常丰富, 研究学者将人类的基本表情分为高兴、厌恶、愤怒、恐惧、悲伤、惊讶六种^[2]。微表情是人类试图压抑或隐藏真实情感时泄露的非常短暂且不能自主控制的面部表情^[3]。它与普通表情的区别在于, 微表情持续时间很短, 仅为 1/25 秒至 1/5 秒。目前已有的微表情研究可总结为早期的微表情识别研究、微表情识别的应用研究、微表情表达的研究三部分^[1]。

目前关于面部表情的研究大多为定性的分析, 基于数据库进行面部表情识别。在人脸识别研究中使用最广泛的是 CMU 的基于 AU 编码的 Cohn-Kanade 数据库^[4]。此外, 还有一些数据库也常用于表情识别, 如 Ekman 和 Friesen 的人脸表情数据库, Purdue 的 AR 人脸数据库, CMU 的 PIE 数据库等^[5]。

^{*} 收稿日期: 2016-10-30; 修回日期: 2016-12-02

基金项目: 国家自然科学基金(11472186)资助

通讯作者: 王志勇(1980—), 男, 博士, 副教授。主要研究领域: 数字图像相关方法, 太赫兹波的应力测量原理与方法。Email: zywang@tju.edu.cn

但是,这些基于数据库的表情研究都是定性地将表情进行分类,并没有进行精确测量和定量分析。本文将利用三维数字图像相关(3D-DIC)方法对人的面部表情变形进行精确的测量,得到变形场,分析不同表情状态时面部肌肉的运动规律。

数字图像相关(DIC)方法是一种基于计算机视觉原理、数字图像处理和数值计算的非接触、非干涉、全场变形的光学计量方法,是当前实验力学领域应用最广泛的光测力学方法之一。近年来,数字图像相关方法开始用于活体皮肤表面的变形测量^[6],Miura 等利用 DIC 方法测量了眨眼过程中人眼周围的应变分布,研究了皱纹的形成与日常眼部运动导致的应变之间的关系^[7]。Evans 等将 DIC 方法与有限元方法相结合,将人体皮肤作为 Ogden 超弹性薄膜研究了皮肤的力学性质^[8,9]。Annai^[10]利用单轴拉伸实验结合 DIC 方法研究了新鲜人体皮肤的部位和肌肉取向对变形特征的影响,分别测取了皮肤的平均拉伸强度、平均损伤应变、平均弹性模量及平均应变能值。DIC 方法已获得很多应用,且具有广阔的应用前景,将此方法用于人脸面部表情变形测量可以得到高精度的位移场,从而定量分析皮肤的变形和细微的瞬时的面部表情变化。

本文研究普通面部表情和微表情两种状态,主要包括高兴、愤怒、悲伤、恐惧四种基本情绪,测量四种基本情绪在自然状态下的面部表情行为。利用 3D-DIC 方法对物体的变形进行测量时,被测物体表面必须具有随机的灰度分布为相关匹配提供特征。为了提高测量精度,被测试者脸部需涂抹如图 1 所示的不规则密布的散斑点。实验选择一位女性作为研究对象,因为女性被测试者具有情绪识别优势,有更好的情绪记忆能力和更强的负性情绪易感性^[11]。利用 3D-DIC 方法进行计算,得到面部各计算点的空间坐标及三维位移,从而获得三维位移场和位移矢量场,实现对面部表情的定量分析。



图1 面部散斑图

Fig. 1 Facial speckle pattern

1 实验方法的研究

1.1 相关函数的选择

利用数字图像相关方法计算物体变形时,不同参数的选择对测量精度有直接影响。针对人脸面部图像的具体特点,文章提出了改进数字图像相关方法测量精度的具体措施。DIC 方法中的相关函数是度量不同图像子区之间相似程度的函数,通常作为搜索时的判断依据,从而得到特定空间点在不同图像中的对应关系。在进行互相关运算时,有多种不同形式的相关函数可以选择。其中,公式(1)中的相关函数对灰度的线性变化不敏感,而且可以避免搜索陷入局部最小值,因而得到了广泛的应用。但是,相关函数的选择对测量精度的影响一直没有得到深入研究。本文通过精确计算,在总结不同相关函数对测量精度影响的基础上,得到改进 DIC 方法测量精度的措施,为 лица面部肌肉变形的测量提供了良好的基础。

$$C_{ZNCC} = \frac{\sum (f_i - \bar{f})(g_i - \bar{g})}{\sqrt{\sum (f_i - \bar{f})^2 \sum (g_i - \bar{g})^2}} \quad (1)$$

为了深入研究不同相关函数的选择对测量精度的影响,文章进行了一系列自相关实验。实验选取人脸面部散斑图作为原始参照图像,如图 1 所示。在原始图像中分别加入正态分布的随机噪声,噪声均值为 0,标准差分别为 2、3、4、5,得到的系列图像作为变形图像。在对变形前后图像进行高斯低通滤波的基础上,分别采用子区灰度值减去均值和直接利用灰度值两种形式的相关函数,计算原始图像与变形图像之间的位移。变形前后图像间并没有实际位移,因而直接将计算点的位移均值视为偏置误差,综合偏置误差和标准差得到计算位移的总误差。

图 2 所示是在不同噪声条件下,利用两种不同的相关函数计算所得的总误差。结果表明,采用子区灰度减去均值的相关函数形式虽然可以有效避免搜索陷入局部极小值,但对于人脸面部表情变形测量

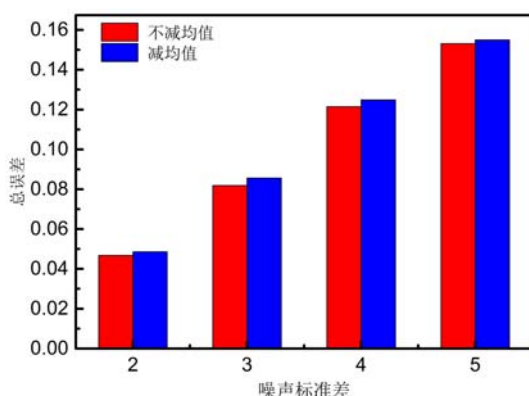


图 2 不同噪声条件下两种相关函数的计算总误差

Fig. 2 The calculation error of two kinds of correlation function under different noise conditions

会降低计算精度。这是因为信号的直流分量在一定程度上反映了图像的位置信息,直接舍去会带来负面影响。当实验中光源的强度和分布不均匀时,采用子区灰度减均值的相关函数形式进行计算会失去重要位置信息,增加匹配难度。以往研究中,利用 DIC 方法测量标准试件变形时,可以在试件表面喷涂足够好的散斑。即使没有光照信息的辅助仅利用散斑图自身的灰度特征也可以实现准确的图像匹配,相关函数的选择对测量精度的影响并不明显。但是,人脸面部表情变形测量不同于其他物体的测量,皮肤本身的灰度特征并不明显,而且人脸喷涂散斑又具有一定的局限性,这时如果辅助光照不均等因素提供的位置信息,就可以提高图像匹配的准确度,从而提高变形测量精度。

针对人脸面部表情变形测量独有的特点,实验采用直接利用灰度值进行相关匹配的函数形式计算以实现更高精度的测量。当然采用此方法进行图像匹配也会带来一些问题,例如光照可能会随时间有所波动,增加前后两幅图像误匹配的机率。但是,这些问题可以在不影响测量精度的情况下通过其他方法得以解决。如果光照随时间均匀波动,可以通过图像全场减均值消除其对图像匹配的影响;如果光照随时间不均匀波动,可以识别出不均匀光强并从当前图像中减去不均匀的背景光强。综上所述,本文采用直接根据灰度值进行相关匹配的函数形式,从而实现不同表情状态下面部肌肉变形的高精度测量。

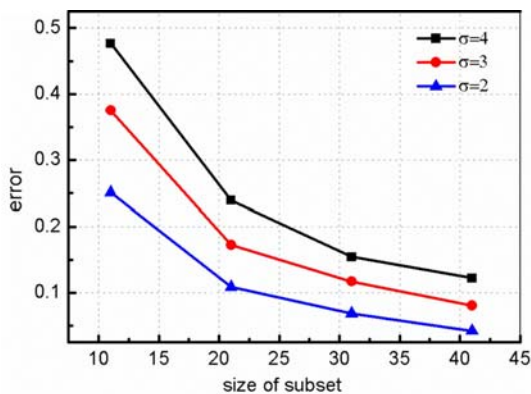


图 3 不同噪声条件时误差随子区大小的变化曲线

Fig. 3 Error variation curve with the size of subset at different noise levels

差和标准差得到计算位移的总误差。

研究表明位移总误差随子区增大而逐渐减小,如图 3 所示。这是因为子区增大,其所含的灰度特征增多,相关匹配更精确,所以计算精度随之得以提高。虽然增大子区可以提高测量精度,但是所需的计算时间也更长,所以计算时要综合考虑各方面因素。在合理的计算时长基础上,尽量选择较大的子区以提高测量精度。

1.2 子区大小的选择

数字图像相关方法基于子区进行图像匹配,其中子区大小的选择对测量精度有直接影响。为了深入研究不同子区大小对测量精度的影响,进行了一系列自相关实验。实验依然选取图 1 所示人脸面部散斑图作为原始参照图像。在原始图像中分别加入正态分布的随机噪声,噪声均值为 0,标准差分别为 2、3、4,得到的系列图像作为变形图像。在对变形前后图像进行高斯低通滤波的基础上,分别采用 11×11 , 21×21 , 31×31 , 41×41 的子区大小计算原始图像与变形图像之间的位移。变形前后图像间并没有实际位移,因而直接将计算点的位移均值视为偏置误差,综合偏置误差

1.3 刚体位移的消除

实验过程中,被测试者会有不自觉的头部刚体运动,本文通过坐标变换的方法消除头部运动导致的刚体位移,避免非主要因素对测量结果的影响,得到特定表情状态时面部肌肉的真实变形场。文章将世界坐标系从左相机坐标系变换到人脸局部坐标系,以此消除刚体位移。如图 4 所示,是橡胶假人头模型,为了验证实验的测量精度,以假人作为被测试对象。实验过程中人为施加一定的刚体位移,假人没有面部变形,只存在刚体位移,因而将计算变形结果作为测量误差。计算时手动选择人脸上的无变形的三点构成图 4 所示局部坐标系。

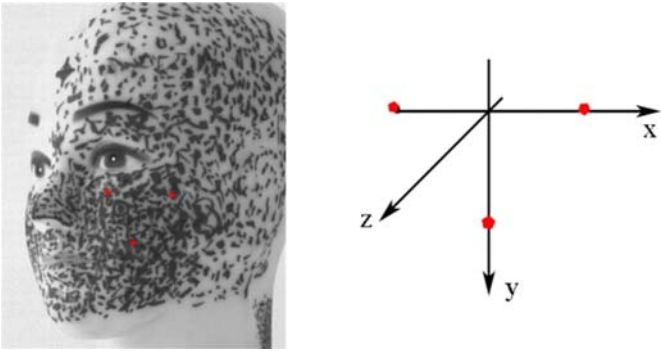


图 4 假人头模型及局部坐标系的建立

Fig. 4 Dummy head mold and establishment of local coordinate system

假人左脸涂抹不均匀散斑,实验中人为施加水平刚体位移,采集变形前后图像,计算结果如表 1 所示。实验证明坐标变换的方法消除刚体位移是有效的,可以有效运用到表情测量实验中,但也存在微小的误差,所以实验过程中仍然要求被测试者尽量减小头部晃动,从而提高计算精度。

表 1 真实位移与计算位移对比表

Tab. 1 Comparison of real displacement and calculation displacement

位移分量	刚体位移	真实变形	计算变形
水平方向	90	0	0.26
竖直方向	0	0	0.31

2 实验过程及表情诱发方法

2.1 普通表情测量实验

国内外研究中常见的表情诱发方法有:自传式回忆诱发、想象诱发、图片诱发、电影剪辑诱发及音乐诱发等多种诱发方法^[12,13]。在面部普通表情测量实验中,本文选择自传式回忆诱发方法唤起被测试者的四种基本情绪,随后要求被测试者根据图片中的基本表情进行模仿,表现自己高兴、愤怒、悲伤、恐惧的情绪。

被测试者进入实验室后,首先带上耳机,倾听钢琴曲,平复刚进入实验室的紧张情绪。随后,要求被测试者回忆自己最开心的一个经历,包括事件开始、经过和结局的每一个细节,待被测试者回忆结束后,屏幕上呈现出高兴表情的图片,要求被测试者做出与屏幕中人物相似的表情。在此过程中,手动采集人脸面部普通表情的图像。在想象回忆的自发情绪的基础上再进行模仿得到的效果比较好,可以诱发出自然且符合要求的面部普通表情。其余三种特定表情的实验过程与高兴表情的实验过程相同。利用 3D-DIC 方法对实验过程中采集的图像序列进行计算,从而实现对人在高兴、愤怒、悲伤、恐惧四种表情状态下面部肌肉变形的定量分析。

2.2 微表情测量实验

表达抑制是 Gross 情绪调节理论提出来的概念,发生在情绪调节的晚期,抑制将要发生或正在发生的情绪表达行为^[14]。关于表达抑制的研究通常有两种:指导性表达抑制和自发性表达抑制。本文选择采用指导性表达抑制的方法诱发被测试者的面部微表情。指导性表达抑制是用指导语的方式要求被测试

试者采用表达抑制策略来调节情绪。指导性表达抑制在社会互动中可以有效地掩盖表情,但是不能够减弱负性情绪感受^[15]。由于指导性表达抑制不能对情绪主观体验产生较大的影响,且能够掩盖被测试者的面部表情行为,因此在微表情实验中选择指导性表达抑制来诱发微表情。

被测试者进入实验室后,首先带上耳机,倾听钢琴曲,平复进入实验室的紧张情绪。随后,屏幕中呈现表达抑制指导语,要求被测试者在观看影片过程中,仔细感受电影中的情绪,同时努力控制面部肌肉保持不变,尽量保持一张没有表情的脸。然后要求被测试者观看诱发情绪的视频,分别为《欢乐喜剧人》、《东京审判》、《我的兄弟姐妹》和《贞子》,同时 CCD 摄像机将自动采集人脸面部表情图像序列。本次研究通过指导性表达抑制方法抑制被测试者内心的真实情感,但在此期间被测试者会有不自觉的短暂且微弱的真实表情的出现。寻找在此过程中出现的表现被测试者高兴、愤怒、悲伤、恐惧四种基本情绪的微表情,利用 3D-DIC 方法对四种特定情绪的微表情进行计算,得到面部肌肉运动的位移场。

3 实验结果与分析

面部普通表情变形测量实验是通过自传式回忆的方法唤起被测试者的基本情绪,随之进行模仿来诱发特定的表情。从实验结果可以看出此诱发方法是有效的,采集的图像中存在大量的有效表情图像。面部微表情变形测量实验是通过指导性表达抑制的方法来诱发被测试者的微表情。实验过程中,采用两个 CCD 摄像机以每秒 15 张的速度采集图像。由实验结果观察可知,采集的图像序列中,基本都是无表情状态的图像,但是其中会突然有两到三张不同表情的图像,表达了被测试者被压制的真实情感。此现象表明指导性表达抑制的诱发方法可以有效诱发出被测试者的微表情,我们选择图像序列中的微表情图像进行计算。如图 5 所示,微表情与普通表情的区别在于,微表情运动幅度微弱且持续时间很短。实验中以无表情状态图像作为参照图像,分别以四种基本表情图像作为变形图像,计算变形后面部肌肉运动的变形场。文章分析并总结了高兴、愤怒、悲伤、恐惧四种基本情绪下面部肌肉的运动规律,其中选择高兴和悲伤两种不同表情状态下的面部行为进行详细介绍。

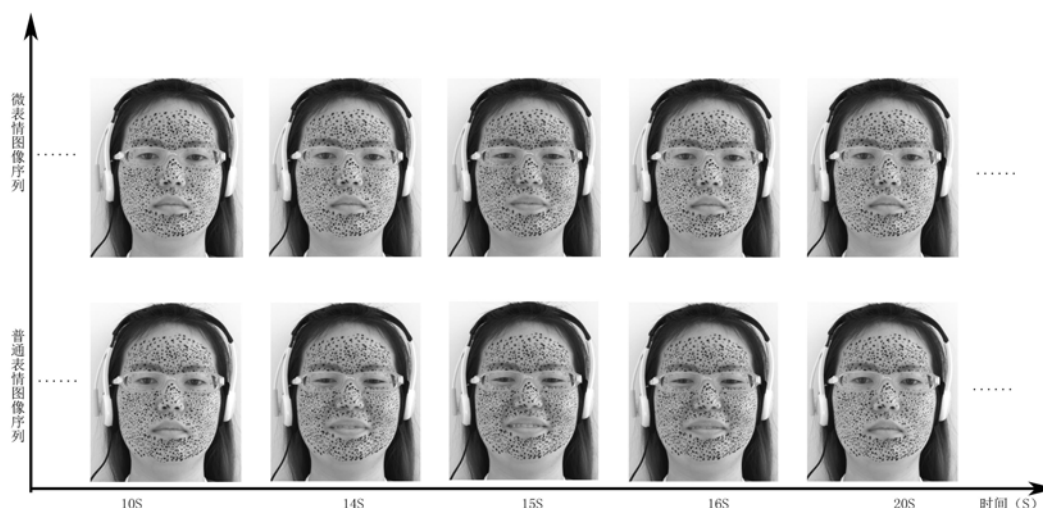


图 5 高兴微表情和高兴普通表情随时间变化图

Fig. 5 Changes of happy micro expression and happy standard expression with time

3.1 高兴表情的全场分析

本文对特定表情状态下人脸面部肌肉的变形进行全场分析,宏观地观察面部各个肌肉群的运动趋势,掌握其运动规律。利用 3D-DIC 方法进行全场的互相关计算,计算区域选取基本覆盖全脸的矩形区域,此区域既可以包含面部主要变形信息,又避免了脸侧部因不能同时被两相机采集到而出现的程序错误。利用数字图像相关方法,可以得到被测试者在特定表情状态下脸部肌肉运动的三维空间位移场,根据计算区域中各点的位移矢量,对特定表情行为进行定量的描述。以高兴表情状态下的脸部特征为例,对面部肌肉的运动规律进行详细的分析。图 6 从左到右依次为被测试者在无表情、高兴微表情和高兴

普通表情状态时的面部特征图像。



图6 无表情、高兴微表情、高兴普通表情状态图

Fig. 6 Facial images at states of no expression, happy micro expression, happy standard expression

图7中(a)图为高兴微表情时人脸的水平位移云图,(b)图为高兴普通表情时人脸的水平位移云图,图中颜色变化表示位移的大小,位移的正方向为水平向右。由图可以看出高兴状态时,嘴部、脸颊以及眼部肌肉运动比较明显,相对其他部位位移较大。水平位移场基本呈反对称状态,嘴部及脸颊肌肉向两边扩张,靠近嘴唇部位位移较大,远离嘴唇的部位位移相对较小。微表情状态时的水平位移与普通表情状态时相比较,变化规律基本一致,只是在位移变化幅度上存在明显差异,微表情水平位移在1mm以下而普通表情水平位移在1mm以上。

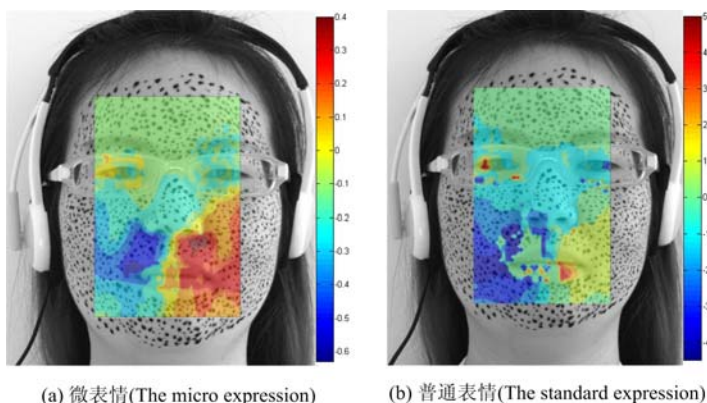


图7 高兴状态时微表情和普通表情状态下的水平位移

Fig. 7 Horizontal displacement of the micro expression and the standard expression at happy state

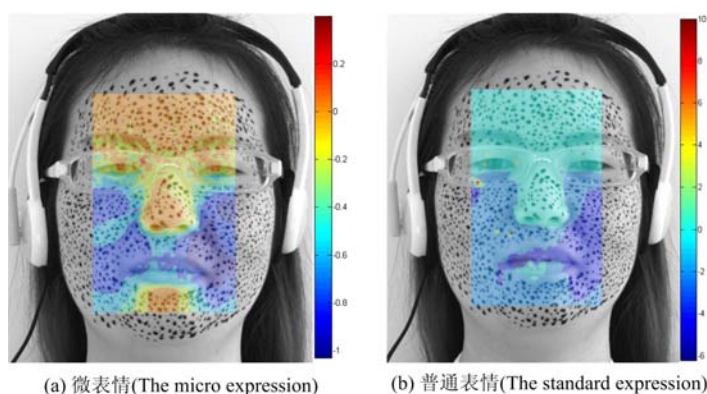


图8 高兴状态时微表情和普通表情状态下的竖直位移

Fig. 8 Vertical displacement of the micro expression and the standard expression at happy state

图8中(a)图为高兴微表情时人脸的竖直位移云图,(b)图为高兴普通表情时人脸的竖直位移云图,图中颜色变化表示位移的大小,位移的正方向为竖直向下。由图可以看出高兴状态时,嘴部和脸颊部位的竖直位移比较大,其他部位的位移相对较小。竖直位移场关于人脸中心线左右对称,有相同的变化趋势,面部肌肉均向上运动,微表情位移幅值为0.8mm,而普通表情位移幅值为3mm。微表情状态时的

竖直位移与普通表情状态时相比较,变化规律基本一致,只是在位移变化幅度上存在明显差异。

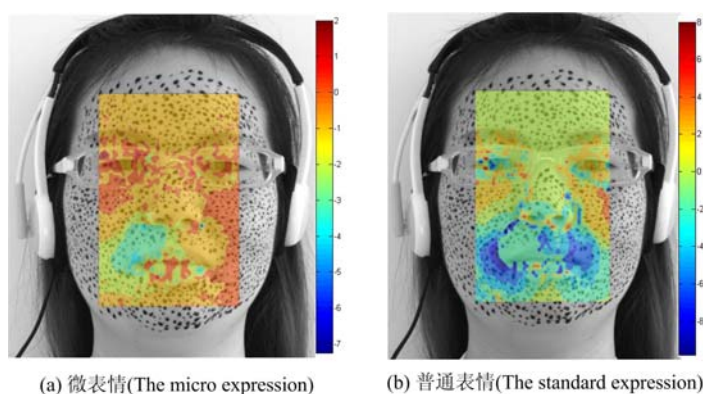


图 9 高兴状态时微表情和普通表情状态下的法向位移

Fig. 9 Normal displacement of the micro expression and the standard expression at happy state

图 9 中(a)图为高兴微表情时人脸的法向位移云图,(b)图为高兴普通表情时人脸的法向位移云图,图中颜色变化表示位移的大小,位移的正方向为垂直向外。由图可以看出高兴状态时,嘴部和脸颊部位肌肉运动的法向位移比较大,其他部位的位移相对较小。法向位移场同样关于人脸中心线左右对称,有相同的变化趋势。脸颊部位及眼睛周围法向位移为正值,这是由于面部肌肉向上运动形成挤压,使得面部肌肉向外鼓起。嘴部附近法向位移为负值,说明微笑时,嘴部肌肉随牙齿边缘向里运动。在高兴普通表情状态下,嘴部肌肉因运动幅度过大,可能会造成个别计算点存在明显的误差,计算时舍去误差较大的点。

3.2 悲伤表情的全场分析

本文详细介绍了人在高兴情绪状态时面部肌肉的变形场,得到脸部特征区域的运动规律。为了全面地描述人在不同情绪状态时面部肌肉的不同运动规律,本文选取典型的悲伤负面情绪进行详细介绍。从实验采集的图像序列中选择具有代表性的表情图像进行计算,如图 10 所示,依次为被测试者在无表情、悲伤微表情和悲伤普通表情状态时的面部特征图像。全场相关计算时,依然选取基本覆盖全脸的矩形区域作为计算区域,得到被测试者在悲伤表情状态下脸部肌肉运动的三维空间位移场。



图 10 无表情、悲伤微表情、悲伤普通表情状态图

Fig. 10 Facial images at states of no expression, sadness micro expression, sadness standard expression

图 11 中(a)图为悲伤微表情时人脸的水平位移云图,(b)图为悲伤普通表情时人脸的水平位移云图。人在处于悲伤情绪状态时,面部肌肉的水平运动较小。被测试者嘴唇紧闭,计算时搜索不到对应点,造成个别计算点存在明显的误差,导致面部较小的位移无法在云图中显示出来。这时可以通过输出的具体位移数据点进行描述或者对面部肌肉运动进行局部的分析。

图 12 中(a)图为悲伤微表情时人脸的竖直位移云图,(b)图为悲伤普通表情时人脸的竖直位移云图。人在处于悲伤情绪状态时,颞肌、嘴角以及脸颊部位肌肉的竖直位移比较大,其他部位的位移相对较小。竖直位移场关于人脸中心线呈对称分布,左右有相同的变化趋势。额头及眉间肌肉有明显向下的大小为 1mm 的运动。面部脸颊肌肉有轻微的上提,但是颞肌收缩使颞部更大幅度地向上运动,形成两侧嘴角下拉,嘴唇紧闭的面部特征。

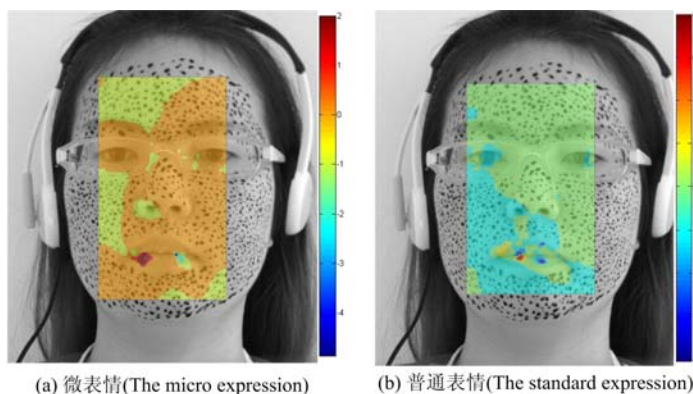


图 11 悲伤状态时微表情和普通表情状态下的水平位移

Fig. 11 Horizontal displacement of the micro expression and the standard expression at sadness state

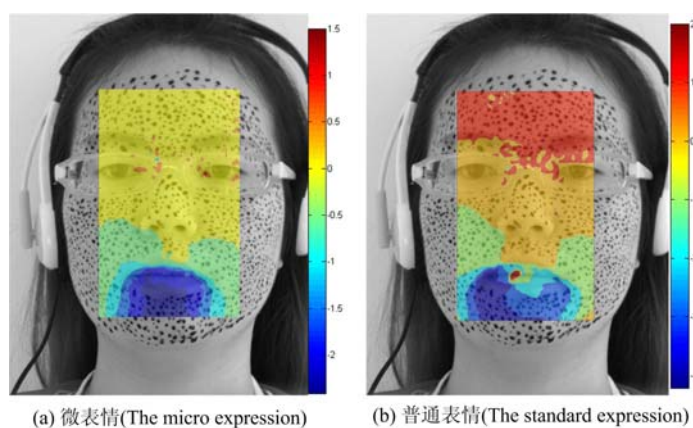


图 12 悲伤状态时微表情和普通表情状态下的竖直位移

Fig. 12 Vertical displacement of the micro expression and the standard expression at sadness state

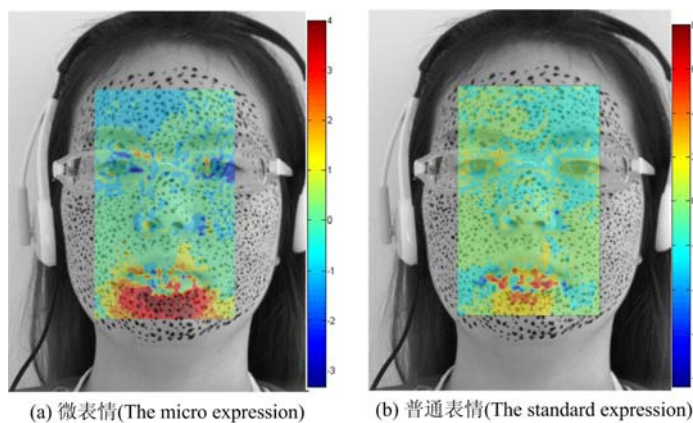


图 13 悲伤状态时微表情和普通表情状态下的法向位移

Fig. 13 Normal displacement of the micro expression and the standard expression at sadness state

图 13 中(a)图为悲伤微表情时人脸的法向位移云图,(b)图为悲伤普通表情时人脸的法向位移云图。处于悲伤情绪状态时,嘴部和脸颊部位肌肉运动的法向位移比较大,其他部位的位移相对较小。法向位移场关于人脸中心线基本呈对称分布,有相同的变化趋势。面部肌肉由于挤压,使得脸颊部位法向位移为正值。在悲伤普通表情状态下,嘴唇紧闭,造成个别计算点存在明显的误差,分析时忽略误差较大的点。悲伤微表情与悲伤普通表情状态时相比较,面部肌肉的运动规律基本一致,只是在位移变化幅度上存在明显差异。

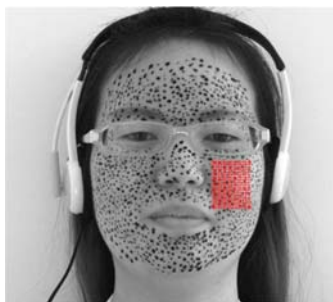


图 14 计算区域示意图

Fig. 14 Calculation area diagram

3.3 高兴微表情的局部分析

在特定面部表情状态下,变形测量的全场分析可以宏观地观察面部各肌肉的运动趋势,确定面部各部分肌肉对于不同表情状态的敏感程度,掌握变化规律。但是全场分析时,脸部变形相对较小的地方会被忽略,所以对于面部肌肉变形的局部分析也至关重要。以高兴微表情为例,将被测试者脸部分解为不同的部位,主要对其关键部位进行分析计算。利用 3D-DIC 方法进行局部的相关计算,计算区域为图 14 所示红色矩形区域。

图 15 为高兴微表情状态下左脸脸颊部位变形的三维位移场。水平位移为正,说明此部位向右运动,靠近中心线的部位位移较

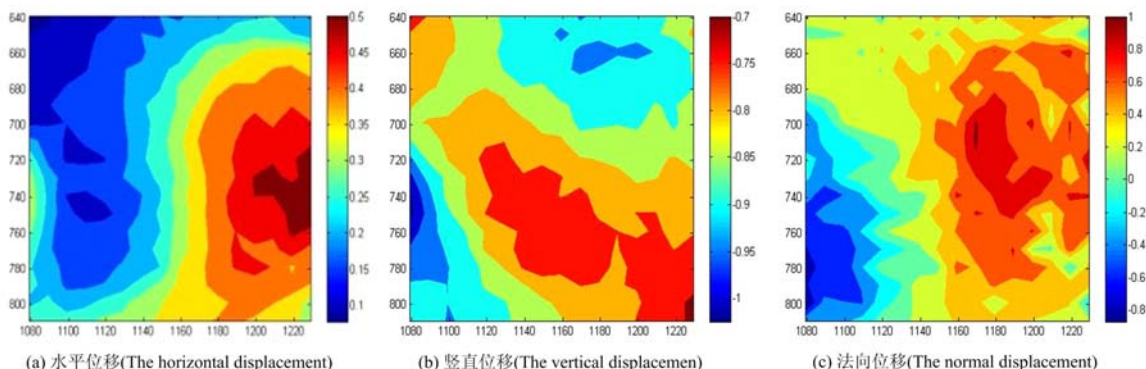


图 15 高兴微表情状态下的局部位移场

Fig. 15 Local displacement field at happy micro-expression state

小,约为 0.15 mm,远离中心线的部位位移较大,约为 0.5mm。竖直位移为负,说明此脸颊部位向上运动,中间肌肉位移较小,四周位移较大。此脸颊部位的法向位移分为正负两部分,左下角靠近脸部中心线部分的法向位移为负,说明有向里的最大为 0.8mm 的运动;右边远离脸部中心线部分的法向位移为正,说明有向外的最大为 1mm 的运动。经过计算,我们得到了高兴微表情状态下左脸脸颊部位的位移矢量图,图 16 是位移矢量图在人脸所在平面的投影图,表明了位移的方向,对脸部肌肉运动进行了更加形象的描述。以上计算结果经过分析与实际情况相符,也符合常规认知,不同的是本文将这些特定表情状态下面部肌肉的运动规律从以往的感性认知上升到精确计算和定量分析的水平。

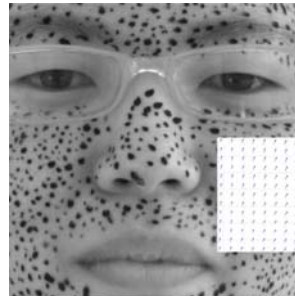


图 16 高兴微表情状态下的位移矢量场

Fig. 16 Displacement vector field at happy micro-expression state

目前的实验研究方法还存在若干问题,主要包括:散斑制作的整个过程比较繁琐,如何实现根据人脸部自然纹理进行面部变形测量还需进一步探究。微表情持续时间非常短暂,目前的实验方法还不能完全准确地捕捉到微表情,还需要进一步提高变形测量精度和图像采集速度。人脸曲面比较复杂,眼角、嘴角和鼻窝等区域曲率大且变形剧烈使得计算存在一些困难,有待进一步研究。

4 结论

本文在深入研究实验方法及原理的基础上,针对人脸面部表情测量的具体特点,提出改进数字图像相关方法测量精度的具体措施。研究表明,采用直接根据灰度值进行相关匹配的函数形式计算可以提高测量精度。这是因为信号的直流分量提供的位置信息可以弥补面部灰度特征不明显的特点,从而提高图像匹配的准确度。通过坐标变换将世界坐标系转换到脸部局部坐标系,以此消除实验者头部的刚体位移。在此基础上,文章利用 3D-DIC 方法研究人在普通表情和微表情两种情绪状态下的面部表情

行为。通过对特定表情状态下的肌肉运动进行全场和局部的计算,获得精确的三维位移场。变形测量的全场分析可以确定面部肌肉的整体运动规律,而局部分析可以对关键部位的运动进行更为详细的研究。经过分析总结,本文得到了高兴、愤怒、悲伤、恐惧四种表情状态时面部肌肉的运动规律及形成原因,实现特定表情行为的定量分析。面部微表情变形测量结果与面部普通表情状态时的运动规律基本一致,只是位移幅度存在显著差异。文章关于面部表情变形的计算结果与实际情况相符,也符合常规认知,不同的是将特定表情状态下面部肌肉的运动规律从以往的感性认知上升到精确计算和定量分析的水平,为面部表情的自动识别及形成机理的深入研究提供了良好的基础。

参考文献:

- [1] 吴奇, 申寻兵, 傅小兰. 微表情研究及其应用[J]. 心理科学进展, 2010, 18(9):1359—1368 (WU Qi, SHEN Xunbing, FU Xiaolan. Micro-expression and its applications[J]. Advances in Psychological Science, 2010, 18(9):1359—1368 (in Chinese))
- [2] Ekman P, Friesen W V. Facial action coding system: a technique for the measurement of facial movement [M]. Palo Alto Consulting Psychologists Press, 1978.
- [3] 梁静, 颜文靖, 吴奇, 等. 微表情研究的进展与展望[J]. 学科进展与展望, 2013, 2:75—78 (LIANG Jing, YAN Wenjing, WU Qi, et al. Recent advances and future trends in micro-expression research[J]. Progress and Prospect of Science, 2013, 2:75—78(in Chinese))
- [4] Kanade T, Cohn J F, Tian Y. Comprehensive database for facial expression analysis[C]. Proceedings of the Fourth International Conference of Face and Gesture Recognition, Grenoble, France, 2000:46—53.
- [5] 刘晓旻, 谭华春, 章毓晋. 人脸表情识别研究的新进展[J]. 中国图像图形学报, 2006, 11(10):1359—1367 (LIU Xiaomin, TAN Huachun, ZHANG Yujin. New research advances in facial expression recognition[J]. Journal of Image and Graphics, 2006, 11(10):1359—1367(in Chinese))
- [6] Gerhardt L C, Schmidt J, Sanz-Herrera J A, et al. A novel method for visualizing and quantifying through-plane skin layer deformations[J]. Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials, 2012, 14:199—207.
- [7] Miura N, Arikawa S, Yoneyama S, et al. Digital image correlation strain analysis for the study of wrinkle formation on facial skin[J]. Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering, 2012, 6(6):545—554.
- [8] Evans S L, Holt C A. Measuring the mechanical properties of human skin in vivo using digital image correlation and finite element modelling[J]. The Journal of Strain Analysis for Engineering Design, 2009, 44:337—345.
- [9] Moerman K M, Holt C A, Evans S L, et al. Digital image correlation and finite element modeling as a method to determine mechanical properties of human soft tissue in vivo[J]. Journal of Biomechanics, 2009, 42:1150—1153.
- [10] Annaidh A N, Bruyère K, Destrade M, et al. Characterization of the anisotropic mechanical properties of excised human skin[J]. Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials, 2012, 5:139—148.
- [11] 袁加锦, 汪宇, 鞠恩霞, 等. 情绪加工的性别差异及神经机制[J]. 心理科学进展, 2010, 18(12):1899—1908 (YUAN Jiajin, WANG Yu, JU Enxia, et al. Gender differences in emotional processing and its neural mechanisms[J]. Advances in Psychological Science, 2010, 18(12):1899—1908(in Chinese))
- [12] 蒋军, 陈雪飞, 陈安涛. 情绪诱发方法及其新进展[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2011, 36(1):209—214 (JIANG Jun, CHEN Xuefei, CHEN Antao. Mood induction procedures and the recent advancement[J]. Journal of Southwest China Normal University (Natural Science Edition), 2011, 36(1):209—214(in Chinese))
- [13] 郑璞, 刘聪慧, 俞国良. 情绪诱发方法述评[J]. 心理科学进展, 2012, 20(1):45—55 (ZHENG Pu, LIU Conghui, YU Guoliang. An overview of mood-induction methods[J]. Advances in Psychological Science, 2012, 20(1):45—55(in Chinese))
- [14] Gross J J, Thompson R A. Emotion regulation: conceptual foundations[J]. Handbook of Emotion Regulation, 2007, 21(3):431—441.
- [15] Gross J J. Antecedent- and response-focused emotion regulation: divergent consequences for experience, expression, and physiology[J]. Journal of Personality and Social Psychology, 1998, 74(1):224—237.

On the Facial Expression Deformation Measurement Based on 3-Dimensional Digital Image Correlation Method

ZHAO Ming-zhu¹, WANG Zhi-yong¹, WANG Shi-bin¹, LI Lin-an¹, SUN Ying², LI Yu¹

(1. School of Mechanical Engineering, Tianjin University, Tianjin 300354, China;

2. School of Education, Tianjin University, Tianjin 300354, China)

Abstract: At present, relevant research about facial expression is gradually applied to various fields, while this research is mostly qualitative analysis based on database. In this paper, 3-dimensional digital image correlation method is used to study facial expression. First of all, according to specific features of face image, based on deep study of method principle, two means including parameter optimization and elimination of rigid body displacement were put forward to improve the accuracy of experimental measurement. On this basis, precise calculation and quantitative study of facial muscle deformation was carried under conditions of normal expression and micro expression state, the cause of specific facial expression was analyzed. In experiment, the basic emotion of the subject being tested was evoked by using the method of autobiographical memory, followed by imitation to induce facial expressions. The micro expression of subject being tested was induced by guiding expression inhibition method. Accurate 3-dimensional displacement field and displacement vector field were obtained by calculating the whole field and local muscle motion in specific expression state. Results show that the facial micro expression state was consistent with that of normal expression state, but there is significant difference in displacement amplitude. Experimental results are in good agreement with actual situation, which is consistent with conventional cognition. But the difference is that the understanding of muscle movement of facial specific expression was improved, from previous perceptual cognition to level of accurate calculation and quantitative analysis, which provides the foundation for automatic identification of facial micro expression and deeper study of micro expression formation mechanism.

Keywords: facial expression; digital image correlation method(DIC); displacement field; displacement vector