

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2012.02.018

基于点云数据的三维人体头部分割技术研究

晏 义, 文志强

(湖南工业大学 计算机与通信学院, 湖南 株洲 412007)

摘 要: 三维人体分割技术是数字化服装、数字化人体测量、计算机动画等应用中最关键的技术, 但当前存在着分割不是很精确的缺点。针对头部分割不精确的缺点, 对基于点云数据的三维人体头部分割技术进行了研究, 提出以最大距离法和近似凸包边法定位分割特征点和分割切面, 并引入分割切面倾斜角实施头部分割。实验结果表明: 提出的分割方法提高了头部分割的实时性和精确性。

关键词: 分割切面; 点云数据; 特征点

中图分类号: TP319

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2012)02-0082-05

Segmentation Technology of 3D Human Head Based on Point Cloud Data

Yan Yi, Wen Zhiqiang

(School of Computer and Communication, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract: The segmentation of 3D human body is the most crucial technology for digital fashion, digital body measurement, computer animation and other applications, but the current segmentation is not very accurate. For the shortcomings of head segmentation, the segmentation of 3D head based on point cloud data is studied. The method of maximum distance and the method of approximate edge of convex hull are proposed to locate the feature points and the cut section. An oblique angle of cut section is introduced to segment head. The experimental results show that the proposed method improves the real time and accuracy of head segmentation.

Keywords: cut section; point cloud data; the feature points

0 引言

随着虚拟现实技术的发展和三维人体扫描技术的提高, 通过获取人体表面的点云数据来精确呈现出人体的几何特征和形状特征的技术越来越具有实用性和商业性^[1], 已被广泛应用于欧美日等发达国家的服装领域中^[2], 具有代表性的如美国的[TC]2 (textile and clothing technology corporation) 分层轮廓

测量系统、英国 Cyberware 全身扫描仪、德国 TechMath 人体扫描系统等^[3]。人体测量需借助于人体各部位的分割, 就三维人体分割中的头部与躯干分割技术来说, 有不少学者提出了各种不同的分割方法。如 A. J. Chambers 等人^[4]依据下颚角点距两个肩端点的中点间的中心位置作为分割特征点分割头部; Ju Xiangyang 等人^[5]通过切片方式完成头部的分割; Zhong Yueqi 等人^[6]通过等分人体模型分割出头

收稿日期: 2011-10-14

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61170102), 湖南省自然科学基金资助项目(11JJ3070), 湖南省科技厅科技计划基金资助项目(2011FJ3184), 湖南工业大学研究生科研创新基金资助项目(CX1002)

作者简介: 晏 义(1985-), 男, 湖南株洲人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为图形图像处理,

E-mail: yanyi0733@126.com

部; Lu J. M. 等人^[7]依据轮廓曲线的曲率大小来确定肩端点、脖根等位置; Wang C. C. L. 等人^[8]对人体点云水平切割平面的截面形状, 应用模糊规则确定拐点位置来分割头颈。较传统的头部分割方法是对颈脖附近作水平切片, 获取最小围度的切片作为分割切面。以上的分割方法或是分割位置不很精确, 不能正确呈现人体头部的几何特征, 或是分割算法的时间复杂度比较大。因此, 本研究拟针对头部分割的精确性和实时性提出相应的分割算法, 并对其与传统算法的精度和分割时间做了比较分析。

1 头部与躯干的分割

通过激光扫描人体表面采集三维数据点, 并对数据进行预处理, 在三维坐标系中重构人体模型, 如图1所示。所有三维数据点的数值在X轴、Y轴和Z轴方向上都归一化到 $[-1, +1]$ 。

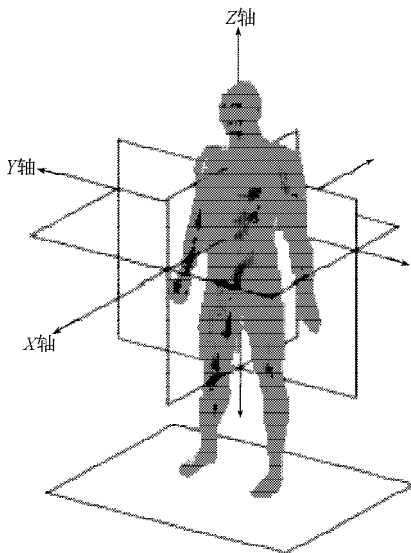


图1 三维人体模型

Fig. 1 3D human body model

设集合 S 为整个人体表面三维数据点云的集合, S_{head} , S_{down} 两个子集分别表示头部数据点集合和非头部数据点集合, 则有:

$$S_{\text{head}} \cup S_{\text{down}} = S, \quad (1)$$

$$S_{\text{head}} \cap S_{\text{down}} = \varnothing. \quad (2)$$

1.1 最大距离法定位水平分割切面

头部与躯干的分割即找出脖根与躯干处的分割切面, 该切面之上的三维数据点归属于 S_{head} 。故如何定位脖根处的分割切面是头部与躯干分割的关键, 而确定人体脖根处左右两边的特征点又是定位分割切面的关键。由于人体的肩膀、脖子和头的正面轮廓有明显的凹形特征, 因此利用这个凹形特征形成一个凸包(凸包是在一组平面上的点中含所有点的

凸多边形), 采用最凹点到凸包边的最大距离方法获取脖根处左右两边的特征分割点, 如图2所示。脖根处特征点具体定位方法步骤如下:

1) 将人体上半身(归一化的数据点的 z 值大于 0.5, 大致胸部以上)的三维数据点降维到二维, 即将 3D 数据点映射到人体正面视角的二维平面 YOZ 面上。

2) 获取人体上半身的二维轮廓数据点, 根据轮廓数据点求出轮廓凸包。

3) 根据头顶侧边点和肩端点定位脖根轮廓点范围, 扫描脖根处附近的轮廓点, 计算轮廓点到颈脖处所对应的凸包边的距离, 得到距离凸包边最大的轮廓点即为分割切面的特征点。

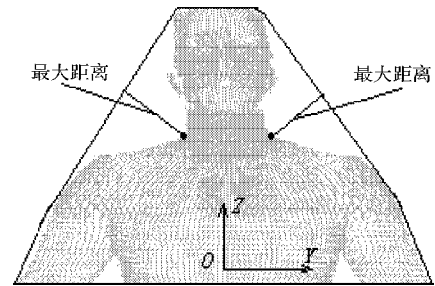


图2 最大距离法定位分割面

Fig. 2 The method of maximum distance to locate cut section

1.2 近似凸包边算法定位分割点

由于人体上半身的点云数据量比较大, 数据点数据达到 20 000, 所以必须考虑计算上半身的凸包的算法效率。比较经典的凸包算法有贾维斯步进法^[9](Jarvis“包扎”算法)、格拉翰(Graham)的基于堆栈的扫描法^[10]。用贾维斯步进法和格拉翰基于堆栈的扫描法都能求得人体上半身的凸包, 但是求凸包的过程中每个轮廓数据点都要考虑进来, 数据量太大, 会影响计算速度。而在获取凸包后还需要进一步确定颈脖处所对应的凸包边, 这样更加加重了计算的复杂程度。

为了提高计算效率, 本实验提出了近似凸包边算法, 通过直接获得所需的近似凸包边的线段来定位最大距离的分割特征点。近似凸包边算法的具体步骤如下:

1) 将人体上半身的三维数据点映射到二维平面 YOZ 上, 并求出轮廓数据点。

2) 连接同边的头顶侧边点 P 和肩端点 Q 得到线段 PQ , 连接另一边的点头顶侧边点 R 和肩端点 T 得到线段 RT , 线段 PQ 和 RT 为近似凸包边。

3) 扫描点 P 和 Q 之间的轮廓点, 找出轮廓点中距离线段 PQ 最远的点 M , 即为分割切面特征点 M ,

同理可定位另一个分割特征点 N 。

4) 连接分割特征点 M 和点 N 的直线即为头部与躯干的分割线, 如图 3 所示。

在三维空间中, 直线 MN 所在的水平切面即为头部与躯干的水平分割面。

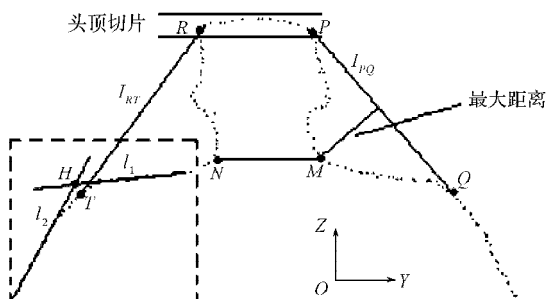


图3 近似凸包法定位特征点

Fig. 3 The method of approximate edge of convex hull to locate feature points

对于上面的方法, 关键是如何确定头顶侧边点 P 和 R 以及肩端点 Q 和 T , 本研究分别给出其定位的方法如下:

1) 头顶侧边点 P 和 R 的定位。由于人体模型三维数据点的值在 X , Y 和 Z 轴方向上都归一到 $[-1, +1]$ 范围内, 可以对头顶作厚度为 0.02 的切片, 即切片位置是位于人体高度的 $0.98 \sim 1.00$ 之间, 切片内的轮廓数据点中, y 值最小的数据点为 P 点, 最大的为 R 点, 因此, 头顶两侧边点 P 和 R 都能确定下来。

2) 肩端点 Q 和 T 的定位。先确定肩端点在轮廓数据点的大概位置, 在如图 3 所示的虚线框内。在头顶侧边点 R 的外侧范围, 可将水平方向相差较小, 即 z 值相差较小的轮廓数据点, 利用最小二乘法拟合出一条直线 l_1 , 同样可将竖直方向相差较小, 即 y 值相差较小的轮廓数据点, 拟合出一条直线 l_2 ; 直线 l_1 与直线 l_2 必会相交于点 H , 再扫描原先确定的区域 (虚线框) 内的轮廓数据点, 计算得出距离点 H 最近的轮廓数据点 T , T 点即为肩端点。同理, 可得到另外一个肩端点 Q 点。

1.3 分割切面倾斜角度

以上头部与躯干的分割切面仅仅简单地实现水平分割, 因为人体的前颈脖要低于后颈脖, 所以头部分割切面要有个倾斜度, 即前颈脖的分割位置要适当低于后颈脖分割位置。文献[6]设置前颈脖分割点低于后颈脖分割点的水平夹角为 20° , 如图 4 中图 a 所示。本研究中对分割角度的位置稍作改进, 设置前颈脖分割点位置低于颈脖中间水平夹角 20° , 后颈脖分割位置水平平行于颈脖中间的分割位置, 即依旧平行于分割特征点, 如图 4 中图 b 所示。

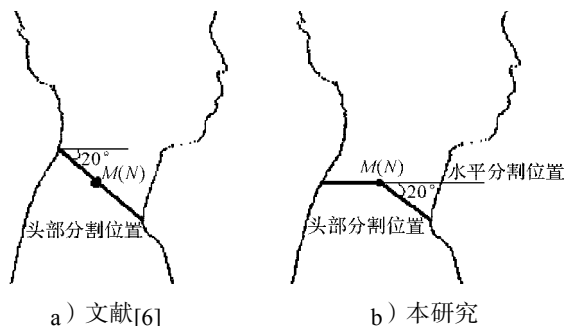


图4 分割切面倾斜角度位置

Fig. 4 The position of oblique angle of cut section

2 实验结果及其比较分析

本实验是基于 Visual Studio 2010 的 MFC 结合 OpenGL 开源库在 Windows XP 操作系统的实验环境中进行的, 用于头部与躯干分割的人体模型数据库包含男女老少、肥胖瘦弱各种不同个体体型近百个。实验测试结果表明: 所提出的分割方法能有效地将各种体型的三维人体模型精确而快速地分割出头部, 体现了其实时性和普适性。

2.1 凸包定位分割特征点时间比较

对近百个实验人体模型应用不同算法分别进行头部的分割实验。对于贾维斯步进算法和格拉翰基于堆栈的扫描算法, 如果人体上半身的数据点有 n 个, 其中 h 为生成凸包的顶点个数, 则贾维斯步进法的时间复杂度是 $O(h \times n)$, 格拉翰基于堆栈的扫描算法时间复杂度为 $O(n)$, 加上排序的过程, 整个算法复杂度是 $O(n \log n)$ 。贾维斯步进算法、格拉翰基于堆栈的扫描算法和本实验方法都能精确定位到头部与躯干的分割位置, 但形成凸包定位分割特征点的时间有较大差异。

表 1 所示为 3 种算法对分割部分人体模型实验在时间性能方面的结果比较。

从表 1 中可以看出, 在利用最大距离法定位分割特征点的凸包边获取结果一样的情况下, 本实验利用近似凸包边方法在时间上明显优于贾维斯步进算法和格拉翰基于堆栈的扫描算法, 本实验方法时间不到贾维斯步进算法的 $1/3$, 只有格拉翰基于堆栈扫描算法的一半, 因此在实时性上占有优势。

2.2 特征点分割位置比较

头部与躯干的分割关键要正确定位到脖根处两个分割特征点, 区别于传统的最小围度法 (该方法认为脖根处是人体上半身水平围度最小地方的), 本算法对用于实验的人体模型能准确定位分割特征点, 在精度方面要优于最小围度法。表 2 所示为 3 种算法对分割部分人体模型特征点位置结果比较 (表中数

据是归一化后的数据值), 其中, z_0 为头部与躯干分割实际水平位置, z_1 为最小围度法分割位置, z_2 为本实验分割位置, 最小围度法分割误差 $e_{10}=|z_1-z_0|$, 本实验分割误差 $e_{20}=|z_2-z_0|$ 。

表1 贾维斯步进算法、格拉翰基于堆栈的扫描算法和本实验方法时间对比

Table 1 The time contrasts of Jarvis method, Graham method and the proposed method

编号	求凸包数据点数量	方法定位分割特征点所需时间/ms		
		贾维斯步进算法	格拉翰基于堆栈扫描算法	本实验方法
1	20 877	47	32	15
2	22 136	63	31	16
3	18 363	47	32	15
4	20 661	47	32	16
5	17 831	62	31	15
6	17 777	46	31	16
7	20 421	47	31	15
8	22 354	63	31	15
9	20 366	63	31	15
10	20 968	62	32	16
11	23 148	63	32	16
12	23 712	62	31	15
13	21 844	47	31	16
14	21 351	62	31	15
15	25 318	78	32	16

表2 头部与躯干分割特征点位置结果对比

Table 2 The contrast of feature points position for head and torso segmentation

编号	z_0	z_1	z_2	e_{10}	e_{20}
1	0.747 2	0.767 3	0.736 7	0.020 1	0.010 5
2	0.780 4	0.797 1	0.772 7	0.016 7	0.007 7
3	0.730 1	0.746 8	0.727 3	0.016 7	0.002 8
4	0.665 9	0.686 1	0.676 8	0.020 2	0.010 9
5	0.747 9	0.770 1	0.748 2	0.022 2	0.000 3
6	0.720 6	0.752 5	0.724 6	0.031 9	0.004 0
7	0.741 3	0.723 3	0.742 0	0.018 0	0.000 7
8	0.762 1	0.769 4	0.760 9	0.007 3	0.001 2
9	0.738 9	0.759 0	0.749 8	0.020 1	0.010 9
10	0.759 0	0.767 1	0.757 2	0.008 1	0.001 8
11	0.736 6	0.752 3	0.739 5	0.015 7	0.002 9
12	0.765 7	0.701 1	0.755 6	0.064 6	0.010 1
13	0.752 8	0.793 7	0.764 7	0.040 9	0.011 9
14	0.730 0	0.740 7	0.732 9	0.010 7	0.002 9
15	0.721 5	0.730 4	0.720 6	0.008 9	0.000 9

针对定位头部与躯干的分割切面的特征点, 从表2中可以看出, 本实验定位分割位置产生的误差 e_{20} 要小于传统方法最小围度法产生的误差 e_{10} , 因此本实验的头部分割方法提高了分割的精确度。

2.3 头部与躯干分割结果

通过对人体数据模型降维处理, 利用肩部以上

的二维轮廓数据点到肩端点与头边顶点线段的最大距离来定位特征分割点和水平分割切面, 用到了最大距离法和近似凸包边算法。根据前颈脖要低于后颈脖的特点, 引入分割切面倾斜角度, 使得头部与躯干的分割更符合人体表面的几何特征, 部分实验结果如图5所示。

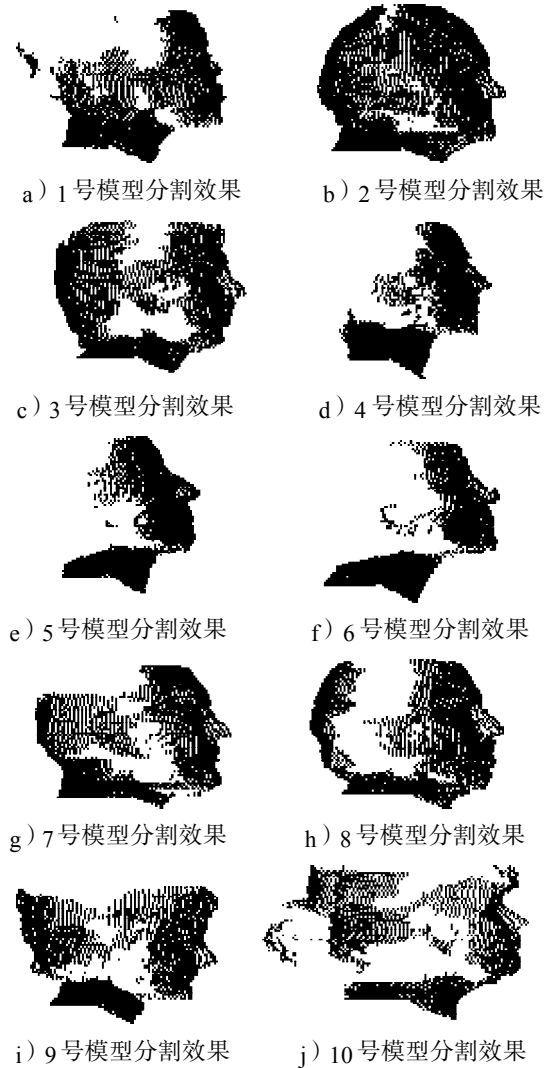


图5 头部与躯干分割实验结果

Fig. 5 Results of segmentation about head and torso

从图5中可看出, 本实验的头部分割方法与人体模型的体型形态无关, 无论胖瘦都能依据本实验算法正确获得分割位置, 并正确呈现出人体头部的几何特征。

3 结语

三维人体测量的应用需求, 使得模型分割技术日益成熟。计算机辅助人体非接触式自动测量不需手工操作, 由人工转变为智能化, 且测量更加快捷、精确、方便。虽然在此对人体头部的分割做了一些

研究工作,但还有很多需要完成的工作,如分割出上肢和下肢^[11-12],对各个肢体部分进行测量。攻克人体尺寸自动测量中各种关键技术和尖端技术,开发和完善我国的三维人体自动测量技术,将是计算机辅助设计等领域不懈努力的方向,希望所做的工作能促进该领域的研究和发展。

参考文献:

- [1] Gao C Y, Liu N. 3D Human Body Scan Data Segmentation and Application[C]// WACBE World Congress on Bioengineering. HongKong: Textile Bioengineering and Informatics Symposium Proceedings, 2009: 683-685.
- [2] Lu J M, Wang M J, Chen C W, et al. The Development of an Intelligent System for Customized Clothing Making [J]. Expert Systems with Applications, 2010, 37(1): 799-803.
- [3] Wang Qiming, Zhou Tianxiang. A New Figure Analysis System Based on the Data of 3D Body Scanner[C]// Third Int. Conf. on Information and Computing. Wuxi: World Academic Press, 2010, 2: 155-158.
- [4] Chambers A J, Sukits A, McCrory J L, et al. The Effect of Obesity and Gender on Body Segment Parameters in Older Adults[J]. Clinical Biomechanics, 2010, 25(2): 131-136.
- [5] Ju Xiangyang, Werghi W, Siebert J P. Automatic Segmentation of 3D Human Body Scans[C]//Proc. IASTED Int. Conf. on Computer Graphics and Imaging 2000, [S. l.]: ACTA Press, 2000, 239-244.
- [6] Zhong Y Q, Xu B G. Automatic Segmenting and Measurement on Scanned Human Body[J]. International Journal of Clothing Science and Technology, 2006, 18(1): 19-30.
- [7] Lu J M, Wang M J J. Automated Anthropometric Data Collection Using 3D Whole Body Scanners[J]. Expert Systems with Applications, 2008, 35(1/2): 407-414.
- [8] Wang C C L, Chang T K K, Yuen M M F. From Laser-Scanned Data to Feature Human Model: a System Based on Fuzzy Logic Concept[J]. Computer-Aided Design, 2003, 35(3): 241-253.
- [9] Jarvis R A. On the Identification of the Convex Hull of a Finite Set of Points in the Plane[J]. Information Processing Letters, 1973(2): 18-21.
- [10] Graham R L. An Efficient Algorithm for Determining the Convex Hull of a Finite Point Set[J]. Information Processing Letters, 1972(1): 132-133.
- [11] 晏义,文志强,李世锋.基于轮廓曲线拟合的人体下肢分割用其测量技术[J].湖南工业大学学报,2011,25(2): 85-89.
Yan Yi, Wen Zhiqiang, Li Shifeng. Segmentation and Measurement of Lower Limbs Based on Curve Fitting of Profile[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2011, 25(2): 85-89.
- [12] 吕方梅,习俊通,马登哲.人体表面点云数的拓扑特征检测与自动分割[J].计算面工程与应用,2008,44(6): 196-198.
Lv Fangmei, Xi Juntong, Ma Dengzhe. Topological Features Detection and Automatic Segmentation of Point Clouds From Human Body Surface[J]. Computer Engineering and Applications, 2008, 44(6): 196-198.

(责任编辑:申剑)