

Study on digital intestine visualization and position mapping based on VTK

LIU Li¹, LUO Hong-yan^{1*}, ZHANG Shao-xiang², ZHENG Xiao-lin¹,
HOU Wen-sheng¹, YANG Qin¹, TAN Li-wen²

(1. Bioengineering College of Chongqing University, Chongqing 400030, China; 2. Department of Anatomy, College of Medicine, the Third Military Medical University, Calculation of Chongqing Institute of Medicine, Chongqing 400038, China)

[Abstract] **Objective** To build a 3D digital intestine by surface construction and the corresponding position mapping model. **Methods** The intestine images were segmented manually using the second Chinese visible human data set (CVH2). The functions were realized in VC++ programming environment with the help of VTK. **Results** The parameters of surface rendering of the Virtual Human intestine such as actor color, transparency, background color, mesh decimate percentage, the number of surface smoothing and lighting could be adjusted to give the different visual effects, and then the entity could be viewed conveniently. The interactive operation including rotation, translation, scaling and orthogonal views were to facilitate the intuitive observation, and the mapping between the 3D coordinate position and the relative position in the intestine was realized. **Conclusion** The 3D digital intestine system can run independently and exhibit strong migration and extension. It can be used for location in intestine, serving as an assistant demonstration platform for education as well as scientific research.

[Key words] Digital intestine model; Visualization; Surface reconstruction; Position mapping

基于 VTK 的数字肠道可视化和位置映射研究

刘利¹, 罗洪艳^{1*}, 张绍祥², 郑小林¹, 侯文生¹, 杨琴¹, 谭立文²

(1. 重庆大学生物工程学院, 重庆 400030; 2. 第三军医大学基础医学部解剖学教研室, 重庆市计算医学研究所, 重庆 400038)

[摘要] **目的** 建立表面重建三维数字肠道和肠道位置映射模型。**方法** 利用第 2 套中国虚拟人数据集的彩色断面图像手动分割出肠道, 再在 VC++ 环境下借助可视化工具包 VTK 进行表面重建和肠道相对位置映射功能实现。**结果** 系统的实现功能包括: ①虚拟人体肠道的面绘制, 其中实体颜色、透明度、背景颜色、网格删减系数、表面平滑次数和光线效果等参数可以设定, 以达到不同的面绘制效果。②具有旋转、平移、缩放和正交视图等方便的交互式操作。③从三维空间坐标到肠道相对位置的映射。**结论** 此系统可以独立运行, 具有较强的可移植性和扩展性, 可应用于肠道内的定位, 教学和科学研究提供了一个辅助的演示系统。

[关键词] 数字肠道模型; 可视化; 表面重建; 位置映射

[中图分类号] R445.9; TP317.4 [文献标识码] A [文章编号] 1003-3289(2009)01-0145-04

虚拟人已经成为医学、计算机等多交叉学科研究的热点^[1-2], 在虚拟人数据集基础上的应用也越来越广泛。比如, 通过虚拟人数据集可获得肠道的三维可视化模型, 并进一步应用在肠道定位中。具体而言, 在消化道定点施药装置

中^[3-4], 电子药丸在肠道中运动, 当电子药丸到达肠道的指定部位时, 控制其进行药物释放。因此检测药丸在肠道中的相对位置是一个关键技术。通过磁定位^[5-6]的方法可以获取药丸所处的三维空间坐标, 本数字肠道可视化及位置映射系统所实现的一个重要功能就是可根据该三维空间坐标查询肠道的相对位置。

1 设计与方法

1.1 数据来源 选用第三军医大学采集的第 2 套中国虚拟人数据集 (the second Chinese visible human dataset, CVH2)^[7],

[基金项目] 国家自然科学基金 (60771025), 重庆市自然科学基金重点项目 (SCTC2006BA5005)。

[作者简介] 刘利 (1982-), 女, 四川资中人, 硕士。研究方向: 医学图像重建及可视化研究。E-mail: first-tryll@163.com

[通讯作者] 罗洪艳, 重庆大学生物工程学院, 400030。

E-mail: cqu_lhy@163.com

[收稿日期] 2008-07-20 [修回日期] 2008-08-29

该数据标本为 22 岁女性,身高 162 cm,体重 54 kg,消化系统无病变和损伤。共有 3 组数据集,包括 CT、MRI 和彩色断面光学图像。由于 CT 和 MR 图像无颜色信息,很难辨别消化道,且组织边界非常模糊,本研究使用断面彩色解剖图像。腹部横断面的采集层间距为 0.5 mm,图像分辨率为 3072 × 2048 像素,每张图片大小为 36 MB。从中选取从十二指肠上部到肛门下缘的连续解剖断面图像(从图像第 1384 层到 2100 层),选择数据层厚为 1.0 mm(每隔一张断面图像选取一张,选取编号为偶数的图像),共计 359 张,长 359 mm,数据集的图片是从头到脚递增编序的。

1.2 设计环境 本设计在 Visual C++ 6.0 的环境下借助可视化工具包(visualization tool kit, VTK)^[8]实现,其界面和交互式接口在功能强大的 MFC 下设计。VTK 是面向计算机图形、图像处理和可视化的大型软件工具箱。VTK 为开源软件包,利用面向对象的技术,构造在 C++ 语言之上,包括两个子系统,一个是 C++ 类库,已包括 600 多个 C++ 类库;另一个是支持 Java, Tcl, Python 语言操作编译的 C++ 类库的封装层。VTK 是可视化编程的应用库,可作为其他不同图像库的接口。开发人员可直接利用 VTK 的类库来开发自己的应用系统,也可将新的可视化技术或者改进算法设计成新的 VTK 类,供自己或他人使用。同时, VTK 函数采用静态库的调用方式,程序可以独立运行和移植,且 VTK 扩展性强,便于以后改进和升级。

硬件开发环境为普通的兼容计算机,主要配置为 CPU

1.33 G、内存 1 G、32 M 显存集成显卡。

1.3 系统方案设计 系统总体设计流程彩色断面图像,首先经过配准和去除背景图像中的肠道图像分割出来,因在重建方式处理,所以再转换为灰度图像并缩小图像,包括面重建^[9]和体重建,由于面重建数据本系统只需要展示肠道的形态和走势,所以选择面重建方法。本设计利用 VTK 重建出的三维肠道图像,能够清晰客观的反映肠道的形态和结构。在肠道三维重建模型的基础上设计平移、旋转、缩放等交互式操作,便于三维图像的观察,同时可以观测特定位置的

1.3.1 消化道图像分割 消化道具有不一样,边界和纹理特征不明显,且肠道之间以及断面彩色图像采用自动、半自动分割方法。将肠道分成 3 个部分(即 3 个分割部分),十二指肠、小肠和回肠、大肠,且分别填充 RGB 颜色,其中十二指肠的填充颜色 RGB 值为 141、141、255;小肠中空肠和回肠的填充颜色

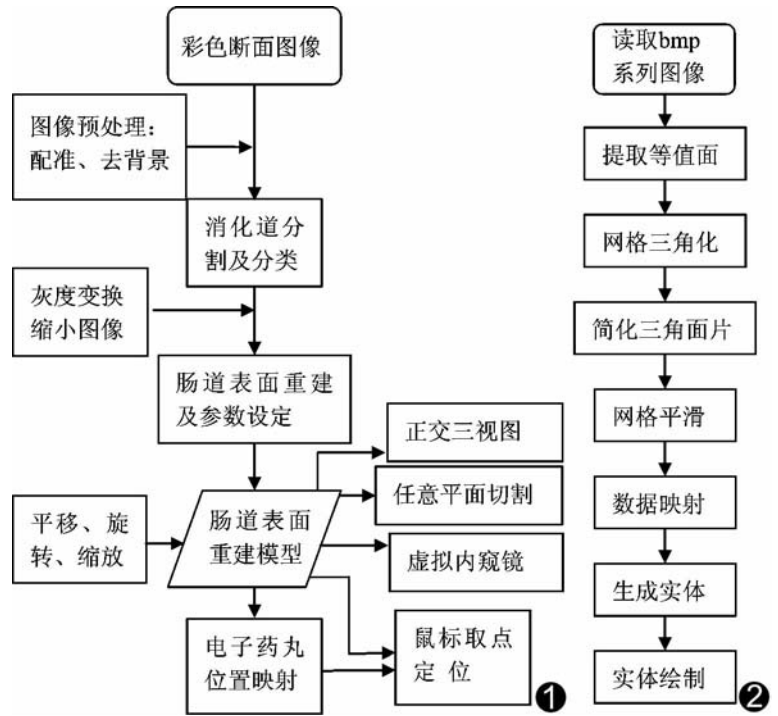


图 1 系统结构图 图 2 表面绘制流程图

RGB 值为 141、141、141;大肠的填充颜色 RGB 值为 141、141、198。将原始图像去除,留下填充的肠道图层,将图层合并,存储为 bmp 格式,文件名为“固定字母+序号.bmp”的格式。将 RGB 模式转换为灰度模式,灰度值分别为 151、141、145。

1.3.2 肠道表面重建 表面重建模型是整个系统的核心,是



元图形包括三角形、四边形以及其他的多边形,为了简化的表面需要利用函数 vtkTriangleFilter 将所有多边形三角化;vtkDecimatePro() 为三角面片简化函数, SetTargetReduction

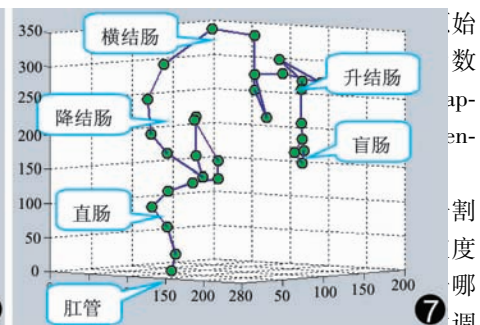
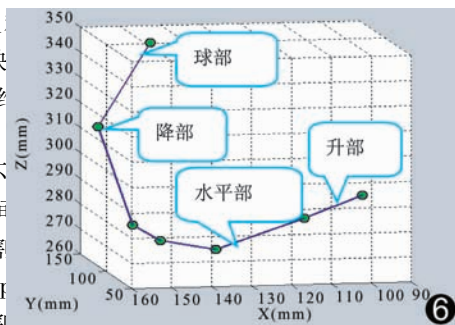


图 6 十二指肠轨迹图 图 7 大肠轨迹图

的数据可... ing 作... 读的... 始数... apen-... 割度... 哪... 调

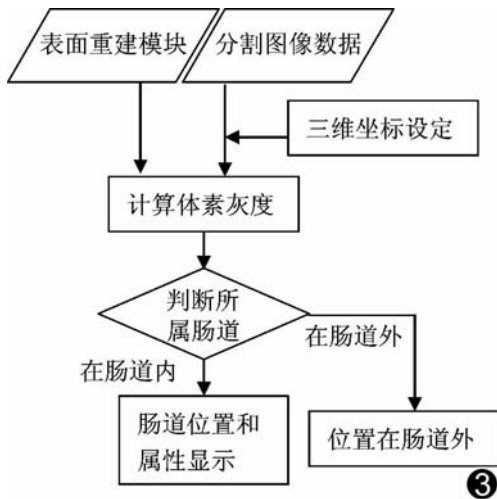


图 3 肠道空间位置映射流程图

用函数 `GetScalarComponentAsDouble(int x,int y,int z, intcomponent)` 来获取其中最为关键的像素点灰度值,其输入为 `vtImageData` 中的 `StructuredPoint` 类型,其中 X、Y、Z 为像素点的坐标。比如设定 `m_posxx, m_posyy, m_poszz` 为一像素点的空间位置坐标,该点的灰度值 `pix` 就可以很容易地获得:`pix = Image Im -> GetOutput() -> GetScalarComponent AsDouble(m_posxx, m_posyy, m_poszz, 0)`。

2 结果

2.1 表面重建结果 肠道面重建效果和界面图见图 4,能够清晰表现出肠道的形态和走势。其中颜色、三角网格简化系数、平滑次数、光照参数等值可以通过控件设定,以达到不同的显示效果。

肠道相对位置映射模块设计界面见图 5:通过设定药丸的空间位置,即 X、Y、Z 的值可以设定药丸的位置,点击“示药丸和相对位置”按钮可以将药物以小球体的形式在肠道表面重建的模型中进行显示。肠道设置为半透明,药丸为蓝色,不透明,以便突出显示,更能清楚地观察肠道中的药丸。由于体素大小是 0.668 mm、0.668 mm、1 mm,所以定位精度可以达到 1 mm。比如设定的药丸空间位置为 190 mm、130 mm、200 mm 时,查询出药丸所处位置为大肠,并且在表面重建图像中以蓝色球表示(图 5),可以明显看出药丸处于盲肠始端。

2.2 位置映射结果 根据位置映射模块共获取了 159 组空间位置数据及运行结果,这些数据都是选取肠道中的一些特殊点,包括十二指肠、空肠、回肠、盲肠、升结肠、横结肠、降结肠、直肠的起始位置,各肠道走势变换的转折点等。从中选取了十二指肠、大肠的数据,并在 Matlab 中将其轨迹图绘制出来,效果见图 6、7,其中因为图片实行从上到下编序,直接绘制出来的图像就是倒立的,不符合常规视觉习惯,故把轴向数据 Z 进行倒置,即用最大值 359 mm 减去数据集中的 Z 值得。通过与十二指肠、大肠的表面重建图(图 8、9)的比较可以看出,轨迹图像能清晰地表现出肠道的走势,可应用在后期的肠道标准与个性化图像融合技术研究中。

3 讨论

本设计利用 VTK 对虚拟人肠道进行了表面重建。VTK 重建的计算时间与数据量大小、生成网格数目和计算机配置有密切关系。由于原始图像数据场的密度很高,用移动立方体方法进行表面重建生成的网格模型大小高达 100 MB,计算时间长达 15 min。通过对网格进行有效简化,将简化参数设置为 0.5,可将网格模型大小减少到 60 MB,而计算时间缩短为约 4 min,而且简化后所得模型仍然保持了未简化模型的拓扑关系,并达到了与后者相似的拟合效果。进一步提高计算机的配置,如采用图像工作站,计算时间还可大大缩短。

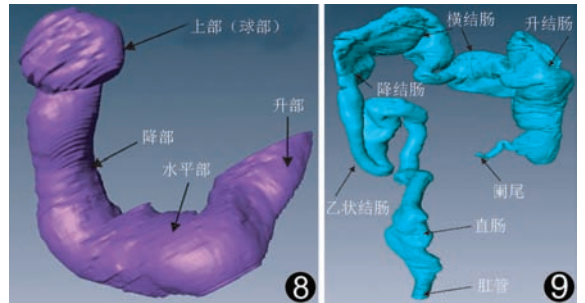


图 8 十二指肠前面观 图 9 大肠前面观

本设计所建立的肠道模型能够真实重现标本的肠道形态结构和走势。在该模型中可以清楚地看到十二指肠、空肠、回肠、盲肠、阑尾、结肠、直肠和肛管等,且可以进行旋转、缩放、正交视图、任意切面等交互式操作,以便于观察,为研究和教学提供了一个方便的三维肠道模型,同时还具有三维空间位置到肠道相对位置映射的功能。

本数字肠道可视化和位置映射系统目前只是提供了一个静态的、基于某一对象的肠道模型。由于肠道形态和走势存在个体差异,如果要应用于实际以实现肠道内电子药丸的定位,还必须把这个静态模型变成能反映个体特征的个性化肠道模型。鉴于肠道结构的一致性,以现有的静态模型为参照,可以利用标准与个性化图像融合技术来实现肠道的个性化变形处理。具体而言,先通过 CT 或 MRI 等影像图像获得个体的十二指肠、空肠、回肠、盲肠、升结肠、横结肠、降结肠、直肠的起始位置,再在数字化模型中改变标准肠道模型的这些特征来仿真相应个体的肠道形态,从而实现个性化的肠道模型,满足肠道定位的实际需要。此外,以手工分割的肠道为参照,进一步研究其自动及半自动分割方法对于减少人工参与、提高分割效率和精度也有重要意义。

[参考文献]

[1] Liu ZG. Review of research on digital visible human. *Journal of Medical Intelligence*, 2003, 24(3): 161-163.
 刘志国.“数字化虚拟人体”研究概览. *医学情报工作*, 2003, 24(3): 161-163.

[2] Bai J, Shao SJ, Liu HJ, et al. Prospects of digital virtual figures study in medical world. *Shanghai Journal of Traditional Chinese Medicine*, 2005, 39(2): 3-5.

- 白娟, 邵水金, 刘红菊, 等. 数字化虚拟人体研究在医学领域的应用前景. 上海中医药杂志, 2005, 39(2): 3-5.
- [3] Liang XL, Zheng XL, Hou WS, et al. A design for locating the micro-medical device in human alimentary canal using nuclear imaging technology. Chin J Med Imaging Technol, 2006, 22(10): 1592-1594.
- 梁学领, 郑小林, 侯文生, 等. 消化道微型诊疗胶囊核医学图像定位系统设计. 中国医学影像技术, 2006, 22(10): 1592-1594.
- [4] Cui JG, Zheng XL, Hou WS, et al. The research of a remote-control-based micro capsule for drug delivering and sampling in intestine. Beijing Biomedical Engineering, 2004, 23(3): 161-163, 184.
- 崔建国, 郑小林, 侯文生, 等. 用于肠道药物释放和采样的遥控式微型药丸的研制. 北京生物医学工程, 2004, 23(3): 161-163, 184.
- [5] Hou WS, Zheng XL, Peng CL, et al. The study of magnetic-location-based dynamic tracing technology for the alimentary canal micro drug delivering. Beijing Biomedical Engineering, 2005, 24(1): 36-38.
- 侯文生, 郑小林, 彭承琳, 等. 基于磁定位的消化道微型药物释放装置动态跟踪技术研究. 北京生物医学工程, 2005, 24(1): 36-38.
- [6] Wu XD, Hou WS, Peng CL, et al. Wearable magnetic locating and tracking system for MEMS medical capsule. Sensors and Actuators A-Physical, 2008, 141(2): 432-439.
- [7] Zhang SX, Liu ZJ, Tan LW, et al. Dataset of first Chinese visible human female completed. Acad J Third Military Med Univ, 2003, 25(4): 394-396.
- 张绍祥, 刘正津, 谭立文, 等. 首例中国女性数字化可视人体数据集完成. 第三军医大学学报, 2003, 25(4): 394-396.
- [8] William JS. The VTK user's guide. Kitware: Inc, 2001: 22-26.
- [9] Xu SB, Lu WX. Surface reconstruction of 3D objects in computerized tomography. CVGIP, 1988, 44(3): 270-278.
- [10] Lorezen W, Cline H. Marching cubes: a high resolution 3D surface construction algorithm. ACM Computer Graphics, 1987, 31(4): 163-170.
- [11] Durst MJ. Letters: additional reference to "marching cubes". Computer Graphics, 1988, 22(2): 72.