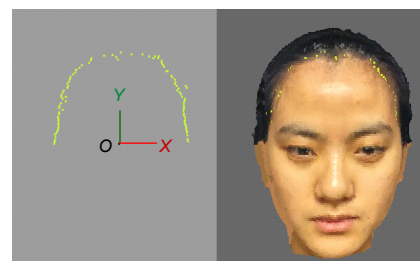




基于人体头部彩色点云模型的 三维发际线提取

高丽盼, 葛宝臻*

天津大学精密仪器与光电子工程学院光电信息技术科学教育部重点实验室, 天津 300072



摘要: 发际线是人体头部的一个重要特征, 发际线的提取在面部感知应用系统、人体工效学、整形外科学等方面都具有很重要的研究意义和应用价值。基于人体头部的彩色点云模型, 提出了直接提取三维发际线的方法, 根据人体面貌特征建立人脸局部坐标系, 并将点云模型转换到该坐标系下; 基于发际线处 *rgb* 值突变的特性, 对点云模型分层、排序, 提取出头部深色部位的边界线点; 基于人脸先验知识去噪, 得到发际线点, 并拟合得发际线。对多个真实的人体头部三维彩色点云模型进行实验, 验证了所提方法的有效性。

关键词: 发际线; 分层; 排序; 彩色点云模型

中图分类号: TN391

文献标志码: A

Three-dimensional hairline extracting based on the color point cloud of human head

Lipan Gao and Baozhen Ge*

Key Laboratory of Opto-electronic Information Technology, Ministry of Education, School of Precision Instrument and Opto-Electronics Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China

Abstract: The hairline is an important feature of human head. Hairline extraction has great research significance and application value in face perception systems, ergonomics, plastic surgery, etc. A direct hairline extraction method, which uses 3D head color point cloud, is proposed. First, the point cloud is transformed to a face coordinate system based on human facial features. Second, extract the boundary points of the dark parts through layering and sorting on the basis of the *rgb* values' mutation near the hairline. Last, filter out noise points among the boundary points according to prior knowledge about human face, and fit the hairline with de-noised boundary points. Actual 3D head color point clouds are used to prove the effectiveness of proposed method.

Keywords: hairline; layering; sorting; color point cloud

DOI: 10.3969/j.issn.1003-501X.2017.05.010

Citation: *Opto-Elec Eng*, 2017, 44(5): 539-547

1 引言

发际线是人体头部的一个重要特征, 发际线的提取在面部感知应用系统、人体工效学、逆向工程、整

形外科学等方面具有很重要的研究意义和应用价值。在 3D 影视、换装游戏等方面, 三维的虚拟头发是热门之一, 通过提取三维发际线, 可使三维虚拟头发的仿真效果更加逼真^[1]; 在假发生产销售领域, 通过发际线的三维提取, 可以实现发套私人定制; 整形外科学中, 发际线的提取有助于发际线调整方案的确定,

收稿日期: 2017-03-10; 收到修改稿日期: 2017-04-18

*E-mail: gebz@tju.edu.cn

基于三维点云模型,患者可以预先查看调整前后的发际线变化,向医生提出自己的意见,医生也可以通过比较原发际线 and 设计发际线的位置、形状,测算发际线的受区面积,计算出毛囊需求量^[2],从而判断该手术的难易程度,并制定出合理的手术方案。同时,将彩色头部点云模型保存在数据库中,实现数据共享,更容易获得不同种族人群的大量数据。通过提取三维发际线,对发际线定性定量分析,可获得更多更具体的发际线特性,对面部感知、人体工效学等具有很大的研究意义。

基于三维模型提取人脸特征^[3-5]的研究主要集中在对人脸特征点和局部特征区域的提取,对发际线等特征线提取的研究较少,且基本都是基于二维图像的,常见的方法有基于人脸先验知识和利用肤色模型或彩色 snake 模型的提取方法^[6-9]。二维发际线能定性描述发际线的特征,不能定量计算,只包含了发际线左右的宽度和上下的高度信息,需特定处理才可能得到前后的深度信息,主要适用于真实感的三维人脸建模、二维人脸识别及跟踪等。

基于三维彩色点云模型,提出一种直接提取三维发际线的方法。利用彩色点云模型中发际线附近 *rgb* 值变化大的特性,基于人体面貌特征,通过逐层排序分析法提取发际线点,并拟合得到发际线。与基于二维图像提取的发际线进行比较,分析了提取效果的准确性。针对多个真实的彩色点云模型,进行了直接提取三维发际线的实验,验证了所提方法的有效性和稳定性。

2 三维发际线提取

2.1 人脸局部坐标系

三维点云模型由物体表面的三维点构成,即为物体表面点在同一坐标系下的三维坐标表示,可用视频设备显示。对于实体的点云模型可以通过激光三维扫描仪等三维成像设备获得。当所用设备不同,定义的世界坐标系不同,或物体的姿态不同,得到的点云模型在坐标系中的位置也不同。

为了统一基准,需重新建立一个新的人脸局部坐标系,并将点云模型转换到该坐标系下,使得当人脸局部坐标系与大地坐标系重合时,人体头部的点云模型处于正视前方的方位。在头部点云模型中,使其正视前方,提取在同一水平面且非共线的三点,以此为基准点可建立人脸局部坐标系。

根据人体面貌特征,当人体头部正视前方时,左右耳的至高点与眉间点基本处于同一水平面。如图 1 所示,以左右耳的至高点的临近点 P_1 、 P_2 及眉间点 P_3 为基准^[10],建立人脸局部坐标系。

1) 连接 P_2P_1 , 记为 X 轴,以头部点云模型的左方为正方向;

2) 由 P_3 向 P_1P_2 作垂线,垂点为坐标系原点 O ,并记直线 OP_3 为 Z 轴,以头部点云模型的前方为正方向;

3) 依据右手坐标系法则,判定 Y 轴,以头部点云模型的上方为正方向。

新建立的人脸局部坐标系和原坐标系是不重合的,通过坐标系的平移和旋转,得到人脸局部坐标系下的头部点云模型。

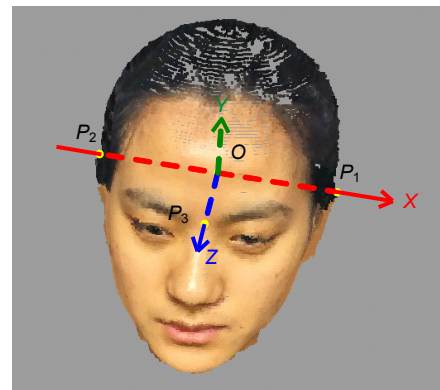


图 1 人脸局部坐标系的建立示意图。

Fig. 1 Schematic diagram of establishing facial coordinate system.

2.2 三维发际线提取

据相关调查,中国人的容貌主要具有以下几个特征:肤色中等,呈浅黄/棕黄色;毛发较黑且硬直;眼色多呈深褐色。由此可见,发色、眼色比肤色的颜色深,且在边界处颜色发生突变,即 *rgb* 值突变。因此,可以基于头部的彩色点云模型,提取出头部 *rgb* 值突变的部分,即头部深色部位的边界,主要包含了发际线、眉毛及眼球部位的边界;再根据人脸先验知识,将眉毛及眼球部位的边界去掉,即为发际线。

图 2 为三维发际线提取算法的流程图。针对人脸局部坐标系中的头部彩色点云模型,计算各点的灰度值 G ,提取出头部深色部位的点云;对深色部位的点云按照竖直方向分层,并按照水平方向排序;对每一层的点云,分别计算各个相邻点之间的 X 坐标差值,提取出深色部位点云的边界点;根据鼻尖在人脸正面

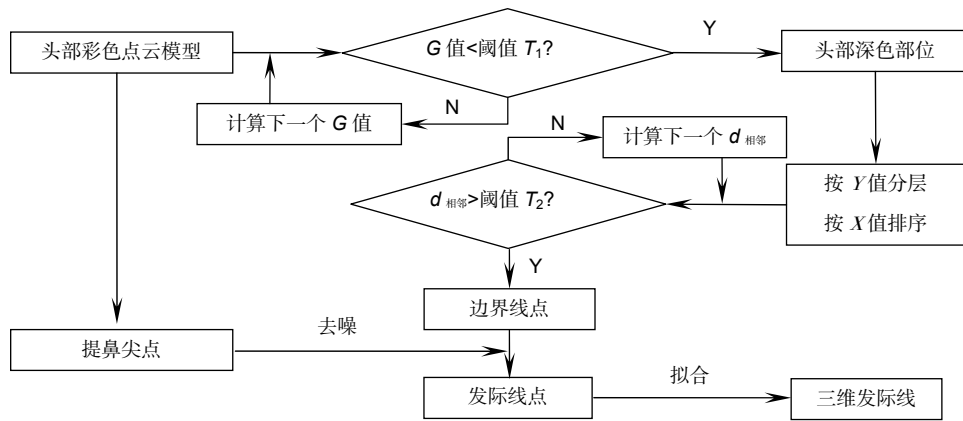


图2 发际线提取算法。

Fig. 2 The method of extracting hairline.

最前方的特性，提取鼻尖点；基于鼻尖点和人脸先验知识去除噪声点，得到发际线点；拟合发际线点得到三维发际线。

2.2.1 提取深色部位

在头部彩色点云模型中，主要存在发色和肤色两个颜色类，可根据灰度特性自适应地分割出这两个类。最常用的自适应阈值分割法是 Otsu 算法^[11,12]，先对点云模型生成灰度直方图，再对直方图搜索计算类间方差最大值，相应的灰度值即为点云模型的最优灰度阈值 T_1 。利用发色比肤色深的特性，选出点云模型中所有灰度值小于灰度阈值 T_1 的点，即提取出深色部位，主要包括头盖、眉毛及眼球等部位。其中，各点的灰度值由平均值法计算得到，即：

$$G = (r + g + b) / 3, \quad (1)$$

式中： G 为灰度值， (r, g, b) 为该点的颜色值。

2.2.2 提取边界线点

对提取出的深色部位按照 Y 值分层，如图 3 所示，共分成 n 层。对每一层的点云按照 X 值从小到大依次排序，图 4 是对第 i 层的 m 个点进行排序的示意图。从图中可以看出，大多数相邻点之间的 X 值差值 d 都很小，只有点 j 与 $(j+1)$ 之间的差值 d_{j+1} 比较大，而且点 j 与 $(j+1)$ 正是边界处的点。据此，计算各个相邻点之间的 X 差值，若差值超过一定阈值 T_2 ，即可认为这两个点均为深色部位的边界线点。

2.2.3 提取发际线点

众所周知，鼻尖在人脸正面的最前方，即在人脸局部坐标系中，鼻尖点的 Z 值最大。相对于发际线的相同高度，眉毛、眼球的位置要靠前。先提取出鼻尖点，以鼻尖点为基准，根据人脸尺寸的统计值^[13,14]，将提取出的眉毛、眼球部分去除，得到发际线点。

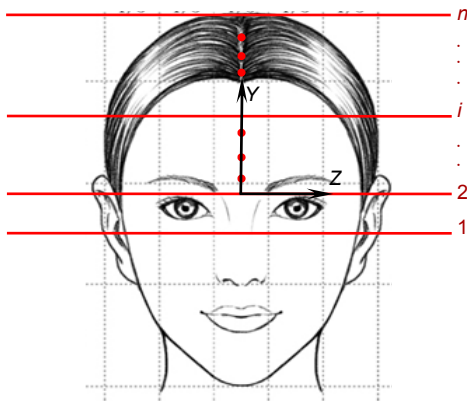


图3 按照 Y 值分层的示意图。

Fig. 3 Schematic diagram of layering based on the Y value.

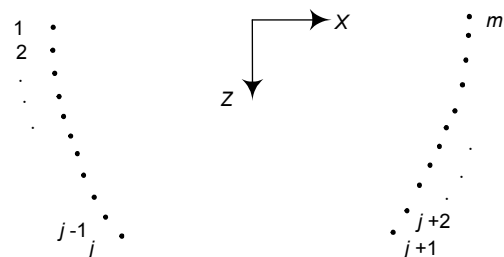
图4 对 i 层点云按照 X 值排序的示意图。

Fig. 4 Schematic diagram of sorting based on the X value.

2.2.4 拟合发际线

提取到的发际线点往往会由于模型或算法的缺陷,出现数据冗余的情况,这样,计算效率不高,甚至误差较大。因此,在保留发际线点原有特征的基础上,需先对发际线点精简,再进行拟合。借鉴传统的包围盒法^[15],用一定大小的空间包围盒约束点云,对分布在每个包围盒中的所有点数据求各方向的坐标平均值,并代替整个包围盒中的点数据,即取包围盒中所有点的质心点。

对精简后的发际线点利用三次 B 样条曲线^[16,17]拟合,得到发际线。

3 实验结果与分析

实验中利用实验室自行研制的激光三维扫描仪获得三维彩色人体头部点云模型。激光三维扫描仪包含三维系统、彩色系统两个独立的系统,如图 5 所示。

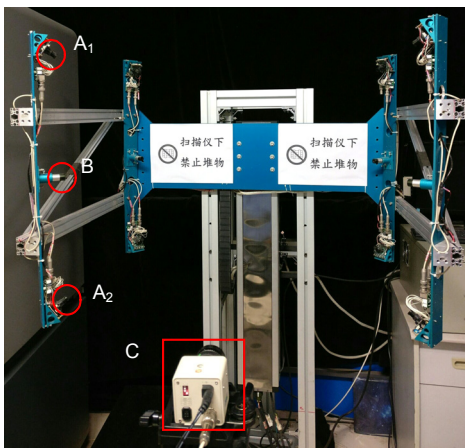


图 5 激光三维扫描仪.
Fig. 5 3D laser scanning.

A_1 、 A_2 为两个黑白 CCD, B 为线激光器, C 为彩色 CCD。其中,三维系统基于激光三角法,采用一维垂直运动导轨带动扫描模块(包括激光器和黑白 CCD)上下移动的方式进行扫描,经数据处理模块,获得人体头部的三维坐标信息;彩色系统则由彩色 CCD 获得人体头部的二维彩色图像,即彩色信息。利用事先标定好的三维坐标与二维彩色图像的映射关系,得到三维彩色点云模型。该扫描仪获得的点云模型为稠密点云模型, X、Z 方向的分辨率约 1 mm, Y 方向分辨率约 2 mm。

图 6 是采用图 5 所示的扫描仪获取的实际人体头部的彩色点云模型,图 6(a)、图 6(b)、图 6(c)依次为从左前、正前及右前三个角度看到的视图。

借助实验室开发的点云数据处理软件及 Geomagic 商业软件,对点云模型进行数据简化压缩、去噪、孔洞填充等预处理,得到光滑的头部彩色点云模型。

以所获取的点云模型为例说明整个提取过程。建立人脸局部坐标系,并将点云模型转换到新坐标系下,如图 7 所示,图 7(a)为点云模型在原始坐标系 $X_0 Y_0 Z_0$ 中的位置,图 7(b)为点云模型在新坐标系 $XYZ-O$ 中的位置。

1) 提取深色部位:对彩色点云模型计算阈值 T_1 ,选择灰度值小于阈值 T_1 的点云,即把头盖、眉毛、眼球等颜色深的部位提取出来。阈值 T_1 代表发色与肤色的边界灰度值,选取的好坏直接影响着所提发际线的准确性,利用 Ostu 方法自适应地求解到最优阈值。对点云模型生成灰度直方图,计算类间方差最大值,得到相应的灰度值为 100,即阈值 T_1 为 100。图 8 即深色部位的提取结果,图 8(a)为灰度直方图,图 8(b)为

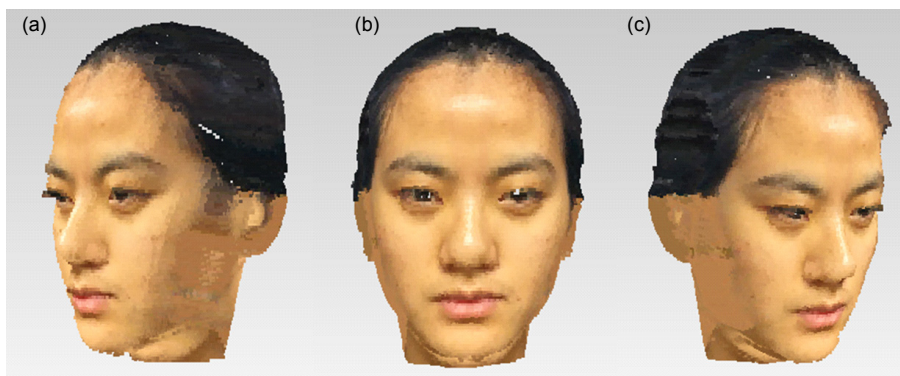


图 6 三维头部彩色点云模型。(a) 左前视图。(b) 正前视图。(c) 右前视图。
Fig. 6 3D head color point cloud model. (a) The left view. (b) The front view. (c) The right view.

深色部位提取结果图,青色部分是提取出的深色部位;

2) 点云排序: 对提取出的深色部位的点云依据 Y 值分层, 每层厚度与扫描仪在 Y 方向的分辨率一致, 并对每层的点云按 X 值从小到大排序, 如图 9 所示, 即为头盖点云在某层的分布;

3) 选择边界线点: 由图 9 可知, 在同一层上, 两

侧边界线点的水平差距比较大, 即 X 值的差值较大, 比较相邻两个点之间的 X 值变化大小, 当 X 值差值大于阈值 T_2 时, 认为这两个点均为边界线上的点。阈值 T_2 代表同一层两侧边界线点的水平距离差。根据人体面貌特征, 阈值 T_2 以 3 mm~6 mm 为佳, 数值太小会有杂散点, 数值太大则会缺失数据。针对具体模型,

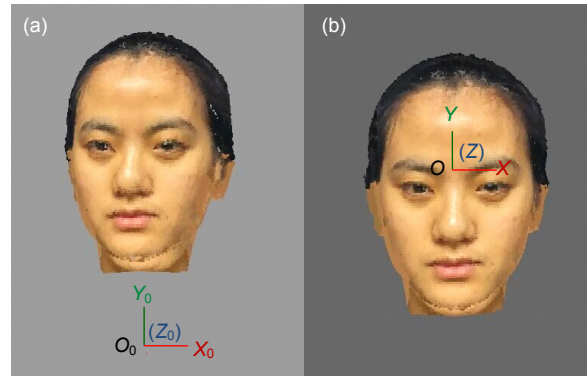


图 7 转换坐标系前后的点云模型显示. (a) $X_0Y_0Z_0-O_0$ 中的点云模型. (b) $XYZ-O$ 中的点云模型.

Fig. 7 The showing of point cloud in coordinate systems. (a) The point cloud in $X_0Y_0Z_0-O_0$. (b) The point cloud in $XYZ-O$.

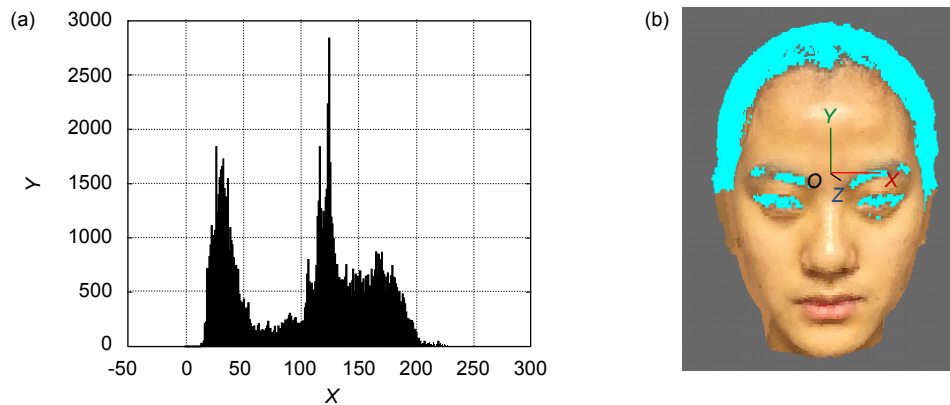


图 8 深色部位提取结果. (a) 灰度直方图. (b) 深色部位提取效果图.

Fig. 8 The extraction of the dark parts. (a) Gray-level histogram. (b) The extraction of the dark parts.

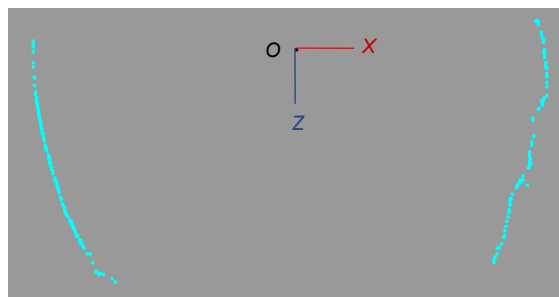


图 9 头盖点云在某层的分布.

Fig. 9 The distribution of the cranium points in certain layer.

多次实验选出最佳值。图 10 即显示了不同阈值 T_2 下,对边界线的提取结果,其中,图 10(a)、10(b)、10(c)的阈值 T_2 分别为 3 mm、4 mm、6 mm。从图中可看出,图 10(b)的提取结果最佳,既没有数据丢失,也没有过多的噪点数据,因此,本案例取阈值 T_2 为 4 mm;

4) 去除噪声:由图 10 可见,提出的边界线点中除了头盖的边界线点,还包含了眉毛、眼球部分的边

界线点。根据面貌形态学,在同一高度,眉毛、眼球部分相对发际线要靠前,根据最值点提出鼻尖点,并借助实验统计值,以鼻尖为基准利用相对位置去噪,得到发际线点,见图 11。图 11(a)为发际线点显示效果,图 11(b)为发际线点在头部模型的相对位置。

5) 拟合:利用改进的包围盒法精简发际线点,文中使用的包围盒尺寸为 8 mm×8 mm×8 mm,并用三次

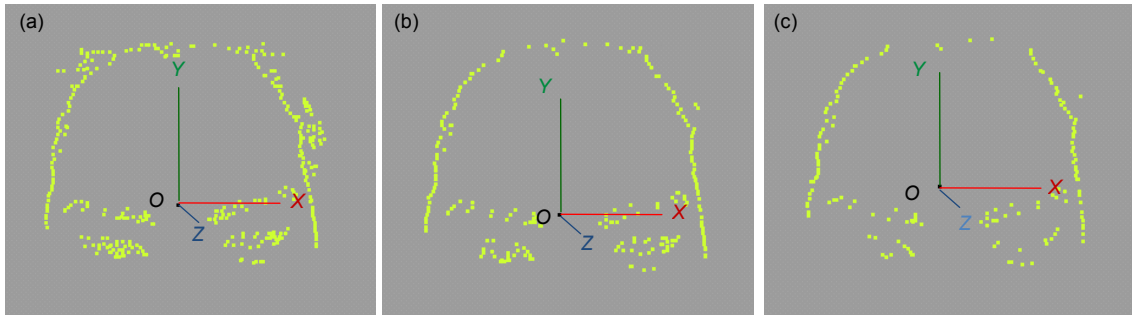


图 10 三维边界线点. (a) 阈值 T_2 为 3 mm. (b) 阈值 T_2 为 4 mm. (c) 阈值 T_2 为 6 mm.
Fig. 10 3D boundary points. (a) Threshold 2 is 3 mm. (b) Threshold 2 is 4 mm. (c) Threshold 2 is 6 mm.

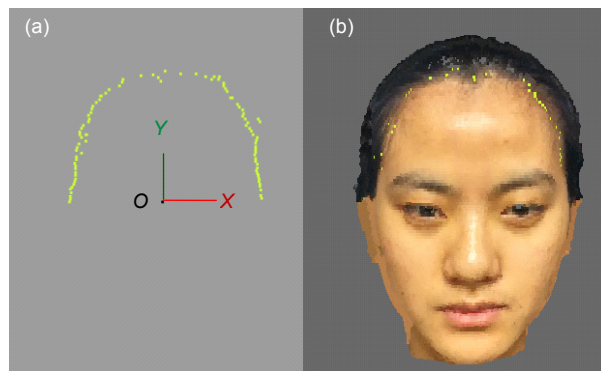


图 11 三维发际线点. (a) 发际线点显示效果. (b) 发际线点在头部模型的相对位置.
Fig. 11 3D hairline points. (a) The showing of hairline points. (b) The showing of hairline points in head cloud point.

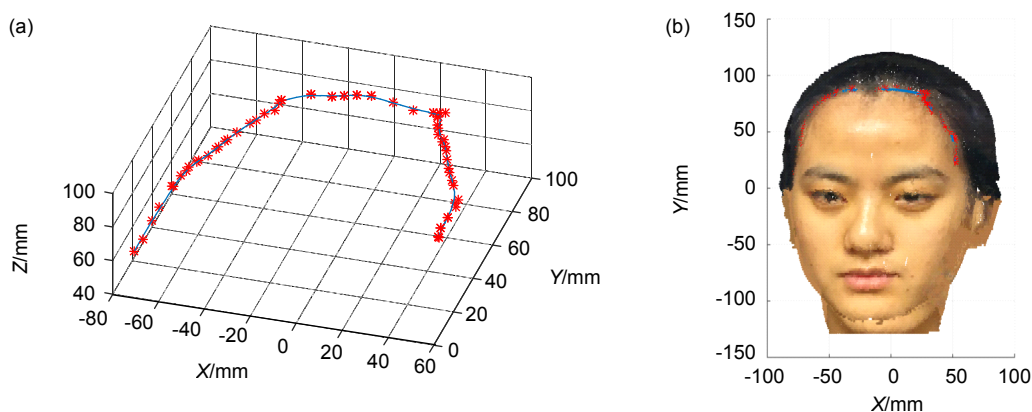


图 12 三维发际线. (a) 三维发际线的拟合效果. (b) 三维发际线在头部模型的相对位置.
Fig. 12 3D hairline. (a) The fitting of 3D hairline. (b) The showing of 3D hairline in head cloud point.

B 样条曲线拟合出发际线, 如图 12 所示。图 12(a)为三维发际线拟合效果, 图 12(b)为三维发际线在头部模型的相对位置。其中, X 、 Y 、 Z 是发际线的三维点坐标, 单位为 mm。

由图可见, 该算法提取的三维发际线比较平滑, 且在头部模型中的相对分布也基本吻合。

由于目前看到的文献关于发际线的提取方法都是基于二维图像的, 为了进行本文所提方法与已有方法的比较, 将提取出的三维发际线投影到 XY 图像平面, 得到发际线投影 hairline1。基于椭圆肤色模型^[18], 直接提取二维彩色图像的二维发际线 hairline2。图 13 为 hairline1 与 hairline2 的显示效果图, 图 13(a)为拟合的发际线结果, 实线代表发际线投影 hairline1, 虚线代表发际线 hairline2, 且 X 、 Y 为二维发际线的像素坐

标, 单位为 pixel, 图 13(b)为二维发际线在相应头部彩色照片的相对位置。

由图 13 可知, 投影得到的二维发际线与直接提取的二维发际线的整体趋势一致, 且在实际照片中的相对位置与实际相吻合, 说明提取的发际线基本准确, 所提方法有效。

利用本实验室的激光三维扫描仪, 采集得到另外三个彩色点云模型(两男一女), 并利用所提方法直接提取三维发际线。图 14、图 15、图 16 分别为模型 1、模型 2、模型 3 的三维发际线的提取结果, (a)为三维发际线拟合效果, (b)为三维发际线在头部模型的相对位置。其中, 模型 1 的阈值 T_1 为 41, 阈值 T_2 为 4 mm; 模型 2 的阈值 T_1 为 72, 阈值 T_2 为 4 mm; 模型 3 的阈值 T_1 为 72, 阈值 T_2 为 4 mm。

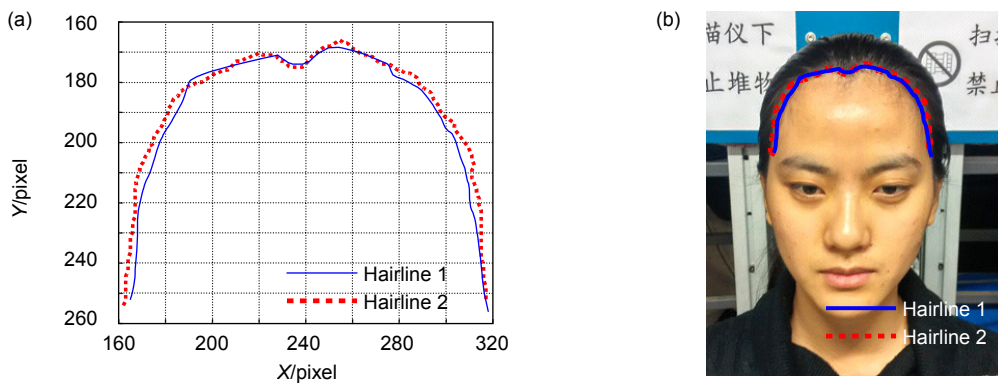


图 13 二维发际线. (a) 二维发际线的拟合效果. (b) 二维发际线在彩色照片的相对位置.
Fig. 13 2D hairline. (a) The fitting of 2D hairline. (b) The showing of 2D hairline in color picture.

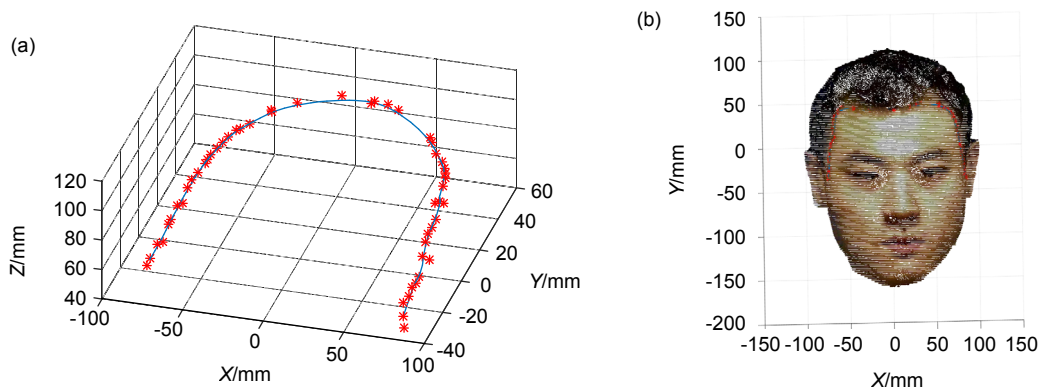


图 14 模型 1 的三维发际线. (a) 三维发际线的拟合效果. (b) 三维发际线在头部模型的相对位置.
Fig. 14 3D hairline of model 1. (a) The fitting of 3D hairline. (b) The showing of 3D hairline in head cloud point.

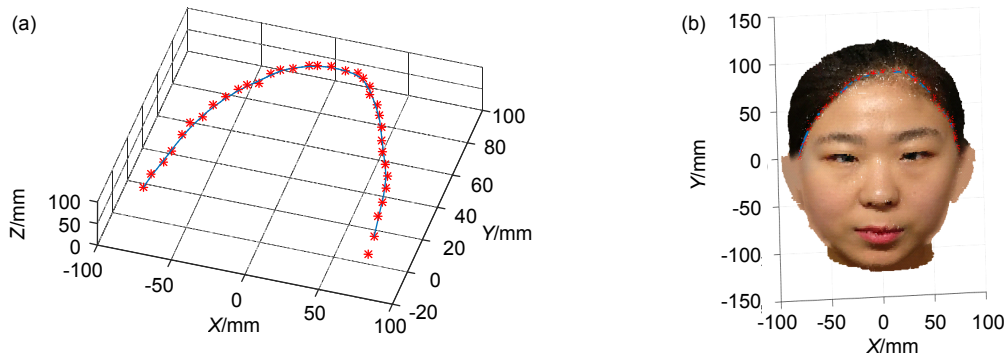


图 15 模型 2 的三维发际线. (a) 三维发际线的拟合效果. (b) 三维发际线在头部模型的相对位置.
Fig. 15 3D hairline of model 2. (a) The fitting of 3D hairline. (b) The showing of 3D hairline in head cloud point.

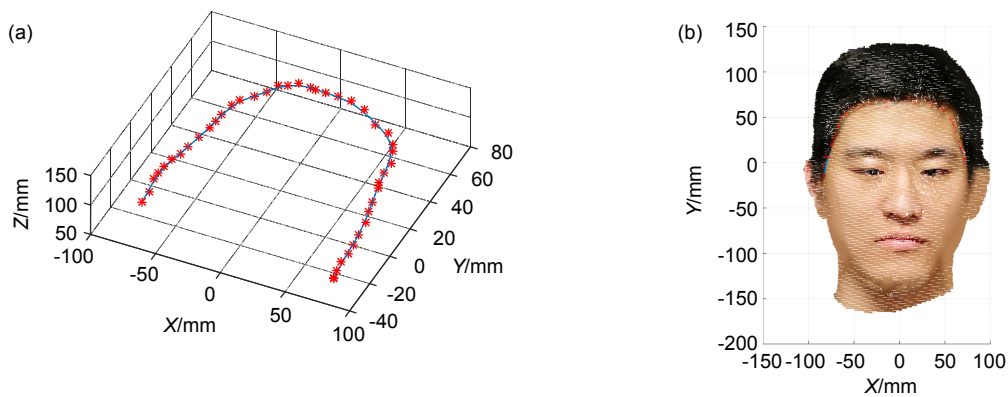


图 16 模型 3 的三维发际线. (a) 三维发际线的拟合效果. (b) 三维发际线在头部模型的相对位置.
Fig. 16 3D hairline of model 3. (a) The fitting of 3D hairline. (b) The showing of 3D hairline in head cloud point.

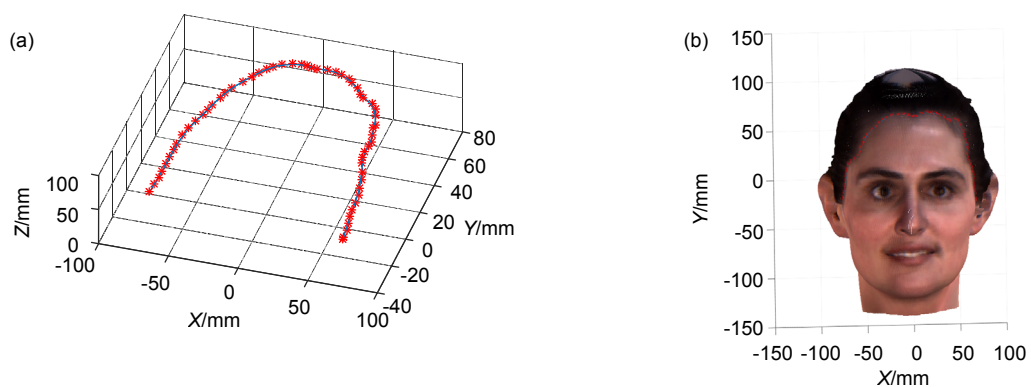


图 17 模型 4 的三维发际线. (a) 三维发际线的拟合效果. (b) 三维发际线在头部模型的相对位置.
Fig. 17 3D hairline of model 4. (a) The fitting of 3D hairline. (b) The showing of 3D hairline in head cloud point.

为了进一步验证本文所提方法的有效性和稳定性,在 Cyberware 官网下载得到开放的三维彩色点云模型^[19],记为模型 4,并利用所提方法对其直接提取三维发际线.该模型由 Cyberware 公司的 3030 彩色三

维扫描仪得到, X 、 Y 、 Z 三个方向的分辨率均约 1 mm.模型 4 的提取结果如图 17 所示,图 17(a)为三维发际线拟合效果,图 17(b)为三维发际线在头部模型的相对位置.其中,阈值 T_1 为 58, 阈值 T_2 为 4 mm.

由上面图可看出,对于不同的三维彩色点云模型,应用本文方法都能较为准确地提取出三维发际线,与头部点云模型的相对分布也基本吻合,说明所提方法稳定且有效。

4 结 论

基于人体头部彩色点云模型,提出了一种直接提取三维发际线的方法,该方法算法简单,易于实现,提取效果较平滑。根据全球人种的面貌分析^[20],绝大部分人都有发色和肤色相差较大的特点,且发色要比肤色深,利用本文的三维提取方法,可以快速准确提取出三维发际线,适用性较广。

基金项目

国家自然科学基金重点项目(61535008)。

参考文献

- Liu Haizhou. Research and application on reusability of 3D hair[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2014: 1-5.
刘海舟. 三维头发重用性的研究和应用[D]. 成都: 西南交通大学, 2014: 1-5.
- Li Penglong. The clinical effect of reengineering hairline with autologous hair transplantation[J]. *Health Way*, 2015, **14**(9): 79.
李鹏龙. 自体毛发移植再造发际线的临床效果[J]. *健康之路*, 2015, **14**(9): 79.
- Smeets D, Keustermans J, Vandermeulen D, et al. meshSIFT: Local surface features for 3D face recognition under expression variations and partial data[J]. *Computer Vision and Image Understanding*, 2013, **117**(2): 158-169.
- Lee J, Ku B, Da Silveira A C, et al. Three-dimensional analysis of facial asymmetry of healthy Hispanic Caucasian children[C]. Proceedings of the 3rd International Conference on 3D Body Scanning Technologies, Lugano, Switzerland, 2012: 133-138.
- Zou L, Hao P, McCarthy M. Establishment of reference frame for sequential facial biometrics[C]. Proceedings of the 5th International Conference on 3D Body Scanning Technologies, Lugano, Switzerland, 2014: 40-45.
- Goto T, Lee W S, Mangnemat-Thalmann N. Facial feature extraction for quick 3D face modeling[J]. *Signal Processing: Image Communication*, 2002, **17**(3): 243-259.
- Liu Gang, Shen Yehu, Hu Jingjun, et al. Face Contour Extraction Algorithm Based on Skin Luma and Depth Information[J]. *Journal of Southern Yangtze University (Natural Science Edition)*, 2006, **5**(5): 513-517.
刘岗, 沈晔湖, 胡静俊, 等. 基于肤色及深度信息的人脸轮廓提取[J]. *江南大学学报(自然科学版)*, 2006, **5**(5): 513-517.
- Xu Congdong, Luo Jiarong, Shu Shuangbao. Face recognition based on RBPNN of Mahalanobis distance map for skin color information[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2008, **35**(3): 131-135.
徐从东, 罗家融, 舒双宝. 肤色信息马氏图的 RBPNN 人脸识别[J]. *光电工程*, 2008, **35**(3): 131-135.
- Seo K H, Kim W, Oh C, et al. Face detection and facial feature extraction using color snake[C]// Proceedings of the 2002 IEEE International Symposium on Industrial Electronics, L'Aquila, Italy, 2002: 457-462.
- Othman A, El Ghoul O. A novel approach for 3D head segmentation and facial feature points extraction[C]// Proceedings of the 2013 International Conference on Electrical Engineering and Software Applications (ICEESA). Hammamet, 2013: 1-6.
- Tang Lulu, Zhang Qican, Hu Song. An improved algorithm for Canny edge detection with adaptive threshold[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2011, **38**(5): 127-132.
唐路路, 张启灿, 胡松. 一种自适应阈值的 Canny 边缘检测算法[J]. *光电工程*, 2011, **38**(5): 127-132.
- Zhu Lijun, Yuan Weiqi. An eyelash extraction method based on improved ant colony algorithm[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2016, **43**(6): 44-50.
朱立军, 苑玮琦. 一种改进蚁群算法的睫毛提取[J]. *光电工程*, 2016, **43**(6): 44-50.
- Lv Daozhong, Wan Rongchun. The research about the specificity of comprehensive measurement features on face[J]. *Journal of Jiangsu Public Security College*, 2000, **14**(2): 117-121.
吕导中, 万荣春. 人像面部综合测量特征的特异性研究[J]. *江苏公安专科学校学报*, 2000, **14**(2): 117-121.
- Horprasert T, Yacoob Y, Davis L S. Computing 3-D head orientation from a monocular image sequence[C]// Proceedings of the 2nd International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition. Killington, VT, 1996: 242-247.
- Zhang Mengze. A 3D data reduction and smoothing algorithm for point clouds[D]. Qing Dao: Ocean University of China, 2014: 18-20.
张梦泽. 三维点云数据的精简与平滑处理算法[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014: 18-20.
- Chougule V N, Mulay A V, Ahuja B B. Methodologies for development of patient specific bone models from human body CT scans[J]. *Journal of the Institution of Engineers (India): Series C*, 2016. DOI: 10.1007/s40032-016-0301-6. (in Press)
- Mittal R C, Rohila R. Numerical simulation of reaction-diffusion systems by modified cubic B-spline differential quadrature method[J]. *Chaos, Solitons & Fractals*, 2016, **92**: 9-19.
- Yuan Min, Yao Heng, Liu Jian. Dynamic gesture segmentation combining three-frame difference method and skin-color elliptic boundary model[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2016, **43**(6): 51-56.
袁敏, 姚恒, 刘攀. 结合三帧差分法和肤色椭圆模型的动态手势分割[J]. *光电工程*, 2016, **43**(6): 51-56.
- Addleman F. Cyberware: Head & Face Color 3D Samples[DB/OL]. [2015-12-02]. <http://cyberware.com/>.
- Li Hongchen, Yang XiuYan. The comparison in the characteristics of the four RACES[J]. *Biology Teaching*, 2012, **37**(5): 54.
李洪臣, 杨秀艳. 四大人种主要特征的比较[J]. *生物学教学*, 2012, **37**(5): 54.