

# 一种有效的序列断层图象的八元树构造算法\*

赵海峰 束学斌 黄勇 汪炳权

(安徽大学电子工程与信息科学系,合肥 230029)

**摘要** 利用八元树进行物体的三维重建是一种十分有效的方法。本文针对医学图象处理中的实体三维重建,分析了序列断层图象的空间布局和八元树结构的基础上,提出了一种通过断层序列图象直接建立八元树的快速算法,并易于在微机上编程实现该算法。

**关键词** 断层图象 八元树 八元码 节点 三维重建

## 0 引言

三维重建是计算机在形态科学中取得的重大成就之一,也是医学图象处理中研究的热点问题。以前,由于那时医学设备生成的断层图象分辨率较低,产生2幅断层图象的间距较大,以及计算机硬件的限制,三维重建主要针对的是表面重建<sup>[4,5]</sup>,如典型的例子是通过几幅断层图象重构出给定器官的三维外部形状。表面三维重建主要有2个缺点:不能准确地判定物体内部的情况;通过各种数学的插值方法重构出的物体表面与实际物体表面有相当大的差距。随着计算机速度的迅速提高,存储容量的增大,特别是先进的医学设备,例如现在的核磁共振设备,它生成图象(MRI)的分辨率很高,空间纵向拍摄更加细致,这些都能满足实体三维重建的要求。我们利用重建的三维实体可以进一步完成诸如内部检查、软体解剖、外科手术模拟等更加复杂的三维处理工作。

实体三维重建需要大量的序列断层图象数据,管理这么大的数据量并且要建立数据之间的有效联系,必须对物体的三维结构进行正确描述。物体的三维表示有许多方法,主要分为基于表面的表示(Surface Based Representation)和基于体积的表示(Volume Based Representation)2大类。八元树(Oc-tree)表示法作为一种紧凑、简洁、直观的基于体积的表示法,近年来被广泛地应用到计算机视觉的研究

领域。成熟的权的遍历算法更为物体八元树表示的许多操作提供了便利的条件。其本身所具有的层次化数据结构、空间易达性以及存储数据的预分类性等特点又极大地简化了该表示方法的实际运用,例如处理遮挡表示、消影、连接区域、近邻搜索等操作。此外,由于八元树编码表示与空间位置能够实现一一对应,因便于图象理解进判别边、角、面的相邻位置关系。同时,利用八元树的分层结构还可以达到任意要求的精度,逼真地还原出三维物体。

利用八元树进行各种断层图象(B超、CT、MRI等)的真实的三维重建是一种有效的方法,这种方法首先从序列断层图象中构造出八元树,然后再进一步处理。

## 1 八元树和序列断层图象

八元树是一种分层树结构,其每一个节点定义为一种递归分解的三维立方体空间。为了处理上的方便,我们对每次分解的相邻八个节点进行排序(0, 1, 2, ..., 7),如图1所示。八元树的根节点表示整个空间,其余的节点都反映对空间递归分割的结果,叶节点是对整个空间最细分割的单元立方体。树的每个节点包括一个或更多的并于物体体积的特征值,例如最简单的节点只有一个特征——占空性,它有3个可能的值 $E$ ,  $P$ 和 $F$ 。其中 $E$ 表示物体不占据这个空间,与此空间不相交; $P$ 表示物体部分占据这个

\* 本课题得到安徽省自然科学基金项目资助

收稿日期:1998-03-24

空间,与此空间部分相交;  $F$  表示物体占据全部空间与此空间全部相交。 $E$  和  $F$  节点定义的物体与空间相互关系不能再进行进一步的分割,它们都是叶节点,而  $P$  节点称为非终结结构的树枝节点,对于  $P$  节点的空间对应关系是由其后代进一步定义的。例如,图 2 左图中物体与整个空间的位置,用八序列断层图象是指利用一些专用设备(超声波仪、CT 设备、核磁共振机等)获取的一组物体剖面图,如图 3 所示。因为要进行实体的三维重建,所以我们需要的断层

图象数目较多。例如人的头部实体三维重建大需要 50~100 幅断层图象。

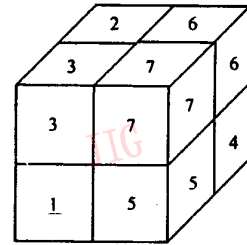


图 1 余元树节点对应的三维立方体

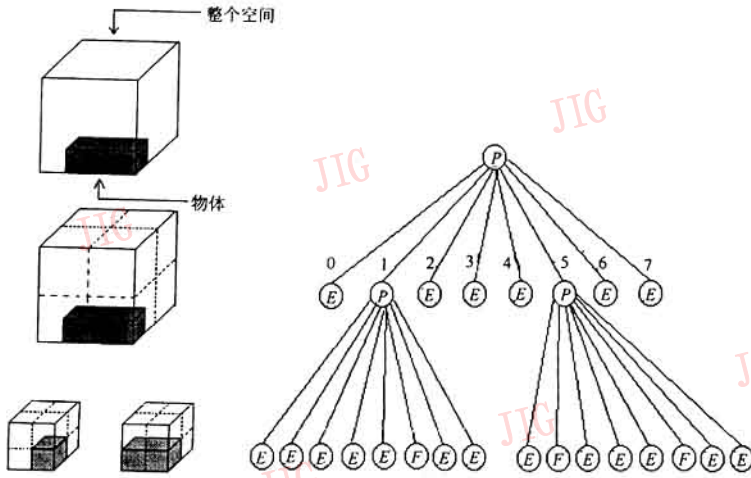


图 2 八元树与物体分布的空间对应

## 2 构造八元树的算法

### 2.1 计算八元树的深度

根据断层图象的数目(空间坐标  $z$ )和断层图象的尺寸(空间坐标  $x, y$ )中最大的数值  $D = \max\{x, y, z\}$ , 设八元树的深度为  $L$ , 则  $D$  和  $L$  应该满足(1)式, 这是因为八元树所对应的物体必须被包括在一个以 2 为模的立方体整体空间中。

$$2^{L-1} \leq D \leq 2^L \quad L = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (1)$$

例如 100 幅  $320 \times 320$  的序列断层图象,  $z = 100$ ,  $x = y = 320$ ,  $D = \max\{100, 320, 320\} = 320$ , 要满足(1)式, 则  $L = 9 (2^9 = 512, 2^8 = 256)$ , 所以构造出八元树总共有 10 层, 其中第 0 层是根节点, 第 9 层是树的最后一层, 共有  $512 \times 512 \times 512$  个节点。

### 2.2 设定坐标系和八元树节点的空间分割顺序

根据序列断层图象的空间分布设定直角坐标

系, 并规定八元树分割后节点与空间的对应关系。图 3 所示序列断层图象的坐标系和八元树节点的空间分割顺序如图 4 所示。

### 2.3 计算图象中每个象素点在八元树中的位置——八元码

构造八元树的关键问题是断层图象中的象素对应于八元树中的哪个节点。断层图象的每个象素应该与树中的叶节点一一对应。由于空间分割的递进性, 象素在八元树中每层的位置都是确定的(0, 1, 2, ..., 7)。例如, 假设整个空间中只有一个象素位于空间的一个顶角, 如图 5 的左图所示。整个空间对应的八元树如图 5 的右图所示。

显然, 经过空间的 3 次八元分割, 每次它都处于第 8 部分, 对应的是八元树中每层的 7 节点。因此, 这个象素对应的位置可以用代码 777 表示, 我们把它换为八元码。

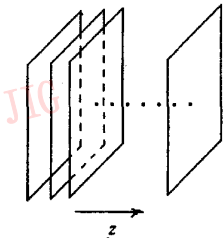


图3 序列断层图象

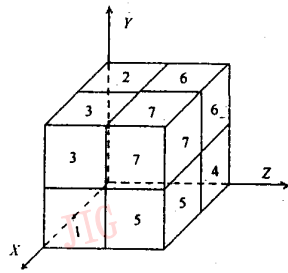
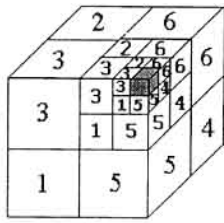


图4 坐标系的设定和空间分割顺序



八元码  $\alpha = \alpha_0 \alpha_1 \alpha_2 = 777$

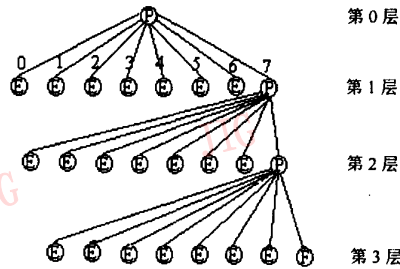


图5 八元码

建立八元树所使用的空间分割半径是以2为模的，从大到小的半径依次是  $2^{L-1}, 2^{L-2}, \dots, 2^1$ ，其中  $L$  是八元树的深度。我们可以用一个十分简便的方法由像素坐标  $(x, y, z)$  直接计算出它的八元码，方法如下：

将坐标  $(x, y, z)$  改写成二进制的形式

$$x = x_{L-1} x_{L-2} \dots x_i \dots x_0$$

$$y = y_{L-1} y_{L-2} \dots y_i \dots y_0$$

$$z = z_{L-1} z_{L-2} \dots z_i \dots z_0$$

其中  $x_i, y_i, z_i = 0$  或  $1$

$$i = L - 1, L - 2, \dots, 0$$

令  $O_i = x_i y_i z_i$  则八元码  $O = O_{L-1} O_{L-2} \dots O_i \dots O_0$ 。 $O_{L-1}$  对应第一次分割， $O_{L-2}$  对应第二次分割，依此类推， $O_0$  对应最后一次分割。正是因为我们正确地设定了坐标系和八元树节点的空间分割顺序，所以才能如此简便地计算出像素在树中的位置。

### 2.4 八元码构造八元树

八元树的构造过程：先建立根节点，从断层图象中依次读入像素点，按照 2.3 的方法，根据它所在的空间位置  $(x, y, z)$  求出该像素点的八元码。按照树的先根遍历方法和八元码  $O_{L-1} O_{L-2} \dots O_i \dots O_0$  访问八元树中各层的节点，当遇到所访问的节点不存在

时创建一个新的节点，直到访问到八元树中与象素点对应的位置，这个节点必然是叶节点，将该节点的数据域用象素的灰度值代替。我们将  $z$  幅断层图象中所有的象素逐个加入树中，便构造出序列断层图象的八元树，它是一个满八元树，最底层 ( $L$  层) 的所有叶节点与序列断层图象的所有象素点是一一对应的。

### 2.5 八元树的优化

通过步骤 2.4 所生成的八元树不是一个最优化的树结构。对于相同父亲的八个节点，如果它们的灰度值相同，则可以用它们的父新节点代替这八个节点，并将它由树枝节点改为叶节点。这样可以大大减少存储空间。优化算法采用树的后根遍历，从八元树的每个叶节点开始，判断 8 个兄弟节点之间的灰度值是否相同，如果相同，则将八个节点的父亲节点改为叶节点，把它的数域的值改为子节点的值，并删除这八个节点。优化的过程从八元树的最底层开始，逐层地返回直至根节点。

经过上述步骤，我们将序列断层图象准确完整地表示成一个八元树，把离散的空间数据结构转变成有效的树型数据结构，为进一步完成实体的三维重建工作奠定基础。

### 3 结论及实验结构

本文通过分析八元树的结构和断层图象的空间特性,提出了一种由序列断层图象直接构造元树的算法。这一算法具有简单便、实用,易于编程的优点。我们利用构造的八元树可以进一步完成三维立体显示、任意角度剖切、空间分割等复杂的物体三维

重构工作。

在实验中,我们使用人头部的 109 幅核磁共振断层图象(尺寸为  $256 \times 256$ ),取阈值为 25,即图象上灰度值大于 25 的点都做为物体的体素。我们通过这 109 幅断层图象建立了与实体相对应的八元树,总共建立了 266708 个 Octree 节点,大约需要 15M 的内存,然后使用基于八元树的密度梯度三维显示方法,获得了满意的结果,如图 6 所示。

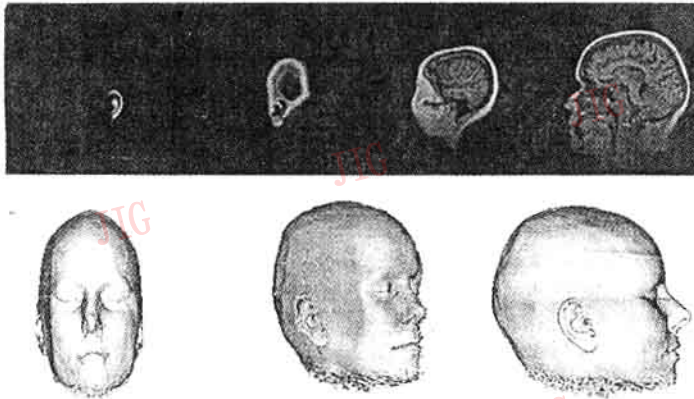


图 6 人头部的 MRI 图象(109 幅中的 4 幅)及三维重建

#### 参考文献

- 1 Donald J Meagher. Geometric modeling using octree encoding. computer graphics and image processing, 1982, 19: 129 ~ 147.
- 2 Johnson R F, Brunder D G. Magnetic resonance image interpolation for 3-dimensions data analysis and display. Science and engineering on supercomputers, 1988, 412 ~ 421.

- 3 Mark S Schmalz. An introduction to spatial transformation architectures with applications. Visual information processing II, 1993, SPIE, 1961: 55 ~ 66.
- 6 汪炳权,胡艳军,罗 斌. CT 断层图象序列中多个目标三维重建和显示. CT 理论与应用研究, 1993, (2).
- 7 罗斌,汪炳权. 基于 PC 机的断层图序列 3D 表面重建. 电子科学学刊, 1993, (1).



**赵海峰** 1972 年生,1995 年和 1998 年在安徽大学电子工程与信息科学系分别获得学士学位和硕士学位,现留系任教。主要研究方向为医学图象的三维重建,图象处理和图形学,汉字处理等。



**束学斌** 1962 年毕业于安徽大学物理学系,副教授,安徽大学电子系计算机教研室主任。长期从事计算机教学和科研工作。发表论文数十篇。



**黄勇** 1988年获安徽大学电子工程与信息科学系学士学位,1997年获该校电路与系统专业的硕士学位,现为该系讲师及科研人员。主要研究方向为计算机视觉及图象处理与识别方法的研究工作。



**汪炳权** 1959年毕业于安徽大学电子工程与信息科学系教授,中国图象图形学学会理事,中国电子学会高级会员。主要研究方向为图象识别和计算机视觉应用。发表论文数十篇,曾获安徽省科技进步三等奖2项。

## A New Efficient Algorithm for Constructing Octree from Slicing Images

Zhao Haifeng, Shu Xuebin, Huang Yong and Wang Bingqian

(Department of Electronic Engineering, Anhui University, Hefei 230039)

**Abstract** It is an efficient way to use octree for 3D reconstruction. In this paper, aiming at the true solid reconstruction of medical images, we propose a fast algorithm for construction octree by slicing images on the basis of analyzing the space layout of medical cross-section images and the configuration of octree. Besides this, it is easy to program and carry out.

**Keywords** Slicing images, Octree, Octcode, Node, 3D reconstruction

## 泰克彩打连获数项业界大奖

自1998年底泰克公司发布几款新产品之后,其获得业界大奖的消息几乎从未停止过,这其中包括:

- 泰克 Phaser740L 于1998年底荣获美国 PC Magazine“98最佳外设”奖。
  - Phaser740N 1999年4月荣获美国 PC World 杂志评选的“Best Buy”大奖。
  - Phaser740 在1999年3月美国 PC Computing 测试实验室的评测中,它的打印效果被评为“最佳输出”。
  - Phaser740 在1999年5月美国 Federal Computer Week 的测试中综合排名位列第二名,列第一的是泰克公司的另一款产品 Phaser840。
  - 泰克 Phaser780 A3 彩色激光打印机于1999年3月荣获美国“Desktop Publishers”评选的同类产品中唯一的“Five Star”奖。
  - Phaser840 在美国 Federal Computer Week 的评测中不仅名列第一,而且还荣获最高的“Best Buy”大奖。
  - 1999年5月10日的美国著名刊物“Business Week”(商业周刊)的“技术与你”专栏中盛赞性能优异的泰克 Phaser840 打印机。
  - 美国 PC Magazine 知名专栏记者 John C. Dvorak 在1999年4月6日一期的文章中着力介绍了与众不同的泰克 Phaser840。
  - 1999年6月美国 Windows 杂志将 Phaser840P 选为同类产品中最佳,并把此产品列入 WinList。
- 泰克公司在高端彩色输出领域拥有各种领先的技术,其产品的连续获奖并非偶然。