

(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 101882326 A

(43) 申请公布日 2010. 11. 10

(21) 申请号 201010180628. 6

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2010. 05. 18

G06T 17/00 (2006. 01)

(71) 申请人 广州市刑事科学技术研究所

地址 510030 广东省广州市越秀区仓边路
30 号

(72) 发明人 袁中标 裴玉茹 刘超 查红彬

(74) 专利代理机构 广州新诺专利商标事务所有
限公司 44100

代理人 曹爱红

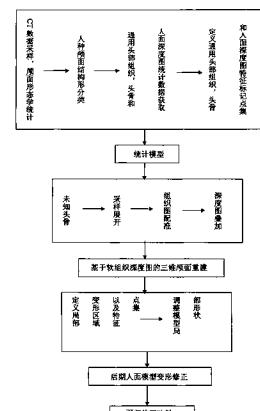
权利要求书 1 页 说明书 8 页 附图 2 页

(54) 发明名称

基于中国人全面部结构形数据的三维颅面复
原方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于中国人全面部结构形数据的三维颅面复原方法，包括以下步骤：(1) 基于大量人头 CT 数据统计分析，获取面部软组织厚度分布模型；(2) 通过圆柱展开人的头部的软组织层和头骨表层，将其投射到二维平面，使用二维的深度图表示软组织形态和头骨形态，训练径向基函数网络实现待复原头骨和通用软组织厚度分布形态之间的变换；(3) 基于人种的颅面结构形分类，构造复原人脸局部器官的形状子空间，并学习颅骨局部形态和复原人脸局部形态之间的映射；(4) 结合整体的软组织分布和局部特征形态变形修正复原的人脸模型，即使用软组织形态和待复原头骨形态的二维深度图相加完成输入骨骼的三维颅面重建及修正；(5) 通过面部纹理映射，使用正交照片合成面部完整的纹理图，并进行复原人像的肤色、发型渲染，加强人像的真实感。本发明的应用克服了现有技术中的重建细节缺失，缺乏个性化特征的问题，节省了其它人类学研究和复原技术制作的成本，并提高了工作效率；具有自动化程度高，操作简便等特点。



1. 一种基于中国人全面部结构形数据的三维颅面复原方法，其特征在于，包括以下步骤：

- (1) 提取头部完整的中间软组织层，通过圆柱展开将其投射到二维平面，使用二维的深度图表示该组织层；
- (2) 利用特征模板的自动提取技术获取颅骨深度图中的特征标注；
- (3) 使用径向基函数网络从底层的骨骼局部测量估计出局部特征；
- (4) 对于待复原颅面的头骨，将其参数化到二维平面上，分析其形态特征，寻找近似的组织厚度分布模型，针对特定骨骼特征形状训练的径向基函数网络实现输入头骨形态和通用软组织厚度分布图之间的变换，将变换后的组织厚度分布图叠加到输入头骨上，使用二维深度图相加完成输入骨骼的三维颅面重建；
- (5) 通过面部纹理映射，使用正交照片合成面部完整的纹理图，并进行复原人像的肤色、发型渲染。

2. 根据权利要求 1 所述基于中国人全面部结构形数据的三维颅面复原方法，其特征在于，所述步骤 (1) 进一步包括以下步骤：

- (a) 从 CT 图像数据中生成颅骨和人脸模型；
- (b) 将对应的颅骨和人脸模型参数化到二维平面上，使用指定的分辨率进行二次采样，采样获取人脸以及头骨相对于采样中心轴的深度图；
- (c) 通过对称的颅骨和面部组织图相减得到软组织图；
- (d) 使用径向基函数对同一类中的所有组织图按照其特征进行配准，通过取均值计算得到通用软组织厚度定义。

基于中国人全面部结构形数据的三维颅面复原方法

技术领域

[0001] 本发明涉及法医人类学和计算机图形学领域的三维颅面重构方法,特别是一种基于中国人全面部结构形数据的三维颅面复原方法。

背景技术

[0002] 长期以来,在刑侦应用方面,颅面复原是解决碎尸和白骨化的尸源查找难题的主要方法,是突破疑难案件的重要刑事技术。传统的格拉西莫夫雕塑复原法,用人工雕塑的方法结合头面部的软组织厚度数据来进行复原,目前国内复原工作基本用以往的文献发表的软组织厚度数据均值来进行复原工作,并未考虑颅面结构关系,复原效果普遍较差。

[0003] 在传统技术上创新研制计算机三维颅面复原法,对当前刑侦工作而言,这项研究成果不仅可以普及推广,而且比传统雕塑复原法要节省成本和提高工作效率,使用计算机仿真复原不会对具有重要物证意义的头骨带来任何的损坏,具有重要的刑侦意义。此外,这项研究的成果在其它领域也具有重要意义,如:在考古领域中,可用三维计算机颅面复原法恢复原始人和古代人物的形态结构面貌;在外科医学中,对于面部整形手术预测规划具有重要意义。

[0004] 现有的计算机仿真的颅面重建系统一般都是基于少数特征点以及其对应的组织厚度约束重建面部模型。Archer 提出了基于层次 B 样条的颅面重建系统,插值人面特征标记定义来获取更多的表面标记点,建立样条曲面的控制网格。通过增加控制网的层次,把变形控制在一个局部的范围来精细调整各个器官的形状。多层 B 样条曲线这种方法最初用于曲线的局部细节形状控制,后来扩展到了曲面上。参数曲面拟和的过程较复杂,同时需要精心准备头部模板模型。Vanezis 等人通过三维扫描建立人脸特征三维模型库,对于新输入头骨从模型库中选取合适的模板三维模型,通过变形使得特征位置的厚度满足组织厚度的统计数据,在生成的三维模型上覆盖照片,整个过程模拟法医人类学中的颅面覆盖技术。Wilhelms 等人提出基于生理解剖结构的造型和动画系统,骨骼肌肉表皮使用椭球体,圆柱或者椭球等简化表示方式,使用较少量参数就可以刻画位于骨骼插入点和表皮之间的肌肉连接并控制相关运动,将底层组织体素化提取等值面获取表皮多边形网格模型,参数化的底层组件可以在不同的模型之间复用。但是,人脸具有复杂生理结构的部分,其中的一些部位在骨骼上得不到体现,直接通过少数几个特征点拟和通用模型获取的重构结果通常较粗糙,缺乏人面的个性,达不到人像识别身份的条件,失去侦查死者身份的意义。

[0005] 例如,于 2009 年 1 月 7 日公开的中国发明专利申请 CN 101339670A,公开了一种计算机辅助的三维颅面复原方法,即首先设定头面部 36 个人类学测量点,然后通过 X 光扫描大量活体人头部,统计以上测点的软组织厚度数据,最后通过三维扫描仪扫描待复原的头颅骨模型,在其上覆盖测点的软组织厚度统计数据来重构三维面部模型。

发明内容

[0006] 针对上述现有技术中的缺陷,本发明针对大量的活体颅面 CT 数据进行颅面结构

关系的研究,发现和获得其全面部的软组织特征形成的规律,然后根据所获人种的颅面关系规律设计个性化的颅面重构方法,从而建立了一种准确高效、能够推广应用的三维颅面复原方法。

[0007] 为了达到上述目的,本发明所采用的技术方案:一种基于中国人全面部结构形数据的三维颅面复原方法,包括以下步骤:

[0008] (1) 基于大量人头 CT 数据统计分析,获取面部软组织厚度分布模型。提取头部完整的中间软组织层,通过圆柱展开将其投射到二维平面,使用二维的深度图表示该组织层;

[0009] (2) 利用特征模板的自动提取技术获取颅骨深度图中的特征标注;

[0010] (3) 基于人种的颅面结构形分类,构造复原人脸局部器官的形状子空间,并学习颅骨局部形态和复原人脸局部形态之间的映射,使用径向基函数网络从底层的骨骼局部测量估计出局部特征;

[0011] (4) 对于待复原颅面的头骨,将其参数化到二维平面上,分析其形态特征,寻找近似的组织厚度分布模型,针对特定骨骼特征形状训练的径向基函数网络实现输入头骨形态和通用软组织厚度分布图之间的变换,将变换后的组织厚度分布图叠加到输入头骨上,使用二维深度图相加完成输入骨骼的三维颅面重建;

[0012] (5) 通过面部纹理映射,使用正交照片合成面部完整的纹理图,并进行复原人像的肤色、发型渲染,加强人像的真实感。

[0013] 上述步骤(1)进一步包括以下步骤:

[0014] (a) 从 CT 图像数据中生成颅骨和人脸模型;

[0015] (b) 将对应的颅骨和人脸模型参数化到二维平面上,使用指定的分辨率进行二次采样,采样获取人脸以及头骨相对于采样中心轴的深度图;

[0016] (c) 通过对称的颅骨和面部组织图相减得到软组织图;

[0017] (d) 使用径向基函数对同一类中的所有组织图按照其特征进行配准,通过取均值计算得到通用软组织厚度定义。

[0018] 与现有技术相比,本发明的优点在于:(1) 使用二维深度图保存头部组织信息,通过对该图采样可以获取输入头骨网格任意节点位置的组织厚度信息,对于输入头骨网格拓扑结构以及网格精度没有特别的要求;(2) 通过对输入头骨采样参数化,将其与相同精度的通用头骨图以及组织图使用径向基函数网络配准,通过简单的迭加就可以获取和输入骨骼对应的颅面模型;(3) 基于颅骨各部结构形特征分布,估计个性化的面部形态。

[0019] 本发明只需 1 小时即可出具死者面貌特征报告以及复原像给刑侦部门使用,相似度达到 85% 以上,符合个体识别条件。本发明的应用节省了其它人类学研究和复原技术制作的成本,并提高了工作效率。具有自动化程度高,操作简便等特点,非颅面复原专业人士也可操作;还具有在其它行业应用的前景,如在外科医学中,面部整形手术预测规划等。

附图说明

[0020] 图 1 是本发明所述三维复原人面的个性化特征获取流程图;

[0021] 图 2 是本发明所述颅面复原方法的流程图。

具体实施方式

[0022] 下面结合附图对本发明的具体结构作进一步的描述。

[0023] 如图 1、2 所示，本发明所述基于 CT 数据的三维颅面复原方法，包括以下步骤：1、抽取面部软组织厚度分布，并构造统计模型

[0024] 用于计算软组织层厚度信息的头部模型来自 CT 图像，软组织图提取过程步骤如下：

[0025] (a) 从 CT 图像数据中生成颅骨和人脸模型，对于 CT 图像处理有大量公开的工具包，例如 VTK，以及基于 VTK 的 VolView 软件，用于从 CT 图像中重建面部模型；

[0026] (b) 将对应的颅骨和人脸模型参数化到二维平面上，使用指定的分辨率进行二次采样，采样获取人脸以及头骨相对于采样中心轴的深度图；

[0027] (c) 通过对称的颅骨和面部组织图相减得到软组织图，由于头骨和人脸模型采用了相同的采样方式，可以直接由对应像素的深度值相减得到中间软组织层的厚度定义；

[0028] (d) 使用径向基函数对同一类中的所有组织图按照其特征进行配准，通过取均值计算得到通用软组织厚度定义。

[0029] 用于模型训练的 CT 数据由活体采集，由 CT 数据中重建的颅骨和人脸模型在世界坐标系中的位置具有精确对应，但是我们并不知道颅骨模型和人脸模型网格中顶点之间的对应关系，难以通过直接运算获取二者之间的组织厚度；另外需要进行颅面重建的头骨使用三维扫描获取，颅骨模型中由于存在遮挡难以和 CT 重建的头骨模型一样完整，而我们需要计算扫描获取的头骨模型与 CT 数据中获取的通用头骨模型之间的映射关系；面部重建只与外层骨骼有关，而 CT 图像中重建的头骨模型是具有厚度的几何结构，需要剥除其骨骼内层。上述问题都可以通过相同分辨率的采样解决。

[0030] 模型二维参数化是基于圆柱投影，首先计算模型上每个点的圆柱坐标 (r_i, θ_i, z_i) ，该点到指定半径 r_s 的圆柱表面上的坐标就可以表示为 $(r_s \times \theta_i, z_i)$ 。为了解决颅骨和人脸几何模型的拓扑不一致问题，我们对两个模型以相同的分辨率进行重新采样，其对应径向和轴向的采样率分别是 N_r 和 N_z ，因而空间被划分为了 $N_r \times N_z$ 个小格，计算从圆柱主轴出发经过采样方格中心的光线与模型的交点，得到交点集合 $P_{inter} = \{p_i | p_i \in P_M\}$ ，其中 P_M 是模型表面的点。根据到主轴的距离对交点集合 P_{inter} 排序，取有最大深度的点作为当前方格 $g_{n,z}$ 的采样点，把该点的深度作为该方格对应像素的值。采样后深度图对应的模型具有圆柱投影意义上的保凸特性。采样就是以人为规定的分辨率同时计算头骨和人脸模型相对于采样主轴的深度。

[0031] 由于颅骨上在眼眶骨、鼻骨以及颧骨周围存在空洞，面部的三维模型在鼻孔、上下唇接合位置可能缺少数据，这样对颅骨以及人脸采样的网格上就存在空洞，不能直接进行深度操作获得组织厚度数据，因而需要对深度采样图进行补洞操作。本系统采用简单的补洞策略，对于深度图中的空洞以其八邻域中非空洞像素的深度均值作为该点的深度。

[0032] $d_c = \sum_i d_{ci}$ ，其中 d_c 是当前点的深度值， d_{ci} 是像素八邻域中非空洞像素的深度值。补洞过程描述如下：

[0033] (a) 搜索空洞的边界像素 $B\{p_i\}$ ；

[0034] (b) 对于 $B\{p_i\}$ 中的像素，使用其非空八邻域像素对应深度均值作为其深度值；

[0035] (c) 更新图中的边界像素 $B\{p_i\}$ ，如果 $B\{p_i\}$ 不为空，继续步骤 (b)。

[0036] 通过上述算法, 使用空洞边界的深度值通过插值得到空洞中所有像素的深度。采样结束后, 对于颅骨和人脸都形成了圆柱径向保凸的采样网格模型, 通过相同分辨率的颅骨和人脸模型按像素深度相减, 就可以得到组织厚度图。通用的组织厚度定义则通过计算一个采样群体中组织厚度均值得到。由于不同人的软组织图中的特征点分布并不完全相同, 不能直接进行均值计算, 必须先根据面部及骨骼特征对软组织图进行配准, 我们使用径向基函数网络对从不同人头获取的组织厚度图进行配准。

[0037] 我们使用径向基函数网络对由不同人头数据获取的面部组织图进行配准, 进而计算通用的组织厚度定义。每张组织图包含一组特征点 P_{1mi} , 其中特征点用 $p_{lmi}^k(r_{lmi}^k \times \theta_{lmi}^k, z_{lmi}^k)$ 标记。指定一张组织图作为基准, 其对应的特征点集是 P_{1m0} , 其它的组织厚度图特征点集为 P_{1mi} , 使用径向基函数网络训练两张非同源组织厚度图之间的映射, 这里忽略仿射变换部分,

[0038]

$$p_{lmi}^j = F(p_{lmo}^j) = \sum_{i=1}^N w_i \varphi(\|p_{lmo}^j - p_{lmo}^i\|)$$

[0039] 使用径向基函数网络对组织厚度图进行变形之后, 原来的参数采样网格发生扭曲, 为了与基准图对应像素进行操作, 需要对变形后的组织厚度图进行重新采样, 新采样点位置的厚度 $d_{i,j}$ 由其周围变形后的网格顶点的厚度 $d_{i,j}^k$ 平均得到。

[0040] 对所有组织厚度图都进行相应的配准之后, 就可以由下式计算通用组织厚度定义,

$$[0041] d_{r,z}^g = \frac{1}{N_{TN}} \sum_{k=1}^{N_{TM}} d_{r,z}^k ,$$

[0042] 其中 $d_{r,z}^g$ 是通用组织图对应像素 $(r_s \times \theta^g, z^g)$ 的深度, N_{TM} 是当前类中样本的个数, $d_{r,z}^k$ 是第 k 张组织图在像素位置 $(r_s \times \theta^k, z^k)$ 的深度。使用相同的计算可以从 CT 数据中获取和通用组织图对应的骨骼展开图。

[0043] 通过上述步骤, 我们可以得到一组参数对应的人脸软组织形态的定义。

[0044] 2、颅骨特征点集的自动提取

[0045] 为了较好地配准面部软组织图, 通常需要比较稠密的面部特征点集, 如果该特征点集完全由手工标注, 不仅非常乏味, 还有在标注大量特征点的过程中可能出现各种错误。我们提出了一个基于网格细分的特征点集定义方式。首先在源和目标深度图上定义对应的面部特征集合, 这需要手工在两幅图上确定大约 20 个点对, 然后使用 Delaunay 三角剖分, 根据这些定义的特征点生成对应的特征网格。通过在源和目标特征网格上进行相同的三角形细分, 就可以在两个深度图上得到越来越多的特征点。在每次细分中, 如果当前的特征网格中包含三角形的个数为 m , 那么一次细分就可以得到 m 个特征点。对于当前网格中的三角形 $v_1v_2v_3$, 对应细分添加的顶点 v 定义为,

$$[0046] v = b_1v_1 + b_2v_2 + b_3v_3, (0 < b_i < 1)$$

[0047] 其中 b_1, b_2 和 b_3 是三角形内部的 Barycentric 坐标, 它们都位于 $[0, 1]$ 区间中。对于每一次细分获取的特征点集都会加入训练数据去生成新的径向基函数网络, 计算新的径向基函数网络生成的变形图像和目标图像之间的误差, 如果误差小于一个阈值, 就停止细分, 使用当前的特征集作为网络的训练数据, 否则继续细分特征网格。误差定义如下,

$$[0048] e = \sum_i^{N_x} \sum_j^{N_z} \left| d_y^{s'} - d_y^t \right|,$$

[0049] 其中 $d_y^{s'}$ 是变形后源图像中像素对应的深度值, d_y^t 是目标深度图中对应像素的深度值。

[0050] 我们把全局重建定义为面部软组织层和未知骨骼的覆盖。其中需要进行组织的精确配准, 该配准通过对骨骼深度图中的特征点集控制。变形后的软组织图中的特征分布和未知头骨上的特征一致。使用未知头骨和参照头骨上的特征点集训练软组织图的变形和配准。通过组织厚度的叠加就可以得到和未知头部对应的面部点云。

[0051] 3、基于人种的颅面结构形分类, 从底层的骨骼局部测量估计出人脸上器官形态

[0052] 人体解剖学和遗传学规律是颅面复原技术的科学理论根据 : 颅面复原是根据人的头骨自身的形态结构信息来推断恢复出死者生前的面貌, 因此人的形体结构规律和人的发育规律是这项技术的依据之一。由共性和个性两个方面来体现 : 一是人的形态有共性规律, 如人的头部骨骼和软组织的结构及生长发育是有规律的, 人人一致。颅骨是人面貌特征构成的框架核心, 起主要决定作用, 五官和其它软组织附着在颅骨的相应部位上, 形态结构方面的观察结果和测量数据值都在一定范围内。成年人颅骨形态恒定, 人头部的软组织厚度, 除颊部软组织个人胖瘦变化较大外, 其余部位较恒定, 个人之间差异也较小。二是人的形态有个性规律, 人因种族、年龄、性别、形态结构不同, 虽存在个体上的形态差异, 但又可以回到共性规律当中去认识, 如人的人种、年龄、性别差异, 在颅骨上反映的特点是相同的。人的颅骨结构和软组织生长变化有个人特点, 构成独立个性, 但这种形态差异因其受颅骨的形体结构的影响和制约, 形成相应的结构关系, 这种结构关系是有规律的, 也就是说什么样的骨骼框架就产生什么样的人的脸型和五官, 如鹰钩鼻特征的人有着对应的鼻骨、梨状孔等骨骼特征。因此从人的形态结构上的共性和个性辩证规律的认识过程中, 可以根据颅骨上任何部位的形体结构特点推断与其对应部位软组织的面貌形状, 从而达到推断整个颅骨的软组织面貌形态特点的目的。

[0053] 为了使重建的人脸几何特征个性化, 在重构系统的高层模型中, 使用径向基函数网络 (RBF) 从底层的骨骼局部测量估计出人脸上器官形态。局部的人脸形状特征使用深度图定义, 并通过 PCA 技术建立形状子空间。

[0054] 在 CT 数据获取的人脸和头骨深度图中, 局部特征可以使用一个多变形区域表示。在多变性区域中的采样点深度构成向量可表示局部特征 :

[0055]

$$D_{\{f,s\}}^{\text{reg}} = (\theta_1, \varphi_1, d(\theta_1, \varphi_1), \dots, \theta_{n^{\text{reg}}}, \varphi_{n^{\text{reg}}}, d(\theta_{n^{\text{reg}}}, \varphi_{n^{\text{reg}}})),$$

[0056] 其中 $d(\theta_i, \varphi_i)$ 是采样点 (θ_i, φ_i) 对应的深度, n^{reg} 是采样点的个数。 $\text{reg} = \text{eye}, \text{nose}, \text{mouth}$ 。我们需要确定深度图中的特征对应, 一个改进的 ICP 算法用于确定局部特征图中的对应。

[0057]

$$E^{\text{reg}}(H_{\theta_i, \varphi_i}) = \sum_{(\theta_i, \varphi_i) \in \text{reg}} \left| d_0(\theta_i, \varphi_i) - d(H_{\theta_i, \varphi_i} \cdot (\theta_i, \varphi_i, 1)) \right|^2,$$

[0058] 其中 $d(H_{\theta_i, \varphi_i} \cdot (\theta_i, \varphi_i, 1))$ 变换后的点 $H_{\theta_i, \varphi_i} \cdot (\theta_i, \varphi_i, 1)$ 在新的深度图中的深度。 d_0 是模板特征图中的深度定义函数。 H_{θ_i, φ_i} 是一个 2×3 的变换矩阵。我们使用 L-BFGS-B 算法求解这个大

规模的非线性优化问题,得到在每个采样点上的变换矩阵 $H_{\theta_{\{f,s\}}}$ 。局部区域的维数是 $3 \times n^{reg}$ 相对较高。我们采用主元分析方法进行降维。

$$[0059] D_{\{f,s\}}^{reg} = \bar{D}_{\{f,s\}}^{reg} + W_{\{f,s\}}^{reg} \cdot U_{\{f,s\}}^{reg},$$

[0060] $\bar{D}_{\{f,s\}}^{reg}$ 是局部特征的深度均值。 $U_{\{f,s\}}^{reg}$ 是对应的特征向量。降维后,局部特征的深度图 $D_{\{f,s\}}^{reg} \in \mathbb{R}^{K_{\{f,s\}}}$ 有一个对应的低维向量 $W_{\{f,s\}}^{reg} \in \mathbb{R}^{k_{\{f,s\}}}$ ($k_{\{f,s\}} < K_{\{f,s\}}$)。新的局部器官的深度图可以使用主元 $U_{\{f,s\}}^{reg}$ 的线性组合得到。

[0061] 我们从一组 CT 数据中获取的深度图中,学习局部器官形态在颅骨和人脸表层的映射函数。这里使用 RBF 回归函数

$$[0062] y_i = f(x_i) = \sum_{j=1}^q \alpha_j \ker(x_i, \mu_j),$$

[0063] 已有的颅骨和人脸局部特征定义被用于学习回归系数和核函数中心,我们使用薄板样条函数作为核函数。

$$[0064] \ker(x_i, \mu_j) = (x_i - \mu_j)^2 \log |x_i - \mu_j|.$$

[0065] 通过最小化能量函数 $C = \sum (y_i - f(x_i))^2 + \lambda \sum_{j=1}^q \alpha_j^2$ 就可以求解 RBF 回归函数中的参数。通过学习得到颅骨和人脸上局部器官的特征映射,给定颅骨上局部器官的形态定义,就可以通过映射函数得到对应在脸上形态的特征定义。

[0066] 4、三维颅面重建

[0067] 对于待复原颅面的头骨,将其参数化到二维平面上,分析其厚度分布特性,寻找近似的组织厚度分布模型,以及针对特定骨骼的面部局部特征形状训练径向基函数网络实现输入头骨形态和通用软组织厚度分布图之间的变换,将变换后的组织厚度图叠加到输入头骨上,使用二维深度图像图像相加就完成输入骨骼的三维颅面重建。

[0068] 系统对新输入的颅骨使用三维扫描仪获取其表面几何数据,并采用与通用组织图相同的分辨率对其进行重采样,使用输入头骨上和通用头骨对应的特征点集作为训练数据学习径向基函数网络控制通用组织图的变形,以得到和目标头骨对应的组织厚度图。为了保证和组织图具有同源的采样定义,对通用骨骼展开图也应用相同的网络进行变形。把变形后的组织厚度图和颅骨展开图迭加就得到了与目标头骨对应的人脸模型的深度定义。

[0069] 使用通用颅骨展开图和新输入颅骨展开图中的特征点集作为径向基函数网络的训练数据,在颅骨训练数据中添加了第三维,即深度维控制通用头骨的变形,其特征点集定义为,

$$[0070] P_{lm}^k = \{p_{lm}^k(r_s \times \theta_{lm}^k, z_{lm}^k, d_{lm}^k)\},$$

[0071] 首先计算径向基函数网络的权重矩阵 w_i ,如果用于训练的特征点集的数量是 N ,那么我们可以得到一个 $W_{3 \times N}$ 的权重矩阵,同时得到对应圆柱展开坐标中的径向和轴向两维的子矩阵 $W_{[2 \times N]}$,由于通用组织厚度在变形过程中保持不变,只需要配准面部特征,因而使用权矩阵 $W_{[2 \times N]}$ 计算目标组织厚度图;而对于头骨则使用 $W_{3 \times N}$,即包含深度维信息,这样才可使得变形后的通用头骨模型和目标头骨模型几何相似。

$$[0072] P'_{skull} = W_{3 \times N} H(P_{skull}^g),$$

[0073] 其中 P'_{skull} 是变形后和目标头骨形状近似的展开图像素集, P_{skull}^g 是通用头骨展开图的像素集合。

$$[0074] P'_{tissue} = W_{2 \times N} H(P_{tissue}^g),$$

[0075] 其中 P'_{tissue} 是目标组织厚度展开图像素集合 $(r^k \times \theta^k, z^k)$, P^k_{tissue} 是通用组织展开图像素集合。

[0076] 获取通用组织和骨骼的变形结果后,通过简单的图像像素叠加就可以得到对应目标头骨的深度展开图,同时获取其三维模型。

[0077] $P_{face} = P_{skull} + P_{tissue}$,

[0078] 其中 $P_x = \{p_x^i(r_x^i, z_x^i, d_x^i) | (X = face, skull, tissue)\}$ 定义为人脸, 颅骨或组织的深度展开图的像素集合, 其像素坐标包含圆柱径向、轴向坐标以及对应的深度。

[0079] 为了使重建结果更加个性化, 系统允许对重建结果进行交互的局部变形, 由用户指定局部区域并定义该区域形状的控制点集, 通过该点集训练径向基函数网络实现三维人脸模型局部变形。

[0080] 三维模型上的区域定义为彼此连通的顶点集合 P^i , 为了实现变形控制, 需要指定控制该区域形状的控制点集 C^i_r ($C^i_r \subseteq P^i$) , 具体描述如下:

[0081] (a) $P^i_r = \{p_k\}$: 定义为第 i 个区域的点集, 该点集是区域变形中所有可能受到影响的网格表面顶点;

[0082] (b) $B^i_r = \{b_k\}$: 定义为区域的边界顶点, 其在采样展开图的八邻域中至少包含一顶点不在当前区域 P^i_r 中;

[0083] (c) $C^i_r = \{c_k\}$: 区域 i 的形状控制点集, 该点集可以通过手工交互给出, 对于特征明显部分, 可以通过启发原则自动搜索得到特征点, 例如对于鼻子, 鼻尖点对应于姿态校准后头部模型最前方的点。

[0084] 使用区域控制点集以及边界点集训练径向基函数网络, 用以控制局部区域的变形。训练数据的输入是变形前的控制点集和边界点集的并集 $P_{in} = C^i_r \cup B^i_r$, 训练数据的输出为变形后的控制点集与边界点集的并集 $P_{out} = C^i_r' \cup B^i_r$, 保持边界在变形前后不变, 这样强制把变形限制在一个局部区域。这里考虑控制点集在变形前后位置的仿射变换, 加上由多项式 p_i 的线性组合表示旋转、平移、缩放等变换,

[0085]

$$p_{out}^j = F(p_{in}^j) = \sum_{i=1}^N w_i \phi(\|p_{in}^j - p_{in}^i\|) + \sum_{i=1}^K d_i p_i(p_{in}^j)$$

[0086] 对于局部变形的初始状态 D_0 和终止状态 D_1 之间的形状可以通过插值得到, 本系统中采用线性插值获取其中间状态。设置插值参数 c ($c \in [0, 1]$), 对于初始状态 $c = 0$, 对于终止状态 $c = 1$, 其中间状态 D_t 由下式计算得到。

[0087] $D_t = D_0 + c(D_1 - D_0)$ 。

[0088] 5、面部纹理映射

[0089] 为了使重建的模型绘制后具有更强的真实感, 系统中添加了必要的面部纹理, 我们使用正交照片合成面部完整的纹理图。其中两张照片分别从人脸的正前方和侧面拍摄, 其中相机不需要进行标定, 通过特征点的选取计算几何模型对应的纹理坐标。对于侧面照片使用镜像获取其对称的另外一侧, 对接缝做平滑处理后获取一张完整的面部纹理图。需要计算几何模型顶点在纹理图中的对应的纹理坐标, 通过特征对应将几何模型的二维展开图映射到对应的纹理图上。使用手工交互选取纹理图上的特征点 M_t , 对于几何模型展开图中特征点 M_g 可以通过图像轮廓提取技术辅助进行。

[0090] 建立特征点控制下的模型深度图 P_d 和对应的纹理图 P_t 之间的映射就转化为寻找合适的插值算子 F 的过程, 其中 $P_t = F(P_d)$ 。该插值算子需要满足特征点的约束条件 $M_t = F(M_d)$ 。我们使用径向基函数作为插值函数, 其中基函数选取哈代多二次函数。

[0091] 我们提出了基于二维面部软组织厚度图的颅面重建技术, 通过圆柱投影将三维模型参数化到二维平面, 提取完整的面部软组织层, 使用图像中的按像素叠加操作实现了基于颅骨人脸模型重建。利用径向基函数网络控制不同源的骨骼以及组织的变形获取与输入头骨对应的组织厚度, 然后通过简单的叠加得到和输入头骨对应的人脸模型。系统允许对生成的人脸模型进行局部变形操作, 并构造了局部器官形状在头骨和人脸之间的映射函数, 用于生成个性化的人脸模型。

[0092] 利用本发明的方法, 可以快速有效地对未知头骨进行三维颅面重建; 采用了从 CT 训练数据中获取的面部软组织厚度定义; 对输入颅骨形态进行分析, 引入了特征点集的自动获取算法, 并基于径向基函数网络把训练库中的软组织形态变换成为和输入颅骨一致的形态, 通过二位参数平面上的厚度叠加获取重建的三维人脸形态; 并且给出局部形态编辑以及局部特征了颅骨和人脸之间的映射函数, 可以计算个性化的面部形态。同传统算法相比, 能够有效克服了传统方法中的重建细节缺失, 缺乏个性化特征的问题。

[0093] 以上实施方式仅用于说明本发明, 而并非对本发明的限制, 有关技术领域的普通技术人员, 在不脱离本发明的精神和范围的情况下, 还可以做出各种变化和变型, 因此所有等同的技术方案也属于本发明的范畴, 本发明的专利保护范围应由权利要求限定。

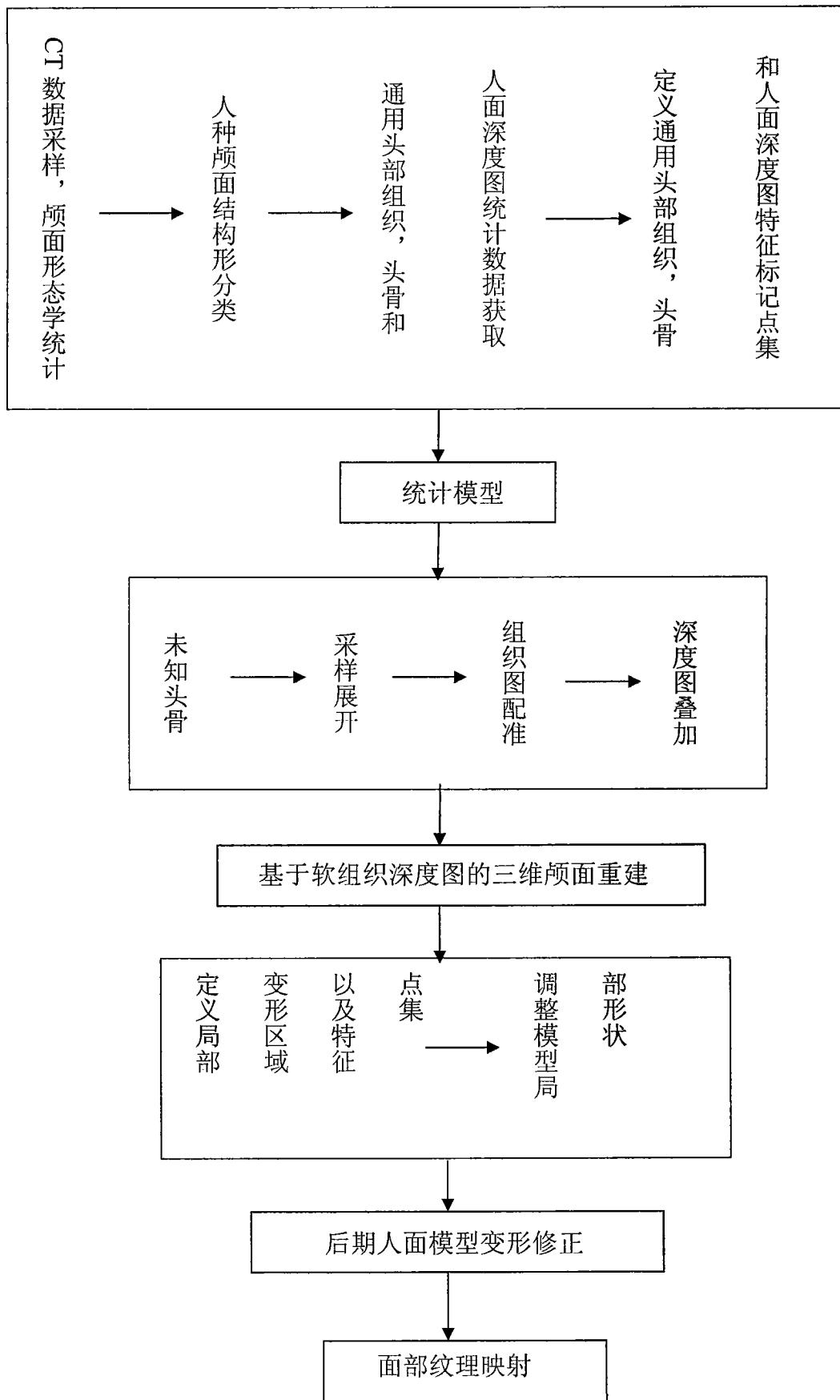


图 1

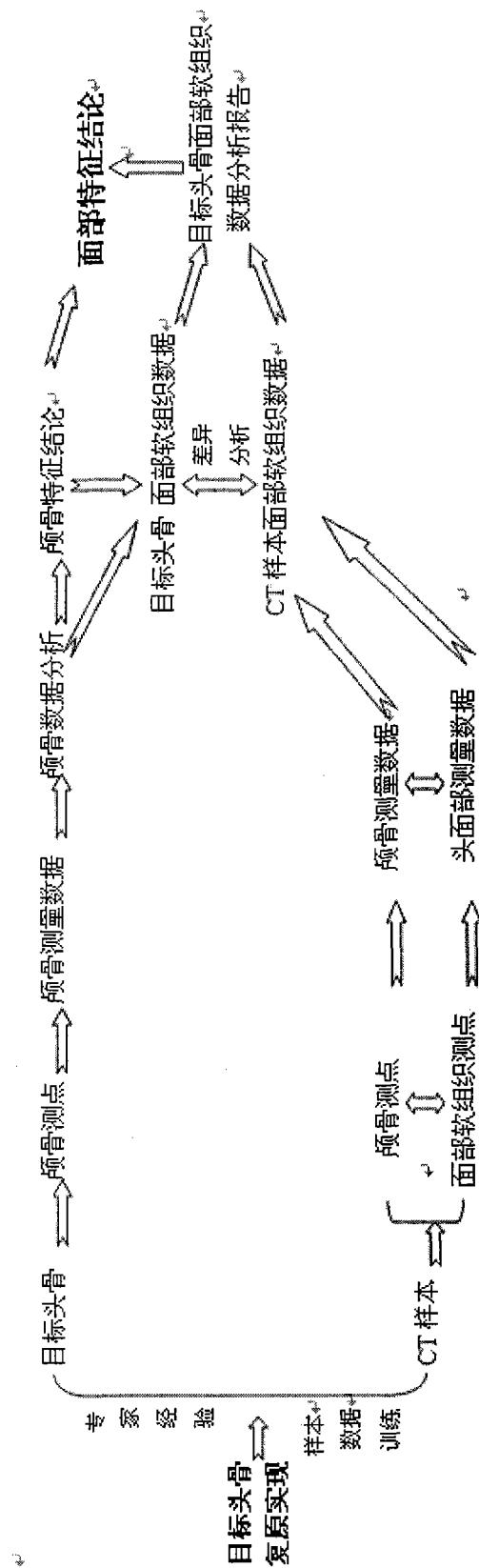


图 2