

口腔全景锥形束CT图像重建算法

万俊,王远军,王丽嘉,聂生东

上海理工大学医学影像工程研究所,上海 200093

【摘要】在利用口腔锥形束CT的三维图像数据自动重建全景图时,如果锥形束CT图像中病人上、下颌骨的咬合平面不能保持水平,已有的算法将不能重建口腔全景图。为解决这一问题,本文提出一种新的全自动方法。仿照传统口腔X线全景机的成像机制,首先,在沿冠状轴的最大密度投影图像中计算出偏差角度,再旋转三维数据场;然后,在沿垂直轴的最大密度投影图像上分割牙弓区域,根据该牙弓区域就能拟合出重建全景图所需的牙弓线;最后,离散化牙弓线并沿垂直轴扩展,得到离散化的牙弓曲面,再采样合成全景图。实验结果表明本文方法较好地解决了因上、下颌骨的咬合平面不能保持水平而引起的几何畸变,从而很好地重建出口腔全景图。

【关键词】锥形束CT;口腔;牙弓;全景图;X线全景影像技术

【中图分类号】TP391.41;R445.3

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2016)05-0437-05

Reconstruction algorithm for dental panorama based on cone beam CT image

WAN Jun, WANG Yuan-jun, WANG Li-jia, NIE Sheng-dong

Institute of Medical Imaging Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China

Abstract: When dental panorama was automatically reconstructed based on the three-dimensional image data of cone beam CT images, the existing algorithms could not reconstruct the dental panorama if the occlusal plane of maxilla and mandible in cone beam CT image did not parallel to the horizontal plane. A new automatic method was proposed in the paper to solve the problem. According to the imaging principle of conventional dental panoramic radiograph, the deviation angle in the maximum intensity projection image along the coronal axis was firstly calculated, and the three-dimensional data field was rotated. Secondly, the dental arch region in the maximum intensity projection image along the vertical axis was segmented, and the dental arch curve which was required for the panorama reconstruction was fitted based on the dental arch region. Finally, the dental arch curve was discretized and extended along the vertical axis to obtain the discretized dental arch surface, and the panorama was synthesized by re-sampling. Massive experiments have proved the proposed algorithm can solve the problem of geometric distortion caused by the occlusal plane of maxilla and mandible which doesn't parallel to horizontal plane, and reconstruct the dental panorama well.

Key words: cone beam CT; dental; dental arch; panoramic image; X-ray panoramic imaging technique

前言

在口腔医学中,口腔X线全景影像和CT是两种最常用的影像诊断技术。口腔X线全景影像技术能够将全口腔牙列、牙周组织和相邻解剖结构沿垂直

于上、下颌骨所在曲面的方向投影到一幅二维图像中,医生能从图像观察到口腔中牙列的全貌,直观易懂,诊断信息丰富,很多口腔疾病在二维图像上有很好的表现^[1-2]。但口腔X线全景影像技术存在3个缺陷:(1)它将三维的组织结构投影到二维平面上,会在X线全景图上出现不同组织重叠现象,使感兴趣的组织结构变模糊,特别是颈部颈椎与牙齿区域的重叠造成结构模糊现象;(2)X线全景图是曲面的平面展开图,丢失了口腔组织结构的空间位置信息;(3)在口腔X线全景机的成像机制中,X线管和探测器的中心沿固定的轨迹旋转运动,而不同病人的牙列解剖形态存在差别,易造成形变,无法得到最佳的全景图。

【收稿日期】2015-12-11

【基金项目】国家自然科学基金(60972122, 61201067);上海市自然科学基金(14ZR1427900);上海市教委科研创新项目(13YZ069)

【作者简介】万俊(1990-),男,硕士,研究方向:医学成像技术及图像处理。

【通信作者】聂生东(1962-),男,山东泰安人,博士,教授,博士生导师,研究方向:医学成像技术及图像处理, Tel:021-55271172, E-mail: nsd4647@163.com。

近年来,锥形束CT(CBCT)技术得到快速发展,并以扫描时间短、放射剂量低、图像分辨率高、体积小、费用低等优势取代了传统CT,正逐渐成为口腔三维成像的首选^[3-4]。CBCT一次扫描能够得到精确反映口腔解剖结构的三维数据,通过计算机三维可视化技术,医生能直观地进行观察和分析。但传统的体绘制方法每次只能从一个角度进行投影,不能在一次投影结果上显示完整的口腔结构。

口腔CBCT和口腔X线全景机一体化的两用设备发挥了这两种影像技术的优点,弥补两者的缺陷,能满足不同的需求^[5]。但这种设备价格昂贵,而且要得到两种图像,病人需接受两次扫描,这既增加诊断时间和费用,也增加病人的X线吸收量。同时,两种图像数据之间没有联系,不能将两者的优势结合起来,发挥它们的最大价值。由于CBCT序列图像包含口腔完整的解剖结构信息,所以可以通过软件来重建生成全景图,这样不仅克服上述缺点,还建立全景图和CBCT数据之间的联系,获得全景图中组织结构的三维信息。

目前,从CBCT断层序列图像中合成口腔全景图成为口腔CBCT软件系统的主要功能之一^[6-7]。采用交互式的方法合成全景图,这需要人工在特定的切片上选择多个标记点来创建曲线^[8],或需要人工划定牙弓区域^[9]。也有文献提出完全自动合成全景图的方法,但都对断层序列图像有一个默认的条件,即在拍摄时要求摆正病人的位置,使患者上、下颌骨的咬合平面保持水平,这在三维数据表现为咬合平面绕冠状轴旋转了一定的角度^[10-11]。如果不满足这个条件,完全自动合成全景图的方法就很难准确地创建投影曲面。本文针对这一问题提出一个有效的方法来自动纠正这一偏差角,并对合成全景图的算法进行改进,使生成的全景图更吻合患者的口腔形状。

1 方法

根据口腔X线全景机的成像机制,在拍摄传统的口腔X线全景图时,应先摆正病人的位置,使牙齿的咬合平面保持水平,然后移动、旋转X线管使X线朝着牙弓所在的曲面进行投射,得到X线全景图。仿照此过程,自动合成全景图的过程可简单概括为:(1)纠正偏差角度,自动计算出牙齿的咬合平面与水平面的角度,然后旋转CBCT三维数据进行纠正;(2)分割牙弓区域,对纠正后的数据沿垂直轴计算最大密度投影,再分割出其中的牙弓区域;(3)拟合牙弓线,利用牙弓图像创建具有数学模型的牙弓线;(4)合成全景图,离散化牙弓线并沿垂直轴扩展,得到离散化

的牙弓曲面,再采样合成全景图。算法流程如图1所示。

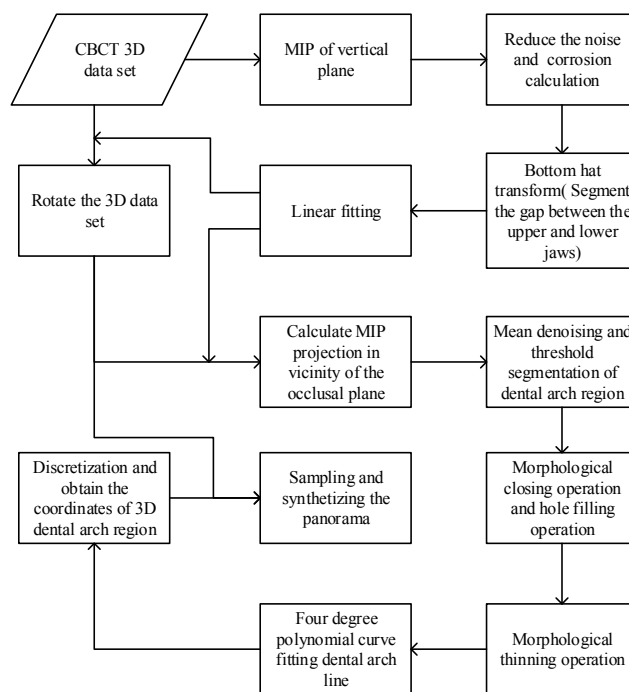


图1 算法流程图

Fig.1 Flow chart of algorithm

MIP: Maximum intensity projection

1.1 纠正偏差角度的计算

为了得到符合个人牙弓形状的全景图,就必须准确地检测出上、下牙弓所在的位置;为了拟合出牙弓线,就必须得到真正反映牙弓形状的图像。如果在拍摄CBCT时,病人上、下颌骨的咬合平面没有保持水平,那么在进行最大密度投影时,上、下牙弓就不能最大地重合起来。由此计算出的图像不仅增加拟合牙弓线的困难,而且拟合出来的牙弓线也不能正确地反映病人的牙弓形状。因此,有必要对CBCT原始三维数据进行角度旋转。可以根据下面的步骤计算出所需的旋转角度:(1)计算CBCT原始三维数据沿冠状轴的最大密度投影(图2a),咬合平面在此方向上的投影是一条与水平线成一定角度的直线,此角度即为上、下颌骨的咬合平面与水平面的偏差角度;(2)对所得的图像采用均值去噪,并进行形态学腐蚀计算,对图像进行去噪预处理,并腐蚀增大图像中上、下颌骨咬合处的间隙;(3)分别用一个像素宽的横、竖状结构元素进行底帽变换,并求和,再二值化处理,取值为最大值的70%,得到上、下颌骨咬合处间隙的二值图像(图2b),采用两次不同的底帽变换,是为了排除图像中不封闭的孔洞区域;(4)把步骤(3)所得的二值图像看成离散的坐标点,用最小二

乘法进行直线拟合,如图2c中蓝线所示。得到这条蓝色直线后,直线的倾斜角即为咬合平面的偏差角度,据此角度旋转CBCT三维数据,旋转后沿冠状轴方向的最大密度投影如图2d所示。旋转以后,此直线将变成一条水平的直线,其上所有点拥有相同的Y坐标。因此,可以通过原直线上任意一点的坐标及经旋转变换后的坐标来确定纠正后咬合平面所在的位置。

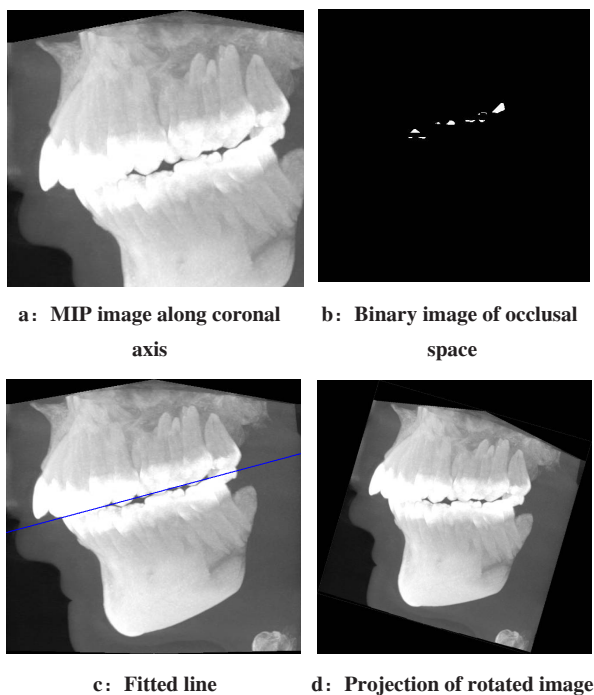


图2 纠正偏差角度

Fig.2 Correction of deviation angle

1.2 分割牙弓区域

对旋转后的三维数据沿垂直轴计算其最大密度投影,得到的图像就能真正反映病人的牙弓形状,如

图3a所示。然而图3a中的牙弓区域与其它骨骼有重叠,并且它们的灰度值相近,没有明显的边界,要从中分割出牙弓区域有一定的难度,因此有必要从三维数据中剔除其它骨骼。得到旋转后咬合平面所在的位置,取此位置上下各50层数据,剔除其它数据,即可除去三维数据中除牙弓和牙槽骨的其它骨骼数据的影响,对此数据再沿垂直轴计算最大密度投影,所得结果反映了上、下牙槽骨和牙列在水平面上的投影,如图3b所示。对此图像只需要使用简单的阈值方法就能分割出牙弓区域。因此,先均值滤波,再取最大值的75%作为阈值,得到牙弓区域的二值图像,如图3c所示。

1.3 拟合牙弓线

分割出牙弓区域后,需创建牙弓线。牙弓线的创建必须满足以下条件:(1)牙弓线必须接近牙弓区域的中轴线,从而使牙弓线能够反映牙弓的形状;(2)牙弓曲线必须是连续的,能准确求出曲线上每一点的坐标,从而使合成的全景图不失真;(3)因为X线全景图是口腔组织在沿垂直于牙弓曲面方向投影的展开图,因此牙弓线必须是光滑的,能求出每一点的法向量;(4)因为数字图像是离散化的,必须在牙弓线上等弧长取点、采样,所以,牙弓线必须便于等弧长细分。为满足以上条件,必须采用符合牙弓走向的数学曲线模型进行拟合,大多采用四次多项式^[12]和三次样条^[13]这两种数学模型。因为三次样条模型属于插值方法,其精确度受插值点的位置和个数的控制,实验结果也表明插值点较少容易出现局部拟合不准确,插值点过多容易出现局部震荡,所以本研究选取最小二乘法拟合四次多项式的方法来创建牙弓曲线。方法过程如下:(1)对所得到的牙弓二值图像进行形态学闭运算,再填充空洞,结果如图4a所

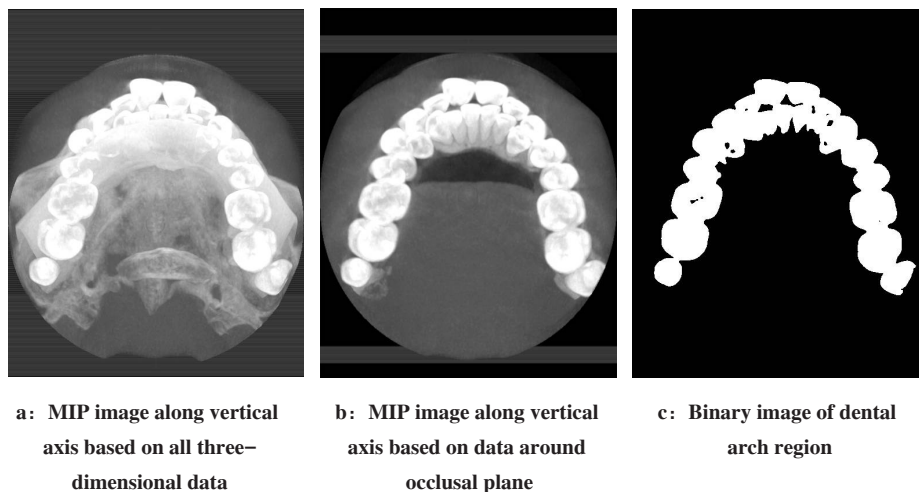


图3 分割牙弓区域

Fig.3 Segmenting dental arch region

示;(2)填充后的图像进行形态学细化操作,结果如图4b所示;(3)把形态学细化后的二值图像看成平面

中的坐标,用最小二乘法拟合四次多项式曲线,如图4c所示。

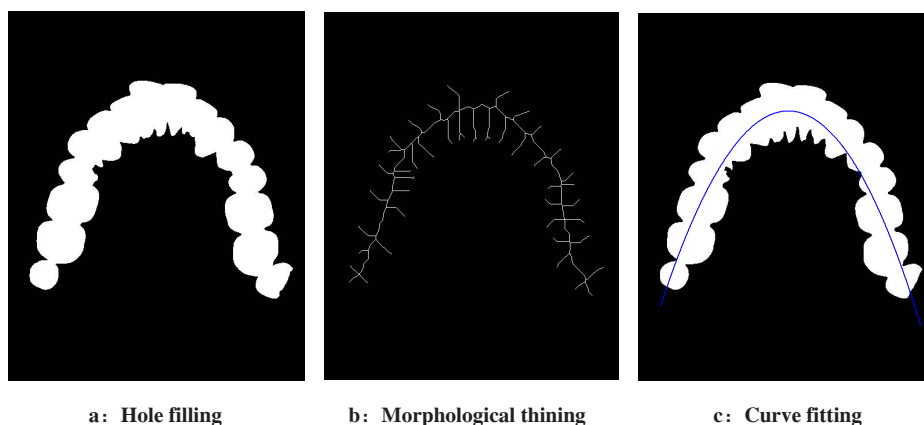


图4 拟合牙弓线

Fig.4 Fitting dental arch curve

1.4 合成全景图

计算出牙弓线的数学表达式后,就可以采样合成全景图^[14-15]。因为全景图是口腔组织在牙弓曲面上投影的展开图,所以需要对三维口腔数据在牙弓曲面的法线方向上采样,采样的范围必须覆盖整个牙弓区域,而且为了避免沿牙弓方向出现局部缩小或放大,必须在沿牙弓线方向等弧长取样。又因为牙弓曲面是牙弓线沿垂直轴方向的延伸,所以应先在二维平面内计算采样点的位置,再拓展到三维。图5a为牙弓线在水平面最大密度投影上的位置,先按弧长等距离细分牙弓线,再计算每一点沿法线方向的采样位置,结果如图5b所示。根据X线成像原理,全景图每个位置的像素值是牙弓曲面上对应位置法线上组织的等效CT值。合成的全景图即为对CBCT三维数据沿牙弓曲面法线方向上的Radon变换,图像中每一点的CT值就是对应法线上采样点CT值的平均值。最后合成的全景图长度为牙弓曲线的总弧长,宽度为CBCT三维数据的垂直长度。

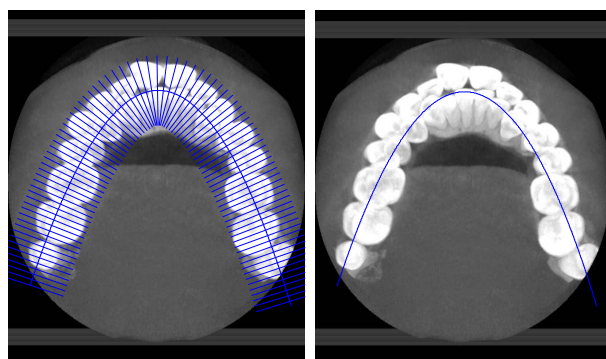


图5 合成全景图

Fig.5 Synthesizing panorama

2 实验结果及分析

本文所述方法得到的结构化网格对CBCT三维数据采样后会得到一组三维的图像数据,按Z轴方向求平均值可得到仿口腔X线全景机的图像,但如正常X线全景图一样,该图像也会出现不同组织重叠,使组织结构不清晰。除此显示方法外,医生还常用曲面断层图像和最大密度投影这两种诊断方法。

为了验证算法的有效性,从日本ASAHIROENTGEN的口腔小视野CBCT中采集了11组数据进行实验。这些数据中的口腔上、下颌骨咬合平面都不保持水平,都有不同程度的偏差。采用已有的算法将不能拟合出正确的牙弓线,导致口腔全景图生成失败。采用本方法的实验显示这几组数据中除两组数据未能生成正确的口腔全景图,其它都能生成正确的口腔全景图。图6是两组CBCT数据合成全景图的3种显示方式。

分析两组未能生成正确口腔全景图的数据,在三维图像中观察该数据,上、下颌骨的咬合处没有空隙。由于算法第一步纠正偏差角度时利用了上、下牙弓之间的咬合空隙,如果没有空隙,算法会导致咬合平面定位失败,从而不能重建口腔全景图。为克服这一缺点,在拍摄CBCT序列图像时,需咬住咬合器,这不仅是算法的需要,也是为了避免口腔闭合使上、下牙弓重合,从而便于观察口腔组织。只要满足这个条件,本文提出的算法就能很好地重建口腔全景图。

由于该算法存在两个采样过程,即沿牙弓线方向和垂直于牙弓线方向采样,所以全景图的质量受采样间隔的影响。又由于CBCT三维数据本身也有空间分辨率,所以过小的采样间隔不仅不能提高图像质量,反而降低算法的运行效率。

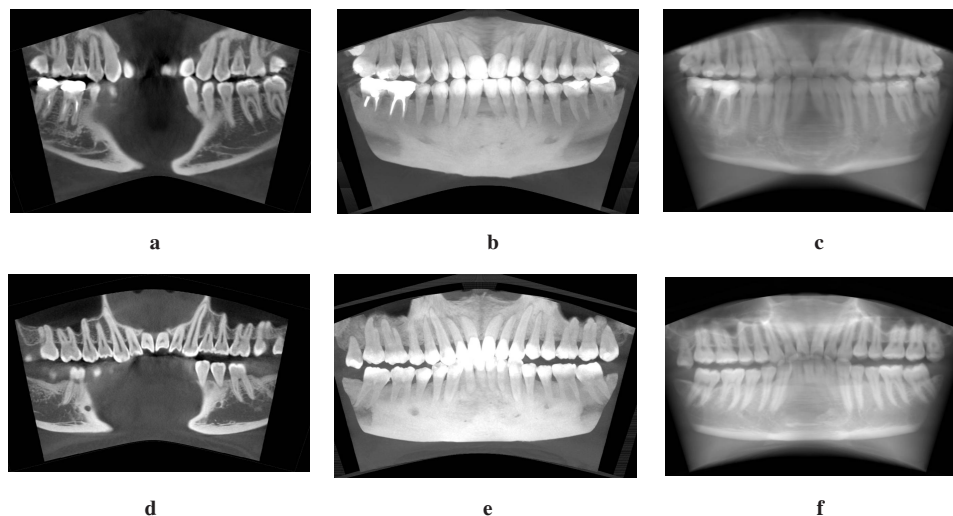


图6 两组实验结果

Fig.6 Experimental results of two groups

Fig.6 a, b, c were respectively curved planar image, maximum density image and average value image of the first data. Fig.6 d, e, f were respectively curved planar image, maximum density image and average value image of the second data.

3 总结与展望

通过本文提出的利用CBCT三维图像数据全自动合成口腔全景图的算法并结合3种不同的显示方式,能够改善传统口腔X线全景图模糊、组织重叠、几何形变的现象,并解决由于拍摄CBCT时上、下牙弓的咬合平面没有保持水平导致根据CBCT原始三维数据检测牙弓线不正确的问题。

本文提出的算法根据口腔上、下颌骨咬合的矢状面投影上没有空隙的CBCT数据并不能重建出口腔全景图,需修改算法第一步,重新设计算法来定位咬合平面。本文在合成全景图时只使用了3种常见的显示方法,不能突出医生非常感兴趣的组织结构信息,如在临床中,医生对牙根的形态和下颌槽神经管的位置尤为关注,但是可以通过调节各组织的合成系数调节全景图中各组织的对比度,增强显示效果,还可以结合三维可视化中体绘制技术,增加光照模型,从而达到增强的目的。

【参考文献】

- [1] FARMAN A G. Getting the most out of panoramic radiographic interpretation[M]. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2007.
- [2] CORREA L R, SPIN-NETO R, STAVROPOULOS A, et al. Planning of dental implant size with digital panoramic radiographs, CBCT-generated panoramic images, and CBCT cross-sectional images[J]. Clin Oral Implants Res, 2014, 25(6): 690-695.
- [3] SCARFE W C, FARMAN A G, SUKOVIC P. Clinical applications of cone-beam computed tomography in dental practice[J]. J Can Dent Assoc, 2006, 72 (1): 75-80.
- [4] PALOMO J, KAU C, PALOMO L, et al. Three-dimensional cone beam computerizedtomography in dentistry[J]. Dent Today, 2006, 25(11): 130-132.

- [5] PITTAYAPAT P, WILLEMS G, ALQERBAN A, et al. Agreement between cone beam computed tomography images and panoramic radiographs for initial orthodontic evaluation[J]. Oral Surg Oral Med Oral Path Oral Radiol, 2014, 117(1): 111-119.
- [6] 王华, 邓晓惠, 付升旗, 等. 上颌骨的曲面重组技术重建及可视化观测[J]. 新乡医学院学报, 2013, 30(1): 5-8.
WANG H, DENG X H, FU S Q, et al. Curve-planar reconstruction and visualization observations of the maxilla [J]. Journal of Xinxiang Medical University, 2013, 30(1): 5-8.
- [7] SUGIYAMA M, FUKUDA T, SANDA Y, et al. Organized thrombus in pulmonary arteries in patients with chronic thromboembolic pulmonary hypertension; imaging with cone beam computed tomography[J]. Jpn J Radiol, 2014, 32(7): 375-382.
- [8] 祝剑锋, 王利生, 王伟, 等. 基于CT断层数据的仿X线全景图生成技术[J]. 生物医学工程学杂志, 2011, 28(6): 1189-1193.
ZHU J F, WANG L S, WANG W, et al. A method for generating dental panoramic radiographs from 3D CT sectional data [J]. Journal of Biomedical Engineering, 2011, 28(6): 1189-1193.
- [9] TOHNAK S, MEHNERT A, CROZIER S, et al. Synthesizing panoramic radiographs by unwrapping dental CT data [C]. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc, 2006, 1: 3329-3332.
- [10] BING H, LIANG C, ZHEN C, et al. An automatic method of synthesizing panoramic radiograph by unwrapping dental CT image [C]. 2011 International Conference on Mechatronic Science, Electric Engineering and Computer (MEC), 2011: 1094-1096.
- [11] AKHOONDALI H, ZOROOFI R A, SHIRANI G. Fully automatic extraction of panoramic dental images from CT-scan volumetric data of the head[J]. J Appl Sci, 2009, 9(11): 2106-2114.
- [12] KONDO T, ONG S H, FOONG K W. Tooth segmentation of dental study models using range images [J]. IEEE Trans Med Imaging, 2004, 23(3): 350-362.
- [13] WONGWAEN N, SINTHANAYOTHIN C. Computerized algorithm for 3D teeth segmentation [C]. 2010 International Conference on Electronics and Information Engineering (ICEIE), 2010: 277-280.
- [14] 董皓. 基于CT断层图像序列的牙体自动分割研究[D]. 南京: 东南大学, 2010.
DONG P. Automati tooth segmentation for CT images [D]. Nanjing: Southeast University, 2010.
- [15] CHEN S, RAY L A, INGLESE J M. Panoramic image generation from CBCT dental images: U.S. Patent 8849016[P]. 2014-09-30.

(编辑:陈丽霞)