

颅面重构中颅面相似度比较*

朱新懿, 耿国华

(西北大学信息科学与技术学院, 西安 710069)

摘要: 目前颅面重构技术往往利用目标颅骨所反映出的种族、性别、年龄、营养情况等信息来选择参考颅骨或者参考面部模板进行颅面重构,但这些信息并不包括颅骨自身的信息(如形状信息);在得到颅面重构的结果后,评估生成的人脸到底像不像其本人的真实人脸,数值化评估重构结果尚待完善。基于以上问题,提出了一种颅面相似度比较的方法,将颅面特征点分为形状特征点和一般特征点,针对不同特征点计算不同距离来衡量颅面相似度。实验结果表明,利用该方法选择出的参考颅骨或面部模板与志愿者的选择基本一致,可用于进行颅面重构后续计算并对重构结果进行评估。

关键词: 颅面重构; Procrustes 距离; 相似度

中图分类号: TP391.7 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2010)08-3153-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2010.08.093

Craniofacial similarity comparison in craniofacial reconstruction

ZHU Xin-yi, GENG Guo-hua

(School of Information Science & Technology, Northwest University, Xi'an 710069, China)

Abstract: Current methods of craniofacial reconstruction always choose the reference skull or the facial template based on the values of race, gender, age, nutrition, but these values do not include the properties of the skull (shape value e. g.). In addition, whether the reconstruction resembles the person of the object skull or not is still a difficult problem. Therefore, this paper presented a method of craniofacial similarity comparison, in which classified landmarks into two categories and computed different distances, so the reference skull or facial template could be chosen for further computation and to estimate the final result. Experimental results demonstrate the results computed are consistent with what the volunteers chose.

Key words: craniofacial reconstruction; Procrustes distance; similarity

0 引言

颅面重构是利用目标颅骨来估计面貌的技术,该技术可用在法医学、人类学、考古学等诸多领域。传统的颅面重构技术是专家利用经验将黏土贴在目标颅骨上,从而模拟出人的面貌,这种方法往往与专家的经验有关,具有主观性而且要花费大量的时间。利用计算机进行辅助颅面重构,可以克服以上缺点,重构后的结果更加客观而且耗时较短。

利用计算机辅助颅面重构一般采用两类方法:

a) 参考面部模板变形。该方法主要是事先在目标颅骨上标定好面部特征点,然后将参考面部模板变形到目标颅骨上,使得变形后的面部结果在特征点处等于已知的人脸软组织厚度。从这种方法中可以看出,参考面部模板的选择直接影响了重构后的结果。为了得到更准确的结果,目前一般会利用目标颅骨所能反映出的其他信息(如种族、性别、年龄、营养情况等)来辅助面部模板的选择。一种选择面部模板的方法^[1]是从数据库中选择与目标颅骨有这些相似信息的一个参考面部模板进行变形来得到重构结果,但该方法的最大缺点在于得到的重构结果会保留一些参考面部模板的个人面部特征;为了克服上述缺点,另一种选择方法^[2]是采用统计模型,从参考面部

模板数据库中选择与目标颅骨有这些相似信息的多个参考面部模板,生成统计人脸模型,然后将该统计人脸模型进行变形,从而得到最终结果。由于统计人脸模型是多个参考面部模板进行统计计算的结果,该模型去掉了面部很多细节特征,从而使得到的结果过于平滑,丢失了很多细节信息。

b) 参考颅骨变形。该方法主要是利用 crest line^[3]技术将参考颅骨变形到目标颅骨,并将变形应用到与参考颅骨对应的面部模板上,得到最终重构结果,该结果与参照颅骨的选择有直接关系。

另外,在得到颅面重构的结果后,评估生成的人脸到底像不像其本人的真实人脸,最直接的方法就是邀请一些志愿者来检查,但数值化评估重构结果却仍是一个非常复杂且需要解决的问题。Vanezis^[4]尝试使用简单的 Procrustes analysis 来评估复原后的结果,结果显示在某些实验中,其与志愿者得到的结果类似。Subsol 等人^[5]定义了 global distance 和 amplitude distance 来进行特征变形分析,实验验证了当计算出某个颅骨的 global distance 值比较大时,其下颚骨的形状有很大差别。

在颅面重构技术中颅面相似度的比较可分为两个问题:两个颅骨相似度的比较,可用在面部模板的选择过程中;两个面部模板相似度的比较,可用在对重构后的结果进行评估的过程

收稿日期: 2010-01-06; **修回日期:** 2010-02-28 **基金项目:** 国家自然科学基金重点资助项目(60736008);陕西省自然科学基金资助项目(SJ08F29)

作者简介: 朱新懿(1979-),女,浙江温州人,博士研究生,主要研究方向为计算机可视化(nwuzxy@163.com);耿国华(1955-),女,教授,博导,主要研究方向为智能信息处理。

中。基于以上的问题,本文提出了关于颅面相似度比较的方法,这种方法可应用在参考面部模板选择阶段和颅面重构结束后,以便于选择与目标颅骨更相似的参考颅骨或面部模板来进行后续计算并对重构结果进行一定的评估。

1 建立统一坐标系

在最初的数据采集阶段,获取数据的时间和方式不同,从而不可避免地导致了不同数据处于不同坐标系下,所以必须建立统一的坐标系,将参考颅骨、与参考颅骨对应的参考面部模板、目标颅骨统一到同一坐标系下。这里采用人类学领域使用的法兰克夫平面建立的法兰克夫坐标系^[6]。

法兰克夫平面 PF 由三点 L, R, M 确定,平面法向量 $f = ML \times MR$ 。选取左耳孔中心、右耳孔中心、左眼眶下缘中点为 L, R, M 三点,另外选取眉心点为 V 点,建立图 1 所示的法兰克夫坐标系:

- a) 建立过 V 点并且以 LR 为法向的平面 P_1 ;
- b) 将 P_1 与直线 LR 的交点设定为新坐标系的原点 O' ;
- c) 过 O' 且方向向量为 f 的向量作为新 Z 坐标轴 $O'Z'$, Z 轴正向为 f 的方向;
- d) 将 L, R 确立的直线为新 X 坐标轴 $O'X'$, X 轴正向为 LR 的方向;
- e) 按照右手法则定出新 Y 坐标轴 $O'Y'$ 。

建立好新的参照坐标系后,就可以计算出新的点坐标。假设某点 P 在旧坐标系下的坐标为 (x, y, z) , 在新坐标系下的坐标为 (x', y', z') , 那么就有

$$[x', y', z', 1]' = M_R M_T [x, y, z, 1]'$$

其中: M_R 和 M_T 分别是旋转矩阵和平移矩阵。

$$M_T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \delta_1 \\ 0 & 1 & 0 & \delta_2 \\ 0 & 0 & 1 & \delta_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

其中: $\delta_1, \delta_2, \delta_3$ 表示 O 到 O' 的平移距离。

$$M_R = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha & 0 \\ 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \beta & \sin \beta & 0 & 0 \\ -\sin \beta & \cos \beta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

其中: α 为 $O'Z'$ 在 YOZ 平面的投影与 Z 轴的夹角, β 为 $O'Z'$ 在 XOY 平面的投影与 Y 轴的夹角。

2 选定待比较的特征

目前选择特征点的方法中,选择特征点的数量和位置不尽相同,本文将这些点分为两类:第一类是能从解剖学角度反映颅面形状的一些点,如图 2 所示,这些点在相似度计算中使用,分别是眉间点 (GLA)、左/右眼上框 (LS/RS)、鼻根点 (NA)、左/右颧点 (LZY/RZY)、左/右下颌角点 (LGO/RGO)、颌下点 (GNA);第二类是其余的特征点。

于是,颅骨模型可表示成 $skull = (S^p, S^{LM1}, S^{LM2})$ 。其中: S^p 表示颅骨上所有点的集合 $S^p = \{S_i^p \in R^3 | i = 1, \dots, N\}$; S^{LM1} 表示第一类特征点的集合 $S^{LM1} = \{S_j^{LM1} \in R^3 | j = 1, \dots, 9\}$; S^{LM2} 表示第二类特征点的集合 $S^{LM2} = \{S_k^{LM2} \in R^3 | k = 1, \dots, L\}$ 。

定义两类特征,即颅骨形状特征、颅骨间比较特征。颅骨形状特征用第一类特征点来度量,主要反映颅骨本身的形状信息;颅骨间比较特征使用两个颅骨特征点的 Procrustes 距离来衡量两个颅骨特征点的相似度。

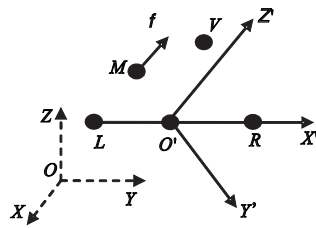


图1 法兰克夫坐标系

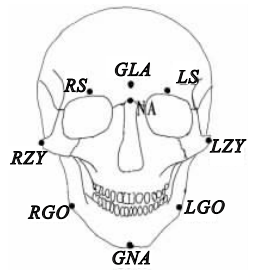


图2 第一类特征点

2.1 颅骨形状特征

用 $|LZY - RZY|^2$ 表示左右颧点之间距离的平方,类似地则有以下公式:

$$\begin{cases} d_H = |RS - LS|^2 + |RZY - LZY|^2 + |RGO - LGO|^2 \\ d_V = |GLA - NA|^2 + |NA - GNA|^2 \\ d_L = |RZY - GNA|^2 + |RGO - GNA|^2 + |LZY - GNA|^2 + |LGO - GNA|^2 \\ D_{shape} = (d_H + d_V + d_L) / 9 \end{cases}$$

从以上公式可以看出, d_H, d_V, d_L 分别从水平、垂直、斜向对颅骨进行了度量,用 D_{shape} 来表示颅骨形状特征,类似还可以计算人脸模板的形状特征 D_{shape} 值。

2.2 颅骨间比较特征

设两个颅骨模型 $skull_1 = (S_1^p, S_1^{LM1}, S_1^{LM2})$, $skull_2 = (S_2^p, S_2^{LM1}, S_2^{LM2})$, 定义颅骨间特征 D_{S-S} 采用 Procrustes 距离:

$$D_{S-S} = \sum_{j=1}^{L+9} [(x_1^j - x_2^j) + (y_1^j - y_2^j) + (z_1^j - z_2^j)]^2 / (L+9)$$

其中: $(x_i^j, y_i^j, z_i^j) \in S_i^{LM1} \cup S_i^{LM2} (i = 1, 2; j = 1, \dots, (L+9))$ 。

2.3 颅骨相似度比较

$$D = \alpha D_{shape} + \beta D_{S-S}$$

其中: α, β 是系数。在计算过程中,由于 D_{shape} 反映颅骨形状特征,而 D_{S-S} 反映两个颅骨特征点的对应关系,在计算过程中往往 $D_{shape} \gg D_{S-S}$, 在选择 α 和 β 时, β 应取大些的值(本文中取 $\alpha = 1, \beta = 1000$), 以便反映出 D_{S-S} 对整个 D 值的影响。

类似地,可以定义面部模板的 D_{shape}, D_{S-S}, D 值。

3 颅面相似度比较及实验结果

实验选用如图 3 所示的五个颅骨,选定颅骨 A 作为参考颅骨,分别计算五个颅骨的 D 值,以及这些 D 值与 A 的 D 值的差值绝对值(用 $|X - A|$ 表示)。运算中选择了包括第一类特征点在内的 36 个特征点^[4], 结果如表 1 所示。

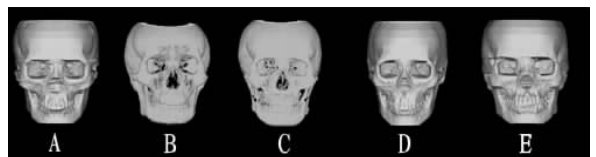


图3 实验

表 1 颅骨实验结果

值	A	B	C	D	E
D	10 898.8	9 158.3	11 843.7	9 338.4	11 325.5
$ X - A $	0	1 740.5	944.9	1 560.4	426.7

五个颅骨进行颅面重构,其中 B、D、E 的颅骨所有者年龄在 2030 岁,B、E 体型中等,D 体型偏瘦,C 的颅骨所有者是中年人,体型较胖,重构过程中考虑到了年龄和营养状况等因素,得到如图 4 的面部模板结构。对面部模板计算 D 值,以及这些 D 值与 A 的 D 值的差值绝对值(用 $|X - A|$ 表示),如表 2 所示。

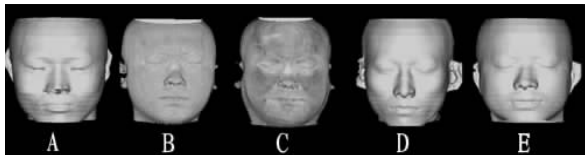


图4 颅面重构的结果

表 2 面部模板实验结果

值	A	B	C	D	E
D	15 155.1	13 359.6	16 987.5	14 195.7	15 498.7
$ X - A $	0	1 795.5	1 832.4	959.4	343.6

另外,本文选择了 40 名志愿者对颅骨 A 与颅骨 B~E,重构结果 A 与重构结果 B~E 进行了比较,请志愿者找出他们认为最像的结果,如表 3 所示。

表 3 志愿者选择的结果

被选择的次数	B	C	D	E
选择最像的颅骨	9	9	10	12
选择最像的重构结果	9	0	15	16

4 结束语

从实验结果可以看出,在选择与 A 比较接近的颅骨时,E 的 D 值最接近 A 的 D 值,而从志愿者的选择来看,符合计算结果;经过颅面重构后,E 的 D 值仍然最接近 A 的 D 值,而从志愿者的选择来看,也符合计算结果。另外,颅骨所有者的体态对 D 值有较大影响,如颅骨 C 的 D 值在重构前后与 A 的 D 值差别较大。

由于本文使用的样本有限,仍然需要更多的样本来对这个方法加以检验和修正。虽然本文试图建立颅面相似度的数值比

较,但需要指出的是,颅面重构技术并不能生成与其本人一模一样的人脸,其中主要原因是个人面部软组织厚度与统计数据之间有差异,同时眼睛、鼻子、嘴唇等五官特征与颅骨之间并没有直接联系。另外,普通观察者的判断也具有主观性。但是该方法可以对颅面重构过程进行辅助,在选择参考颅骨或参考面部模板时,可以通过设定阈值的方法对样本进行筛选,从而获得更好的重构结果。同样在对重构结果进行评估时,该方法也可以对结果进行辅助判断,减少人为工作量。

本文仅仅选择了颅面的形状信息和颅面间比较特征,如何选择更多有效的颅面特征来进行颅面相似度比较,也是未来的工作方向。

参考文献:

- [1] VANEZIS P, BLOWES R W, LINNEY A D, *et al.* Application of 3-D computer graphics for facial reconstruction and comparison with sculpting techniques[J]. *Forensic Science International*, 1989, 42 (1-2): 69-84.
- [2] CLAES P, VANDERMEULEN D, GREEF S D, *et al.* Statistically deformable face models for craniofacial reconstruction[J]. *Journal of Computing and Information Technology*, 2006, 14 (1): 21-30.
- [3] QUATREHOMME G, COTIN S, SUBSOL G, *et al.* A fully three-dimensional method for facial reconstruction based on deformable models[J]. *Journals of Forensic Science*, 1997, 42 (4): 649-652.
- [4] VANEZIS M. Forensic facial reconstruction using 3-D computer graphics: evaluation and improvement of its reliability in identification [D]. Glasgow: University of Glasgow, 2008.
- [5] SUBSOL G, THIRION J P, AYACHE N. A scheme for automatically building three-dimensional morphometric anatomical atlases: application to a skull atlas[J]. *Medical Image Analysis*, 1998, 2 (1): 37-60.
- [6] 李康. 基于颅骨的人脸建模技术研究及在法医面貌复原中的应用 [D]. 西安: 西北大学, 2006.

(上接第 3152 页)

4 结束语

本文提出一种基于遗传 K-均值初始化的医学图像 t 混合模型聚类方法。由于该方法采用遗传算法找到了适应度最好的染色体作为 K-均值算法的聚类中心,以此划分结果作为混合模型的参数初始值,在一定程度上解决了混合模型对参数初始值设置的敏感性问题。实验证明,利用 t 混合模型对医学图像聚类,遗传算法与 K-均值算法相结合的初始化方法比传统 K-均值初始化方法有更好的聚类效果。当需要对不同部位或不同成像原理的图像聚类时,只需要适当调整遗传算子和图像特征的矢量维数,因而此算法具有一定的通用性。如何进一步提高聚类的质量和稳定性是接下来的研究内容。

参考文献:

- [1] WANG Hai-xian, ZHANG Quan-bing, LUO Bin, *et al.* Robust mixture modeling using multivariate t-distribution with missing information

- [J]. *Pattern Recognition Letters*, 2004, 25 (6): 701-710.
- [2] 陈国良,王照洪,庄镇家,等. 遗传算法及其应用[M]. 北京: 人民邮电出版社, 1996.
- [3] BANDYOPADHYAY S, MAULIK U. Genetic clustering for automatic evolution of clusters and application to image classification[J]. *Pattern Recognition*, 2002, 35 (6): 1197-1208.
- [4] PEEL D, McLACHLAN G J. Robust mixture modeling using the t-distribution[J]. *Statistics and Computing*, 2000, 10 (4): 339-348.
- [5] WEHRENS R, BUYDENS L M C, FRALEY C, *et al.* Model-based clustering for image segmentation and large datasets via sampling[J]. *Journal of Classification*, 2004, 21 (2): 231-253.
- [6] SCHWARZ G. Estimating the dimension of a model[J]. *Annals of Statistics*, 1978, 6 (2): 461-464.
- [7] KERIBIN C. Consistent estimation of the order of mixture models [J]. *The Indian Journal of Statistics*, 2000, 62: 49-66.