

基于均方根曲率和绝对曲率的三维人脸特征定位

欧阳江帆, 宋晓冰, 袁美玲, 柳秀霞

(厦门大学 计算机科学系 福建 厦门 361005)

【摘要】: 三维面部特征的定位是三维人脸识别中的关键步骤,有效、简洁、清晰的轮廓特征是快速准确人脸识别的前提所在。本文首先简要介绍了目前主流的几种基于曲率的定位方法,然后通过进一步计算均方根曲率和绝对曲率,对于同样的图像得到了更好的特征定位效果。

【关键字】: 三维人脸;均方根曲率;绝对曲率;特征定位

1. 引言

大部分的三维人脸识别系统主要由三个部分组成:图像预处理,特征定位与提取和人脸识别。人脸特征定位就是通过计算机在人脸图像中自动定位出人脸各个器官,包括眼睛、鼻子、嘴巴等特征点的位置。由于人脸的局部特征是一个人的重要特征,因此,在实际应用中,能否快速精确地定位人脸特征点以及应用领域相关的人脸鉴别特征成为能否真正实现各种人脸自动识别系统的关键所在^{[1][2]}。

近年来,国内外学者提出了许多的面部特征提取方法,根据定位所依据的基本信息的类型,可以分为以下5类^[3,4,5](1)基于先验规则;(2)基于几何形状信息(3)基于色彩信息(4)基于外观信息(5)基于关联信息。

在过去,基于三维数据的脸部特征定位检测研究较少。由于曲率是曲面固有的内在属性,也是表达曲面最直接的手段,一个图形能够被它的主曲率及其方向所确定^[6],因此,大多数早期的研究方法都是通过曲率去分析研究得到3D面部数据的特征^[7,8,9]。Gordon^[8]所提出的基于模板的人脸识别系统采用从图像数据中计算出的曲率描述因子来进行识别,可感知的面部区域能够通过计算其最小曲率和最大曲率被划分为凸型、凹型或者马鞍型区域,从而可以对鼻子、眼睛、嘴巴以及其它器官特征进行定位,这些通过基准点提取的特征将被用于深度模板的比较。Yacoub^[10]等人采用一个多级扩散(multi-stage diffusion)过程确定曲面的凸点和凹点,并根据得到的凸点和凹点将脸部区域划分为不同的类,然后通过定性推理对这些类进行解释并检验推理结果的一致性,以获得最佳的结果。

人脸表面的曲率变化明显使得通过曲率划分主要的器官区域成为可能。本文在介绍目前采用较多的主曲率、高斯曲率和平均曲率的同时,进一步采用均方根曲率和绝对曲率,在同样的三维图像上,得到了更好的特征定位效果。

2. 曲率的计算^[11,12,13,14,15,16]

2.1 空间曲面的曲率

曲率是几何体不平坦程度的一种衡量。平坦对不同的几何体有不同的意义,对曲线就是直线,对曲面就是平面。平面曲线的形状由曲线的曲率唯一确定,空间曲线的形状由曲率(单位切向量的变化率)和扭曲(正交框架的变化率)唯一确定,但对于一个面的形状来说,情况则比较复杂。我们至少要给定一个曲率函数和一个边界的曲线。

对于曲率精确的计算在很大程度上会影响到之后算法的性能,在这里首先简要介绍一些计算过程中的术语:

参数化的曲面形式

$$x = x(u, v); u = (u, v) \in [a, b] \subset \mathbb{R}^2 \quad (1)$$

其中 u, v , 是两个参数. 在 $[a, b]$ 中有实际的值. 函数

$$x(u, v) = (x(u, v), y(u, v), z(u, v));$$

有唯一值且连续,并且假设拥有连续的偏导数。

第一基础形式,可以写为

$$I = \dot{x} \cdot \dot{x} = Edu^2 + 2Fdudv + Gdv^2 \quad (2)$$

其中

$$E = x_u \cdot x_u = x_{uu}, F = x_u \cdot x_v = x_{uv}, G = x_v \cdot x_v = x_{vv} \quad (3)$$

第二基础形式,可以写为

$$II = Ldu^2 + 2Mdudv + Ndv^2 \quad (4)$$

其中

$$L = Nx_{uu}, M = Nx_{uv}, N = Nx_{vv} \quad (5)$$

N 是曲面在点 x 处的法线。

在点 x 处,切线方向为 t 的法线曲率可以定义为

$$\kappa_0 = \kappa_0(x; t) = \frac{II}{I} = \frac{(Lu)^2 + 2Mu'v' + (Nv')^2}{(Eu')^2 + 2Fu'v' + (Gv')^2} \quad (6)$$

2.2 主曲率

在曲面给定点的曲率,考虑曲面和由在该点的法向量和某一切向量所确定的平面的交集。这个交集是一个平面曲线,所以有一个曲率;如果选择其它切向量,这个曲率会改变,并且会有两个极值,最大和最小曲率,称为主曲率 κ_1 和 κ_2 ,极值方向称为主方向。

2.3 高斯曲率

所谓曲面上某点的高斯曲率(主曲率的产物),即该点两个主曲率的乘积

$$K_{Gauss} = \kappa_1 \kappa_2 = \frac{LN - M^2}{EG - F^2} \quad (7)$$

把表面上的顶点映射到单位球的球心,把法线的端点映射到球面上,即将表面上的点与球面上的点建立了一种对应,叫做曲面的球面表示,也叫高斯映射。高斯曲率的几何意义,即:球面上的面积/曲面局部面积的极限。

高斯曲率,对于球、椭球、单叶双曲面、椭圆抛物面为正,对于伪球面、双叶双曲面的一叶、双曲抛物面为负,对平面、圆柱面为0。它决定了曲面局部是凸(正的时候)还是局部鞍点(负的时候),同时高斯曲率还对旋转和平移有着不变性。

2.4 平均曲率

平均曲率可以被如下定义

$$H = \kappa_{mean} = \frac{(\kappa_1 + \kappa_2)}{2} = \frac{1}{2} \frac{NE - 2MF + LG}{EG - F^2} \quad (8)$$

平均曲率,作为主曲率的平均值,比主曲率在数值计算中对噪声的敏感度小。

2.5 均方根曲率(RMS)

均方根曲率可以被如下定义

$$\kappa_{rms} = \sqrt{\frac{\kappa_1^2 + \kappa_2^2}{2}} \quad (9)$$

并且可以化简为

$$\kappa_{rms} = \sqrt{4H^2 - 2K} \quad (10)$$

2.6 绝对曲率(ABS)

绝对曲率可以被如下定义,即主曲率绝对值的和

$$\kappa_{abs} = |\kappa_1| + |\kappa_2| \quad (11)$$

3. 实验设计

实验数据采用浙江工业大学的3D面部表情数据库ZJU-3DFED,在这套数据库中,有40个不同的对象,每个人9张扫描的图像,总共360张。每一个对象包含2张微笑表情,2张惊讶表情,2张沮丧表情和3张自然表情。基于vcglib库(Visualization and Computer Graphics Lib)对原始数据进行三角网格化曲面重建,实验中首先对数据格式进行转换,由.obj到.ply(.ply格式是一种多边形模型数据格式,表示方法紧凑,而且能被快速的计算出来,它最大的特点是压缩比高(1M多一点),节省了大量的时间和空间,这些使得它能适合大规模的数据集),然后对同一张图片分别计算得到各种曲率得到结果。

4. 实验结果

4.1 数据分析

实验中部分结果数据如下图1所示,从左至右依次为高斯曲率,平均曲率,均方根曲率和绝对曲率。

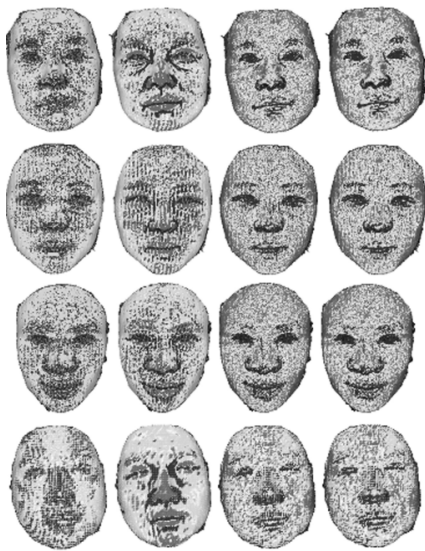


图1 部分实验结果数据(四组)

从图中我们能够看到,高斯曲率和平均曲率对于特征的定位不太清楚,而均方根曲率和绝对曲率则能较好地定位出五官的大致位置和轮廓(图上蓝色标注区域),而这主要是因为这两种曲率对于局部的速率更为敏感,人脸区域虽然富于变化,但这种变化主要表现在五官的区域,在面部的其它区域则较少,这种本质的原因即是后两种曲率得以发挥效果的关键所在。同时结合原图,我们以眼部区域的定位为例,后两种曲率的计算结果能够得到更多的有效点(实际范围之类)。而且对于鼻子下轮廓线的定位也较前两种清晰准确。

项 目 曲 率	有效点数 (蓝色)	定位质量 (综合)	定位质量 (眼部)	定位质量 (鼻下轮廓)	定位质量 (嘴巴区域)
高斯曲率	少	最差	差	差	差
平均曲率	较少	较差	较差	好	较差
均方根曲率	多	好	较好	好	较好
绝对曲率	多	最好	好	好	较好

图2 实验结果比较

所以,综上所述,我们可以得到如下的结论,对于定位质量而言,高斯曲率(最差)→平均曲率→均方根曲率→绝对曲率(最好)。

对于实验结果的分析重点不在曲率的计算上,而在于上面这些曲率告诉我们什么信息和我们为什么关注这种曲率,在此

我们首先把重点放在均方根曲率上^[17,18,19]。这种曲率测量了一个面相对与一个平面的背离情况,当一个面有值为0的均方根曲率时即是一个平面。均方根曲率值越高意味着面的法向量在一个很小的区域内变化迅速,反之,则变化缓慢。但是,均方根曲率无法确定曲面的弯曲朝向,所以必须结合主曲率来看。其次,对于几何模型,平均曲率和高斯曲率都无法正确地得到对于形状的测量,而此时均方根曲率和绝对曲率则有很好的效果。

4.2 进一步的思考

第一,即使是对于后两种曲率来说,对于三维人脸特征的定位仍然比较粗糙,只能算是大致的定位,有待进一步的细化从而提取出器官,但就其各方面质量而言,相对于前两种曲率来说,优势还是比较明显的;

第二,通过查阅中、英文等文献发现,目前大多数采用曲率的三维人脸特征提取方法均只采用高斯曲率或者平均曲率,故如果改为均方根曲率或者绝对曲率计算,对现有的算法进行改进,得到更好的实验效果是我们下一步的工作;

第三,能否结合其它的特征定位方法(例如切线,体积等)对后两种曲率的定位质量做进一步的改进,也是需要我们进一步的实验的地方。

参考文献:

- 吕宝华,人脸特征定位方法研究[D],西北工业大学,2007
- 肖冰,王映辉,人脸识别研究综述[J],计算机应用研究,2005,22(8)1-5
- 林维训,潘纲,吴朝晖,潘云鹤,脸部特征定位方法[J],中国图像图形学报,2003,(08)
- 周杰,卢春雨,张长水等,人脸自动识别方法综述[J],电子学报,2000,28(4)102-106
- 王跃明,吴朝晖,潘纲,一种基于三维深度数据的脸部特征检测方法[J],浙江大学学报(工学版),2005,39(5)652-656
- 柳杨,三维人脸识别算法综述[J],系统仿真学报,2006,18(Suppl1):4002403
- John Chun Lee, E. Milios, "Matching Range Images of HumanFaces" Proceedings of IEEE ICCV, pp.722-726, 1990
- Gaile.G. Gordon, "Face Recognition based on Depth Maps and Surface Curvature," Geometric Methods in Computer Vision, SPIE Proceedings, vol.1570, pp.234-247, 1991
- C BenAbdelkader, PA Griffin, Comparing and combining depth and texture cues for face recognition, Image and Vision Computing, 2005 - Elsevier
- Y.Yacoob, L.S.Davis, "Labeling of Human Face Components from Range Data" CVGIP:Image Understanding, 60(2):168-178, 1994
- Pulla S, Razdan A, Farin G. Improved curvature estimation for Watershed segmentation of 3-Dimensional meshes [R]. Tempe,AZ: Arizona State University, 2001
- 郭哲,张艳宁,林增刚,基于曲率信息的三维人脸面部特征提取[J],计算机工程与应用,2007,43(24)239-241,245
- 胡静俊,陈国斌,刘济林等,基于曲率和积分投影的人脸特征检测[J],江南大学学报(自然科学版),2006,5(6)631-634
- Wu JJ, Characterization of fractal surfaces [J].Wear, 2000, Vol.239, No.1, 2000p. 36-47
- Gatzke, T., Grimm, C., Garland, M., Zelinka, S., Curvature maps for local shape comparison, Shape Modeling and Applications, 2005 International Conference,13-17 June 2005 Page(s):244 - 253
- S. Verpoort, The Mean Curvature of the Second Fundamental Form of an Ovaloid, preprint.
- 孙晓鹏,李华,三维网格模型的分割及应用技术综述[J],计算机辅助设计与图形学学报,2005,17(8)1647-1655
- 崔晨旻,石敦英,三维模型检索中的特征提取技术综述[J],计算机辅助设计与图形学学报,2004,16(7):882-889
- 刘仕庆,陈幼平,袁楚明等.三角形网格模型顶点曲率的求解算法[J],计算机应用研究,2007,24(6)107-108,111