文章编号:1000-5404(2009)19-1847-03

论著

基于非均匀有理 B 样条的女性盆腔三维数字化模型的构建

胡 南[1],郑小林[1],张肖莎[2],张绍祥[3],Paul Segars[4],单锦露[3],谭立文[3],罗洪艳[1],侯文生[1],Steve B. Jiang[5] ([1]重庆大学生物工程学院,重庆 400030;第三军医大学:[2]学员旅二队,[3]基础医学部人体解剖学教研室,重庆市数字医学研究所,重庆 400038;[4]Department of Radiology, Duke University, U S A;[5]Department of Radiation Oncology, University of California, U S A)

摘 要:目的 建立基于中国数字化可视人体的非均匀有理 B 样条(Non-Uniform Rational B-Spline,NURBS)三维盆腔模型。**方法** 选取中国可视化人体数据集的盆腔部分,应用 Photoshop 分割出各盆腔结构后并获取各结构的轮廓线,基于盆腔结构的表面轮廓线应用 Isosurf 软件生成三角化表面网格,然后将其输入犀牛(Rhinoceros)软件,进行控制参数设定与 NURBS 曲面重建。**结果** 对盆腔中膀胱、直肠、子宫、卵巢、血管、阴道、输尿管、股骨、尿道等主要结构进行了分割,并构建了 NURBS 女性盆腔三维数字化模型,所建立的模型几何外型逼真,整体清晰,实体感强。**结论** 本研究实现了对女性盆腔主要结构的 NURBS 曲面建模,所获取的数字化模型可为解剖教学、手术仿真以及运动医学等提供科研教学平台。

关键词: NURBS;盆腔;三维建模
中图法分类号: R319; R322; R323.5 **文献标识码**: A

3D reconstruction of digital female pelvic model based on NURBS surface

HU Nan[1], ZHENG Xiao-lin[1], ZHANG Xiao-sha[2], ZHANG Shao-xiang[3], Paul Segars[4], SHAN Jin-lu[3], TAN Li-wen[3], LUO Hong-yan[1], HOU Wen-sheng[1], Steven B. Jiang[5] ([1]School of Bioengineering, Chongqing University, Chongqing 400030; [2]2nd Student Team, [3]Department of Anatomy, College of Basic Medical Sciences, Third Military Medical University, Chongqing 400038; China. [4]Department of Radiology, Duke University Medical Center, Durham, North Carolina 27705, [5] Department of Radiation Oncology, University of California, San Diego, La Jolla, California 92093, USA)

Abstract: **Objective** To build a 3D non-uniform rational B-spline (NURBS) female pelvic model based on Chinese visible human (CVH) datasets. **Methods** Pelvic structures were segmented with Photoshop from CVH datasets and a set of contours were obtained. Triangular mesh was generated from these contours and then imported into Rhinoceros program for NURBS surface reconstruction. **Results** The bladder, rectum, uterus, ovary, vessels, vagina, ureter, thighbone and urethra were segmented from the pelvic datasets and a 3D NURBS female pelvic model was reconstructed. The obtained model was realistic, distinct and satisfactory for the true object and stereoscopic sensation. **Conclusion** NURBS surface reconstruction of female pelvic structures are validated and the digital model can be used to provide a platform for anatomical training, surgical simulation and sports medicine.

Key words: non-uniform rational B-spline; pelvis; 3D reconstruction

女性盆腔是一个解剖结构较为复杂的部位,与人体的生殖、泌尿、消化、运动功能有着密切的联系[1],而对女性盆腔的影像、解剖结构、功能研究也越来越受到人们的关注[2]。盆腔的三维曲面重建是计算机手术仿真、运动功能分析、数字化人工关节建模等医学应用的基础。目前多数三维盆腔建模是通过 CT、MRI 等影像数据实现的,但因为 CT、MRI 各自的应用范围与局限性,在应用 CT 与 MRI 对盆腔中某些组织进行分辨有一定困难,对某些细节信息不能够很好地展示。

继美国、韩国之后,我国近年来也开始了数字化可视人体的研究[3-6],通过对冰冻的尸体标本进行切片,可以获得较为丰富和完整的断层解剖结构与组织信息。本研究采用中国可视化人(chinese visible human,

基金项目:国家自然科学基金(60771025,60871099)
Supported by the National Natural Science Foundation of China (60771025, 60871099)
作者简介:胡 南,男,重庆市人,博士研究生,主要从事医学影像处理及医学物理方面的研究。电话:(023)65111931,E-mail:ftxnan@cqu.edu.cn
通信作者:郑小林,电话:(023)65103578,E-mail: zxl@cqu.edu.cn
张绍祥,E-mail: zhangsx@tmmu.edu.cn
收稿日期:2009-01-07;**修回日期**:2009-03-25

CVH)数据集中的盆腔数据对盆腔中的重要结构进行基于 NURBS 曲面的三维建模,可以提供血管、输卵管、输尿管等细微结构信息,同时由于 NURBS 曲面具有良好的形变特性,从而可以为计算机辅助手术以及运动功能分析等应用提供原始模型。

1 材料与方法

1.1 数据获取

本研究采用第三军医大学的首例中国女性数字化可视人体数据集。所选标本为 22 岁女性,身高 1 620 mm,体质量为 54 kg,为非器质性疾病死亡。解剖横断面层厚 0.5 mm,断面图像摄影分辨率为 3 072×2 048 像素,每个断面图像文件大小为 36 MB,全身共计 3 640 个横断面。我们选取第 1 715~2 100 层共 386 个盆腔数据层面进行重建。

1.2 目标分割

选取的女性盆腔数字化解剖断层图像被传输至计算机,并根据实验中设置的配准标记点对盆腔断层图像进行配准。然后应用 Photoshop7.0 软件,基于魔棒工具与套索工具进行盆腔的主要结构的人工分割,并通过 Canny 算子进行边缘检测获取各盆腔结构的轮廓线。各结构被赋予不同的 RGB 值并分别标记。

1.3 构建多边形网格面

分割完成后,各结构的轮廓线被写入二进制文件用以存储各轮廓线的空间位置信息,然后应用 Isosurf 软件(Graham Treece,University of Cambridge, UK)设定坐标参数与 X、Y、Z 方向上的采样参数,然后基于移动四面体(marching tetrahedra)算法进行等值面抽取。输出的网格面文件通过我们自己编写的程序转化为 obj 格式。

1.4 NURBS 曲面重建

各盆腔结构的三角化网格面被输入犀牛(Rhinoceros)软件,基于各盆腔结构的三角化网格面设定采样间隔生成一组轮廓线,再使用"放样"功能,通过设定在 U、V 方向上的控制点数及重建参数实现盆腔结构的 NURBS 曲面重建。其曲面方程由(1)式给出,其中 $P_{i,j}$ 代表 NURBS 曲面上的控制点, W_{ij} 为权重影响因子, $N_{i,p}(u)$、$N_{j,q}(v)$ 为基函数[7]。

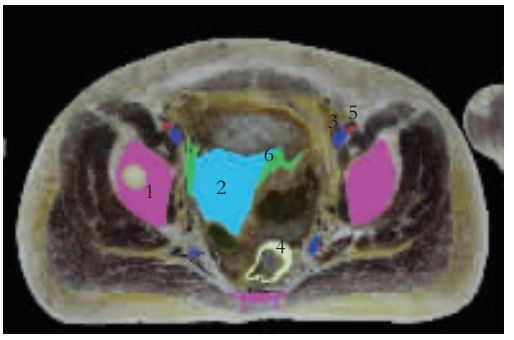
$$S_{u,v}=\frac{\sum_{i=0}^{n}\sum_{j=0}^{m}N_{i,p}(u)N_{j,q}(v)w_{i,j}P_{i,j}}{\sum_{i=0}^{n}\sum_{j=0}^{m}N_{i,p}(u)N_{j,q}(v)w_{i,j}}$$

$$0\leqslant u\leqslant 1,0\leqslant v\leqslant 1 \qquad (1)$$

2 结果

2.1 分割结构

在本研究中对女性盆腔中的主要结构,如膀胱、直肠、子宫、卵巢、血管、阴道、输尿管、股骨、尿道等进行了分割,以不同的 RGB 值进行标记(图 1);并建立了相应的分割数据集,同时获取了各盆腔结构的轮廓线。

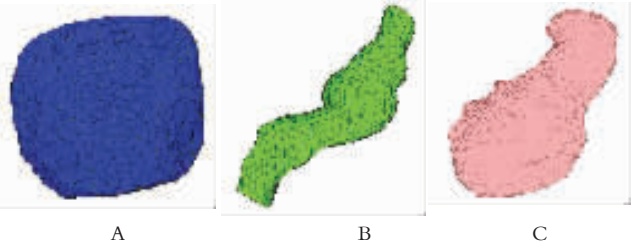


1:骨盆;2:子宫;3:静脉;4:直肠;5:动脉;6:输卵管

图 1 女性盆腔断层图像的分割标记

2.2 多边形网格面重建结果

基于各盆腔结构轮廓线,我们使用 Isosurf 软件进行了多边形逼近并构建了盆腔各主要结构的三角化网格面(图 2)。



A:膀胱;B:直肠;C:子宫

图 2 盆腔结构的三角化网格面

2.3 NURBS 模型构建结果

三角化网格面在犀牛软件中经过分层处理,可在不同图层中处理所对应的结构,然后进行 NURBS 曲面重建,曲面连续、光滑。所建立的 NURBS 三维数字化模型几何外形逼真,整体清晰,实体感强(图 3)。而且通过对该模型中的 NURBS 曲线上的控制点进行编辑操作(图 4),可轻松实现盆腔结构的曲面形变(图 5)。

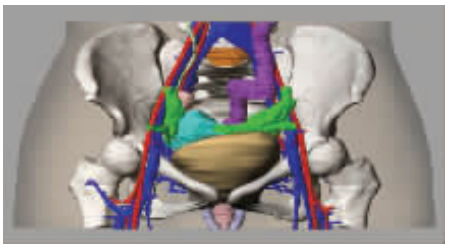
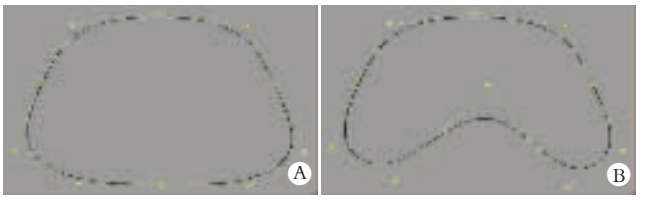
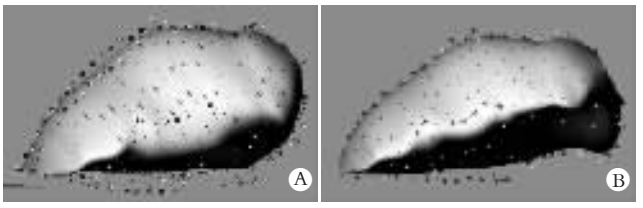


图 3 NURBS 女性盆腔三维数字化模型



A:初始膀胱 NURBS 断面线;B:改变控制点位置后的膀胱 NURBS 断面线(黄色点为控制点)

图 4 改变 NURBS 控制点位置引起的断面轮廓线形变



A:初始膀胱 NURBS 曲面;B:改变控制点后的膀胱 NURBS 曲面

图 5　改变 NURBS 控制点位置引起的盆腔器官曲面形变

3　讨论

非均匀有理 B 样条(NURBS)技术是目前应用得较为广泛的一种自由变形技术,它将 B 样条方法与精确表示二次曲线与二次曲面的数学方法相统一并可以用来表达曲线曲面以及解析曲线曲面[8],在计算机辅助造型设计、复杂曲面造型及力学仿真等方面正获得越来越多的应用。NURBS 提供了额外的自由参数——权系数[9],通过改变控制点或权系数可进行曲线、曲面形状的调整。与传统的结构建模与造型方法相比,NURBS 技术具有明显的优点:①可在曲面变化较复杂的区域可采用较多的控制点以提高形变的灵活性;②对几何变换和投影变换具有不变性。

人体的建模和变形是生物医学工程研究中一项比较具有难度和重要意义的课题。本研究以中国可视化人体数据集的盆腔断层解剖数据为基础,进行了女性盆腔的三维建模。通过轮廓提取及 NURBS 曲面重建技术,可精确还原输尿管、血管、输卵管等细微结构在盆腔中的真实形态,在三维空间坐标系中清楚地观察各结构的相互位置关系,便于医疗工作者有效地进行盆腔解剖知识的学习,更好地理解真实的女性三维盆腔结构。鉴于该数字化模型对盆腔断面以及三维解剖结构的细微描述与再现,在临床影像诊断中也可用来作对照观察,特别是在评估盆腔创伤所引起的器官结构破损、断裂与变形方面,将有着十分重要的意义。更为重要的是,它可以为妇科疾病的辅助诊断与治疗、手术模拟以及解剖教学提供参考[10],便于医师在术前进行进行手术方案的规划和手术仿真,并可用于手术所导致的器官变形与位移研究,以便在外科手术中提供准确的导航功能从而降低外科手术的风险性。同时由于盆腔与人体运动功能具有密不可分的关系[11],该模型也可用于人体的生物力学与运动医学分析。

在这项研究中 NURBS 技术被运用于人体结构曲面的造型,由于它可以精确地描述复杂的三维空间物体,并可以采用一定的数值计算方法对生成的三维物体进行分析、计算,以便对其各种性能进行分析、评估;同时采用 NURBS 方法,可以保证物体表面速度势导数的连续,提高了计算结果的精确性。NURBS 方法中控制点和权系数的引入为曲线、曲面的表示提供了更大的灵活性,它优于其他造型曲面的良好的逼近性很适合于人体曲面造型[12]。人体臀部的肌肉与骨骼以及软组织相依附,骨骼的运动与形变也会引起肌肉乃至软组织的形变,通过在 NURBS 模型中设置和调整相应的控制点,可以准确地模拟这种受控形变关系。在 Rhinoceros 软件中可以方便地改变控制点以调控和观察形变效果[13],可为数字人体的形变研究提供一个较为理想的研究手段。

本研究中所构建的三维 NURBS 模型可方便地移植到其他的系统并用于将来的 CAD/CAE 设计,通过 Rhinoceros 输出的文件不仅占用存储空间较小,还可以与其他分析软件进行数据交换,便于后续开发与处理,特别是在人体臀部和髋关节的动力学分析以及关节置换手术的模拟方面,具有很广阔的应用前景。基于 NURBS 灵活和强大的形变特性,该三维模型可以为人体结构的形变研究、医学培训提供一个科研和医疗教学平台。

参考文献:

[1] 单锦露,张绍祥,刘正津,等. 女性盆腔的可视化研究及其意义[J]. 中国医学影像技术,2005,21(3):478 - 480.

[2] Pu F, Jin D, Li S, *et al*. Reconstruction of Three-dimensional Model of Normal Female Pelvic Cavity Based on Magnetic Resonance Imaging [M]//Beijing: IEEE/ICME International Conference on. Complex Medical Engineering, 2007: 732 - 735.

[3] Zhang S X, Heng P A, Liu Z J. Chinese visible human project[J]. Clin Anat, 2006, 19(3): 204 - 215.

[4] 单锦露,王　阁,王　东,等. 基于数字化可视人的医学图像融合研究[J]. 中国医学影像技术, 2009, 25(1): 141 - 144.

[5] 陈　刚,晋　云,谭立文,等. 三维数字虚拟人体肝脏系统的建立与应用[J]. 第三军医大学学报, 2008, 30(22): 47 - 50.

[6] 杨　进,邱全光,冯　飞,等. Web 环境下人体数据集三维可视化初步研究[J]. 第三军医大学学报, 2006,28(23):2313 - 2315.

[7] Turner C J, Crawford R H, Campbell M I. Multidimensional sequential sampling for NURBs - based metamodel development[J]. Eng Comput,2007,23(3):155 - 174.

[8] 谢明红,叶　丽. NURBS 曲线的数控高速插补算法[J]. 河南理工大学学报:自然科学版, 2008, 27(3):307 - 313,327.

[9] 谭正华,杨恢先,汤安平. 分段三次 NURBS 曲线及其折线集逼近插值算法[J]. 计算机应用与软件, 2008, 25(8):248 - 250,258.

[10] 王明炎,陈春林,彭　浩,等. 虚拟现实环境下的女性盆腔三维重建和可视化[J]. 解剖学杂志,2008,31(4):564 - 566.

[11] 叶　铭,张绍祥,王成焘. 力学虚拟人骨组织曲线曲面模型重建技术[J]. 医用生物力学,2006,21(3):212 - 216.

[12] 杜剑侠,施国兴. 一种基于曲面建模与多边形建模的混合人体建模方法[J]. 昆明理工大学学报:理工版, 2008,33(3):49 - 52.

[13] 李　仙,余隋怀,秦　蓉. 基于 Rhinoceros 系统的逆向工程研究[J]. 机床与液压,2008, 36(3):29 - 31.

(编辑　张　维)