

文章编号:1001-9081(2010)03-0582-03

## 医学 TPS 中放射线剂量分布的三维可视化方法

武君胜,杨红远,湛洪初

(西北工业大学 软件与微电子学院,西安 710072)

(wujunsheng@nwpu.edu.cn)

**摘要:**针对放射治疗计划系统 GyroRTPS 需要,给出了一个放射线剂量分布三维可视化的实现方法,以帮助医师多角度查看病灶组织任意剖面上的放射线剂量分布情况。首先论述系统中对体数据和剂量数据的坐标变换、插值计算等预处理;然后根据 VTK 工具包中可处理的数据类型对数据进行转换,给出了基于 VTK 实现剂量分布三维显示及其与体数据融合显示的方法。实例测试结果和临床使用表明,基于该方法开发的软件系统运行可靠,可更好地辅助医师进行放射治疗决策。

**关键词:**医学治疗计划系统;放射线;剂量分布;可视化方法

**中图分类号:** TP391.41; TP391.9 **文献标志码:** A

### 3D visualization method of radiotherapy dose distribution in medical TPS

WU Jun-sheng, YANG Hong-yuan, CHEN Hong-chu

(College of Software and Microelectronics, Northwestern Polytechnical University, Xi'an Shaanxi 710072, China)

**Abstract:** According to the requirements of GyroRTPS, a 3D visualization method used to display the distribution of radiotherapy dose was proposed to assist doctors to look over the dose distribution from different angles. Firstly, some preprocesses of coordinate transformation and interpolation on volume data and dosage data were discussed. Secondly, after these processing, the data for visualization was normalized according to VTK specifications. Finally, the method based on VTK to joint display dose data and human body data in 3D way was realized. The test shows that the reliability of this method and this system can better help the doctor carry on the radiotherapy.

**Key words:** medical Treatment Planning System (TPS); radioactive ray; dose distribution; visualization method

## 0 引言

治疗计划系统(Treatment Planning System, TPS)是伽玛刀治疗的配套软件。在临床放射治疗前,通过对满足 DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine)的医学序列 CT (Computed Tomography) 或 MRI (Magnetic Resonance Imaging)等图像的分析,实现对病灶区域的精确定位,同时由治疗计划系统模拟射线照射时的剂量分布情况<sup>[1-2]</sup>,辅助医生制订准确的放疗方案,使放射治疗最大限度杀死癌变细胞的同时,避免或减少对正常组织和重要器官的伤害。

简单的二维 TPS 依据某一方向的 CT 切片数据进行模拟放射,只能显示单张切片上的剂量分布情况,不能全面地反映病灶区的受剂量情况,无法模拟真实的立体放射治疗。

一个完善的放射治疗 TPS<sup>[3]</sup>,需要精确描述病灶区域和正常组织的空间关系,建立准确的剂量分布数据场<sup>[4]</sup>,最终能够对人体患病组织的剂量空间分布进行多角度多层面的可视化显示处理,帮助医生制订准确详尽的放射治疗方案,以期达到提高放射治疗精度、减少放射损伤的目的。对剂量分布采用三维立体方式的可视化,将成为伽玛刀放射治疗中一个不可缺少的功能。

## 1 二维剂量分布显示

剂量通常是指一次给药后产生药物治疗效果的数量,这里则用于表征射线强度。在伽玛刀放射治疗的配套软件 TPS

中,剂量分布是指伽玛射线的粒子照射到人体中能量吸收的空间分布。剂量计算一般由 TPS 中的单独模块完成,剂量计算完成后,空间某点的剂量值存放在一个三维数组中供显示模块调用。传统的剂量显示按照等值线绘制方式得到平面等剂量线图,如图 1 所示;或者显示空间各层的等剂量云图,如图 2 所示。

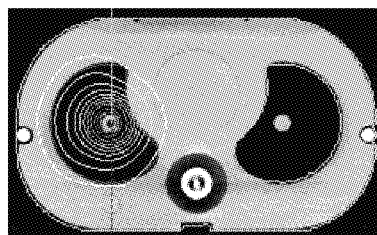


图1 等剂量线显示效果

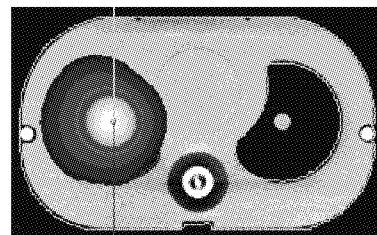


图2 分层等剂量云图显示效果

虽然平面显示可方便地查看某一切片上的剂量分布情况,但是无法提供一个三维(立体)的剂量分布显示<sup>[5]</sup>,医生也无法从整体上查看受照射病灶组织中剂量分布情况,所以

收稿日期:2009-05-13;修回日期:2009-08-19。

**作者简介:**武君胜(1962-),男,陕西礼泉人,教授,博士,主要研究方向:软件工程、科学计算可视化; 杨红远(1984-),男,河南陕县人,硕士,主要研究方向:软件工程; 湛洪初(1981-),男,湖南冷水江人,助教,博士研究生,主要研究方向:网络多媒体、科学计算可视化。

仍然需要医生依靠经验,由多幅二维图像估计病灶组织的大小及形状,“构思”剂量分布与病灶组织的三维几何关系。

## 2 体数据和剂量数据的预处理

随着计算机图形学和科学计算可视化技术的发展,可以很方便地利用一些可视化工具包(例如 VTK 等)对体数据进行三维重建,并对绘制结果提供任意面剖切显示<sup>[6]</sup>。本文依据作者所在项目组从事研发的“陀螺刀”放射治疗计划系统 GyroRTPS(Gyro Radiotherapy Treatment Planning System)来探索利用 VTK 进行剂量分布的三维可视化研究。本文中涉及的体数据为符合 DICOM 协议的 CT 或 MRI 图像数据,剂量则依据“陀螺刀”设备的制造原理由 GyroRTPS 计算得到。

### 2.1 坐标转换

在 GyroRTPS 中,由剂量计算模块计算得到的剂量数据存放在一个 float 型的三维数组中,其计算是在如图 3 所示的坐标系中进行。为了使处理的数据量尽可能小,并不是对每张图片的所有像素都做处理,只计算兴趣图像区内的剂量分布,兴趣图像区的大小和位置由医师勾勒得出。所以,剂量数据的分布原点也不是坐标系的原点。

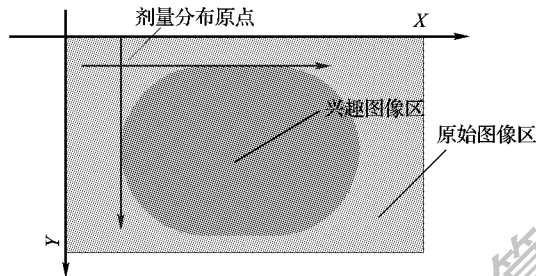


图3 剂量坐标和体数据坐标示意图

如图3所示,剂量分布原点所在的坐标系为计算剂量数据时所用的坐标系,其外层的坐标系则为原始图像所在坐标系,两者所用并不是一个坐标系。而在对 DICOM 图像序列进行三维重建时的坐标系(在此只考虑 XY 轴方向的二维坐标系)则是以原始图像坐标系的点(0, N)为原点(N为原始 DICOM 图像的宽度),以向右为 X 轴正方向,以向上为 Y 轴正方向, X 轴与原始 DICOM 图像下边重合的坐标系。所以在对原始剂量数据进行三维重建之前,必须进行坐标转换,将剂量坐标系下的剂量数据转换为三维重建坐标系下的数据。

设原始图像所在坐标系为  $S_1$ , 剂量分布坐标系为  $S_2$ , 三维重建坐标系为  $S_3$ 。现已知剂量分布坐标系  $S_2$  的原点在  $S_1$  中的坐标为  $(x_1, y_1)$ , 三维重建坐标系  $S_3$  在  $S_1$  中的坐标为  $(0, N)$ , N 为原始 DICOM 图像的宽度。现在的工作是需要将剂量坐标系  $S_2$  下的所有点转换到坐标系  $S_3$  下。设坐标系  $S_2$  下任意一点的坐标为  $(x_2, y_2)$ , 转换到坐标系  $S_3$  下的坐标为  $(x, y)$ , 则转换公式为:

$$x = x_1 + x_2 \quad (1)$$

$$y = N - y_1 - y_2 \quad (2)$$

又由于坐标系  $S_1$  的度量单位为像素长度,而坐标系  $S_2$  和  $S_3$  的度量长度均为物理长度,故还需要对数据在像素单位和物理单位之间作一个转换。对于固定的 DICOM 图像序列,其像素长度和物理长度的比例都是一致的,所以可以将所有的坐标转换都按同一比例进行。在 DICOM 的头文件中,从 0028,0030 处可以读到该转换比例,以  $H$  和  $V$  表示。由于坐标系  $S_2$  和  $S_3$  的度量长度单位一致,故只需要对坐标系  $S_2$  原点在  $S_1$  中的坐标进行转换即可。最后转换公式为:

$$x = x_1 \times H + x_2 \quad (3)$$

$$y = (N - y_1) \times V - y_2 \quad (4)$$

### 2.2 插值处理

VTK 所处理的 DICOM 图像序列中,每张切片之间都有一定的间距,如图4所示。这个距离可以从 DICOM 头文件的 0018,0050 处读得,也可以通过从 0020,0032 处读取 DICOM 图片的位置,用相邻两张图片位置的值相减求得。VTK 在对其进行处理的时候,需要选择一种插值方法,对这些间隔进行插值处理。由于剂量值是根据每张 DICOM 图片计算的,并没有两张 DICOM 图片间隔处的剂量值,故在对剂量分布进行三维显示的时候也需要进行插值处理。由于人体 CT 值在同一组织中可近似认为是连续分布,故选用比较简单、计算速度比较快的线性插值处理。

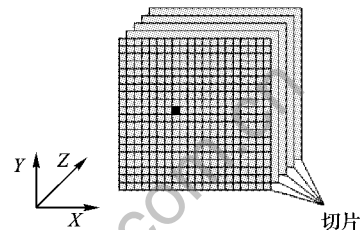


图4 DICOM 序列

在对剂量数组进行处理时,系统采用只处理剂量值  $D$  大于 10% 最大剂量值  $D_{\max}$  的数据即  $D \geq 0.1 D_{\max}$ , 舍弃其他剂量数据的处理,这样可以大大减少需要处理的数据。故在进行插值显示的时候,也只考虑连续两张 DICOM 图片上,相邻两点在 Z 轴方向上剂量值至少有一个点大于最大剂量值 10% 的部分。对插值计算出的剂量值,也要进行一次判断,去掉所有小于  $0.1 D_{\max}$  的数据,尽最大可能地减少需要处理的数据,提高系统绘制速度。

线性插值时,按读到的两张 DICOM 图片的间距来决定插值的层数。例如,假设相邻的两张 DICOM 图片 A 和 B 的间距是  $s$ ,在图片 A、B 上相邻两点的剂量值分别是  $P_1$  和  $P_2$ ,则需要在该相邻两点间插值  $s + 1$  层数据,第  $n$  层剂量的值  $P$  为:

$$P = P_1 + n \times (P_2 - P_1) / (s + 1) \quad (5)$$

对三维剂量数组中 Z 轴方向的每一层剂量数据都按照式(5)进行插值处理,最后得到一个新的三维剂量数组来进行剂量的显示处理。

## 3 剂量分布的三维可视化方法

### 3.1 剂量的三维显示

在对剂量分布进行三维绘制之前,需要将剂量数组构造为 VTK 可以处理的数据类型。根据 VTK 中数据结构(主要是几何结构和拓扑结构)的不同,可以将其数据类型分为 5 种<sup>[7]</sup>。

#### 1) 结构化点集 (Structured Points)。

其点与 cell(单元,相邻的八个采样点构成的立方体)的排列是规则地放在方形的格子里。在三维医学图像处理的项目中,读入图像文件的数据就是这一种类型。Structured Points 是拓扑与几何都规则的数据类型,其维度代表数据的拓扑属性,起始点与空间间隔代表几何属性。在 Structured Points 中,无需明确定义每一个点的位置,因为其数据排列是按顺序的。

#### 2) 线性网格 (Rectilinear Grid)。

数据的拓扑属性是规则的,而几何属性为半规则。拓扑的方向是明确按 XYZ 轴方向而无需直接定义,几何方向要用

数组来代表,该数组中每个元素有三项分别代表XYZ轴三个方向上的数据(点集)。

### 3) 结构化网格 (Structured Grid)。

数据的拓扑属性是规则的,而几何属性不规则,其网格的形状可能是弯曲的。

### 4) 非结构化网格 (Unstructured Grid)。

数据的拓扑属性与几何属性都不规则,所有的数据都可以以这种结构来表示,但这种结构的数据量非常大,占用最多的计算机资源。

### 5) 多边形数据 (Polygonal Data)。

用简单的图形组成的比较复杂的三维图形通常是用这种数据格式表示。一个多边形数据通常由顶点、顶点集合、线、线集、多边形和三角面片组成,其数据的拓扑属性与几何属性都不规则。

Polygonal Data 类型与 Unstructured Grid 有些相似,但 Unstructured Grid 数据中的 cell 可以为三维图形,如小锥体、立方体等,而 Polygonal Data 中的 cell 只能为二维或一维的图形,像三角面片、多边形之类。图5为 Polygonal Data 的几种数据结构。

由于对剂量数组进行过线性插值,并且将所有剂量值  $D$  小于最大剂量值的  $1/10$  (即  $D < 0.1D_{\max}$ ) 的点全部置空,故整个剂量分布为一系列不均匀分布的点,而三维重建又需要将其显示为一个体结构,故本系统采用 Polygonal Data 作为剂量数据将要构建的数据结构。

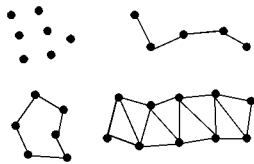


图5 Polygonal Data 数据结构

在进行显示处理时,为直观显示剂量大小,需要对剂量值作归一化处理,并建立它与像素颜色的索引关系。处理规则是:设0值对应红色,0.5对应绿色,1对应蓝色,以某点的剂量值与最大剂量值的商作为该像素点的颜色索引值,按从0~1由红到蓝色递进变化来实现剂量值分布图的显示绘制。

数据结构的具体处理过程如下:

- 1) 对剂量数组进行线性插值处理;
- 2) 将所有符合条件的点坐标插入 vtkPoints;
- 3) 将这些点的剂量值与最大剂量值之商插入 vtkFloatArray;
- 4) 将所有点构造 cell, 插入 vtkCellArray;
- 5) 通过 SetPoints ( vtkPoints ), SetVerts ( vtkCellArray ), SetScalars ( vtkFloatArray ), 构造出最终的 vtkPolyData。

构造多边形数据 ( Polygonal Data ) 后,就可以直接使用 VTK 提供的三维重建流程进行剂量的可视化处理<sup>[8]</sup>,如图6所示。图7为不含体数据的剂量分布三维显示效果图(图中白色虚线是对三维重建图像进行任意面剖切时所用框架的一部分)。



图6 剂量可视化流程

## 3.2 剂量分布与体数据融合显示

为了使医生可以很直观地观察剂量分布与人体组织的空间关系,需要将剂量分布图与体数据三维重构图<sup>[2,9]</sup>融合在一起进行对比显示。

将两幅图像显示在同一个绘制窗口 ( vtkRenderWindow ) 的时候,如果其坐标系、坐标起点等都相同,则可以将两幅图像融合显示。剂量数据经过预处理,其坐标系及剂量在 DICOM 图片上的分布与体数据的坐标都严格对应,因此,利用 VTK 的渲染器 ( vtkRenderer ) 同时对体数据和剂量分布两个角色对象进行渲染,就可以得到两者的融合显示。实际效果如图8所示,其中图8(a)是面绘制剂量分布与面绘制的融合,图8(b)是剂量分布与体绘制的融合。

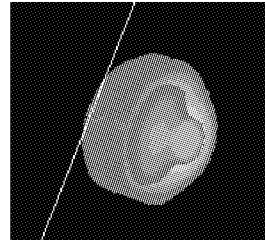


图7 剂量可视化效果

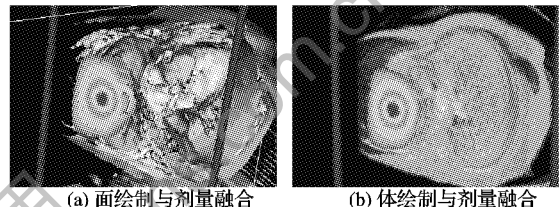


图8 体数据与剂量的融合绘制

## 4 结语

多数商用医学放射治疗 TPS 一般只对剂量分布的二维平面等值线或等剂量面提供云图显示,虽然可以使医生观察每一张 CT 图片上的剂量分布情况,但是无法提供剂量分布与人体组织的空间分布关系,也无法提供在任意角度的剖面上的剂量分布显示。而剂量分布的三维显示正好弥补了这一缺陷,使医生可以更直观地观察剂量分布情况。

在已实现的系统中,仅仅提供了剂量分布的三维可视化显示,用不同的颜色代表剂量值的一个大小区间,但无法提供某一具体点的剂量值,后续工作将考虑增加基于鼠标拾取的点剂量数值显示功能。

## 参考文献:

- [1] 薛定宇, 刘艳梅, 徐心和, 等. 放射治疗剂量分布的计算机仿真[J]. 东北大学学报: 自然科学版, 2007, 28(5): 627-630.
- [2] 陈卓. 基于 VTK 的可视化相关研究及其在医学 TPS 中的应用[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2006.
- [3] WU JUNSHENG, CHEN HONGCHU, LI YONG. The research of radiotherapy treatment planning system based on CT image[C]// The 3rd International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering. Beijing: [s. n.], 2009: 1-4.
- [4] 丰树强. 60Co 治疗机剂量分布数据库的建立与图形显示[J]. 中国原子能科学研究院年报, 2007(1): 310-311.
- [5] 马永忠, 王时进, 苏旭. 立体定向放射治疗中靶外剂量分布的研究[J]. 中国职业医学, 2006, 33(2): 94-97.
- [6] 刘志远, 郑永果. 基于 VTK 的医学图像三维重建[J]. 信息技术与信息化, 2009, 33(1): 59-61.
- [7] VTK User Guide [EB/OL]. [2009-05-31]. <http://www.vtk.org/VTK/resources/software.html#latest>.
- [8] 瓯海峰. 基于 VTK 的医学图像三维重建及其可视化[J]. 中国科技信息, 2007(22): 187-188.
- [9] 李婧, 李昌华. 基于 VTK 的体绘制系统实现[J]. 现代电子技术, 2008, 31(12): 88-90.