

# 从物理模型重构三维体数据场<sup>\*</sup>

董峰 蔡文立 陈天洲 石教英

(浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室 杭州 310027)

**摘要** 本文着重研究三维体数据场基于整体对象数据表示及数据解释的物理构模问题. 首先通过三维几何造型建立数据模型的几何表示, 然后通过几何匹配的方法从数据场抽取出具有相同几何特征的曲面, 以实现基于模型的数据场重构. 本文还提出了一种快速 B 样条曲线离散生成算法, 并据此提出了曲线控制多边形的估算方法, 用于抽取数据场几何特征.

**关键词** 可视化, 物理构模, 数据场重构, 特征提取, 几何匹配.

**中图法分类号** TP391

随着科学计算可视化技术的发展, 可视化物理构模技术引起了人们的关注. 以往大量的可视化研究集中于数据场绘制技术, 提出了各种面绘制及体绘制方法.<sup>[1~7]</sup>而针对数据整体表示的研究开展得还相当少, 数据场仅简单地被当作三维规则或不规则的网格结构, 数据场的特征抽取亦仅局限于单元内等值面抽取, 而体绘制更是不存在中间面的抽取及表示. 事实上, 仅依赖于单个或若干个单元的等值面抽取来解释数据场往往是不可靠和确乏物理意义的. 只有在反映数据场物理背景的物理模型指导下才能从全局上理解和重构数据场所包含的物理对象. 可视化物理构模的概念正是基于此而提出来的. 它的研究内容包括数据场的表示及数据场的解释等. 数据场的表示主要研究如何采用数学方法基于数据本身的物理意义描述数据场. 数据场的解释则主要研究如何还原数据场的物理意义.

三维医学图象重建是当前可视化技术的热点.<sup>[3~8]</sup>在传统技术中数据场被简单地描述成三维规则立方网格单元, 分割仅基于图象灰度变化在各数据层进行, 而没有考虑对象本身的几何特征. 为了更准确地重构三维体数据场并恢复其物理意义, 必须从物理构模的概念出发, 先建立物体的几何模型表示, 然后在其指导下对三维数据场进行分割识别. 这是可视化物理构模的一个重要特点. 由此可见, 可视化物理构模的研究和传统的计算机视觉等领域有着重要联系, 已有的各种视觉系统<sup>[9~11]</sup>可成为物理构模研究的重要参考.

要实现与几何模型的匹配必须从三维数据场中恢复对象的几何特征, 并实现三维自由

\* 本文研究得到国家自然科学基金、国家科委基金和浙江省自然科学基金资助. 作者董峰, 1968年生, 博士, 助研, 主要研究领域为科学计算可视化, 计算机图形学. 蔡文立, 1966年生, 副研究员, 主要研究领域为科学计算可视化, 计算机图形学. 陈天洲, 1970年生, 本科生, 主要研究领域为科学计算可视化, 计算机图象处理. 石教英, 1937年生, 教授, 博士生导师, 主要研究领域为计算机图形学, 科学计算可视化, 虚拟现实, CAD, 分布式图形处理.

本文通讯联系人: 董峰, 杭州 310027, 浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室

本文 1996-12-04 收到修改稿

形体的匹配. 目前, 三维物体的匹配大量局限于规则物体或某一类物体<sup>[12,13]</sup>, 关于自由形体匹配的工作不多. Besl 等在文献[14]中提出了三维自由曲面对齐匹配的概念及算法. 其基本方法是: 已知一组测量数据和模型数据, 对测量数据集中的每个点, 找到模型数据集中的相应点, 构成两个点数相同的集合. 然后通过旋转和平移实现数据场和模型的对齐. 通过基于四元数的一系列推导及迭代方法, 可得到旋转及平移操作的表达式. Besl 算法适用于深度图象, 而深度图象和体数据场有较大差别. 对体数据场必须先数据抽取, 然后再进行匹配. Peter 等提出针对体数据场采用微分几何理论及迭代方法从数据场的局部参数表面模型中抽取各点所在微分曲面的法向量、主曲率等局部几何特征的方法.<sup>[15]</sup>该方法以局部坐标系的二次抛物面形式为初始模型, 在每个三维图象点通过邻近点的拟合求出模型参数, 以得到主曲率初始大小及方向, 然后基于邻近支持点集对参数进行迭代修正. Peter 等的算法通过提取数据场中每一点的几何特征来表示整幅图象的几何特征, 但是对每一点进行特征运算的计算量是非常大的, 并且对物体的几何描述应该基于总体特征而非局部特征.

本文着重研究三维体数据场基于整体对象的数据表示及数据解释的物理构模问题. 处理目标是从三维人体头部核磁共振图象体数据场中重构脑部数据场. 首先用三维几何造型方法建立人脑的数据模型, 然后通过几何匹配的方法从数据场抽取具有相同几何特征的曲面, 以实现基于模型的数据场重构并恢复数据的物理意义.

### 1 数据场重构对象的几何模型表示

本文采用几何造型的方法对数据场重构对象进行表示. 为了使模型曲面既能表达对象的整体特征, 又易于和数据场匹配, 本文采用蒙面法生成重构对象的模型. 蒙面法通过一条脊线(Spine Curve)的引导把曲面要经过的一系列截面曲线变换到三维空间, 然后依次插值生成曲面. 几条截面曲线反映所生成曲面的大致形状. 由于三维体数据场通过各数据层叠加而成, 相邻的数据层是相似的, 在构造数据模型时所有截面曲线位于与数据层相平行的一系列平面内, 这些曲线反映了重构对象的基本形状. 采用这些平面的公垂线为脊线(如图 1 所示). 这样从某个数据层中抽取的外形将和数据模型中的各条截面曲线相匹配, 曲面匹配转化为曲线匹配, 比较容易实现. 每条截面曲线用三次 B 样条曲线表示. 由控制多边形反映其大致形状, 曲线的匹配基于控制多边形进行. 为保证所建模型的准确性, 可通过交互的方法在标准分割数据集中选择几条反映对象总体特征的截面曲线建立模型, 以指导分割.

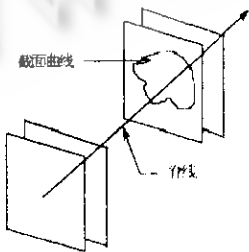


图 1 采用蒙面法生成的曲面模型

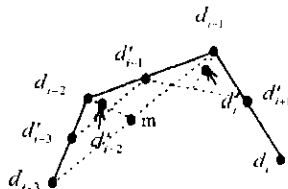


图 2 离散 B 样条曲线的生成及控制多边形的估算

## 2 曲线控制多边形估算

文中曲线控制多边形的估算的方法可由离散 B 样条曲线的生成导出. 其基本思想是把相邻的分段曲线用一段近似曲线来拟合, 使整条曲线由少数几个控制顶点表示出大致形状, 便于匹配进行. 下面先推导离散 B 样条曲线的生成方法, 它类似于传统的 Bezier 曲线的离散生成. 本文采用均匀及准均匀三次 B 样条曲线.

### 2.1 B 样条曲线的离散生成

首先考虑均匀三次 B 样条曲线. 设其节点矢量为  $U = [u_0, u_1, \dots, u_{n+4}]$ .  $n$  为控制顶点数. 推导其在新的节点矢量  $U' = [u'_0, u'_1, \dots]$  (其中  $u'_i = \frac{u_i + u_{i+1}}{2}$ ) 下新的控制顶点序列.

在区间  $[u_i, u_{i+1}]$  内, 线段的控制顶点为  $d_{i-3}, d_{i-2}, d_{i-1}, d_i$ . 根据德布尔算法表示为

$$d_i^3(u) = (1 - \alpha_i^3) d_{i-1}^2 + \alpha_i^3 d_i^2 = (1 - 2\alpha_i^3) d_{i-1}^2 + \frac{1}{2} \times 2\alpha_i^3 (d_{i-1}^2 + d_i^2) \quad (1)$$

其中  $d_i^2, d_{i-1}^2$  及  $\alpha_i^j$  可通过公式

$$d_j^l = \begin{cases} d_j & l=0 \\ (1 - \alpha_j^l) d_{j-1}^{l-1} + \alpha_j^l d_j^{l-1} & l=1, 2, 3 \quad j=i-3+l \dots i \end{cases} \quad \alpha_j^l = \frac{u - u_j}{u_{j+4-l} - u_j}$$

$$\text{设 } u_1 = \frac{u - u_{i-1}}{u'_i - u_{i-1}} \quad u_2 = \frac{u - u'_{i-1}}{u_{i+1} - u'_{i-1}} \quad u_3 = \frac{u - u'_{i-1}}{u'_i - u'_{i-1}} \quad u_4 = \frac{u - u_i}{u'_{i+1} - u_i} \quad u_5 = \frac{u - u_i}{u_{i+1} - u_i}$$

可求得在新的节点矢量  $U'$  之下  $d_{i-1}^2, d_i^2$  的表达式, 并代入(1)可得

$$\begin{aligned} d_i^3(u) = & (1 - \beta_i^3) \left\{ (1 - u_3) \left[ (1 - u_1) \frac{d_{i-3} + d_{i-2}}{2} + u_1 \frac{d_{i-3} + 6d_{i-2} + d_{i-1}}{8} \right] + u_3 \left[ (1 - u_2) \right. \right. \\ & \left. \left. \frac{d_{i-3} + 6d_{i-2} + d_{i-1}}{8} + u_2 \frac{d_{i-2} + d_{i-1}}{2} \right] \right\} + \beta_i^3 \left\{ (1 - u_5) \left[ (1 - u_2) \frac{d_{i-3} + 6d_{i-2} + d_{i-1}}{8} \right. \right. \\ & \left. \left. + u_2 \frac{d_{i-2} + d_{i-1}}{2} \right] + u_5 \left[ (1 - u_4) \frac{d_{i-2} + d_{i-1}}{2} + u_4 \frac{d_{i-2} + 6d_{i-1} + d_i}{8} \right] \right\} \end{aligned}$$

$$\text{令 } d'_{i-3} = \frac{d_{i-3} + d_{i-2}}{2}, d'_{i-2} = \frac{d_{i-3} + 6d_{i-2} + d_{i-1}}{8}, d'_{i-1} = \frac{d_{i-2} + d_{i-1}}{2}, d'_i = \frac{d_{i-2} + 6d_{i-1} + d_i}{8}$$

显然上式满足得德布尔公式, 因此可推出位于  $u \in [u_i, u'_i]$  间的曲线的新控制顶点为  $d'_{i-3}, d'_{i-2}, d'_{i-1}, d'_i$ . 经过类似的推导, 也可得到  $u \in [u'_i, u_{i+1}]$  曲线的控制顶点为  $d'_{i-2}, d'_{i-1}, d'_i, d'_{i+1} = \frac{d_{i-1} + d_i}{2}$ . 因此, 位于区间  $u \in [u_i, u_{i+1}]$  的曲线可由 5 个控制顶点  $d'_{i-3}, d'_{i-2}, d'_{i-1}, d'_i, d'_{i+1}$  分别在  $u \in [u_i, u'_i]$  和  $u \in [u'_i, u_{i+1}]$  两个区间表示. 如图 2 所示.  $d'_{i-3}, d'_{i-1}, d'_{i+1}$  位于原控制多边形各边的中点,  $d'_{i-2}$  位于  $d_{i-3}d_{i-1}$  连线的中点  $m$  和  $d_{i-2}$  连线的四分之一处.  $d'_i$  的情况类似.

对于准均匀 B 样条曲线, 两端节点四度重合. 在起始端 7 个控制顶点依次为

$$d_0, \frac{d_0 + d_1}{2}, \frac{3d_1 + d_2}{4}, \frac{3d_1 + 11d_2 + 2d_3}{16}, \frac{d_2 + d_3}{2}, \frac{d_2 + 6d_3 + d_4}{8}, \frac{d_3 + d_4}{2}$$

在节点矢量的另一端的情况类似. 在节点矢量的中间部分, 其结果与均匀 B 样条曲线一致.

上述过程可看作曲线快速离散生成, 即对一组控制多边形采用上述方法不断产生新的控制多边形来逼近实际曲线, 当误差处于一定的范围之内则生成了曲线.

### 2.2 曲线控制多边形的估算

通过  $n+1$  个数据点将反算出  $n+3$  个控制顶点. 数据反而增多了. 如果相邻的几段曲线能合并成一段曲线, 将大大减少控制顶点的数目. 考虑离散  $B$  样条曲线生成的反过程, 图 2 中  $d'_{i-3}, d'_{i-2}, d'_{i-1}, d'_i, d'_{i+1}$  为区间  $u \in [u_i, u'_{i+1}]$  和  $u \in [u'_{i-1}, u_{i+1}]$  已知的控制顶点. 显然

$$d_{i-2} = d'_{i-2} + [d'_{i-2} - \frac{1}{2}(d'_{i-3} + d'_{i-1})] \quad d_{i-1} = d'_i + [d'_i - \frac{1}{2}(d'_{i-1} + d'_{i+1})]$$

根据离散生成过程可知, 如果  $d'_{i-1}$  位于  $d_{i-1}d_i$  的中点, 由  $d'_{i-3}, d'_{i-2}, d'_{i-1}, d'_i$  和  $d'_{i-2}, d'_{i-1}, d'_i, d'_{i+1}$  两组控制顶点表示的两段曲线将可以合并成由新产生的控制顶点  $d_{i-3}, d_{i-2}, d_{i-1}, d_i$  表示的一段曲线. 事实上两段三次曲线合并的充要条件是彼此之间为连续, 而三次  $B$  样条曲线仅在节点上  $C^2$  连续. 所以一般两条曲线不能合并为同一表示. 但可以用一段曲线来拟合几段相似曲线. 因此, 即使  $d_{i-2}, d'_{i-1}$  和  $d_i$  不在同一条直线上, 只要反推出的控制多边形产生的曲线的几何形状和原来两段曲线基本相似(图 3 中  $\cdot$  代表两段曲线的控制点,  $\times$  代表拟合曲线的控制点), 就可用来拟合原来的曲线. 这样可以减少控制顶点及节点的数目, 快速抽取几何体的大致形状.

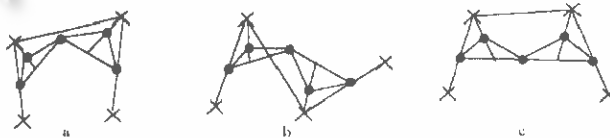


图 3 用一条曲线拟合两条分段曲线的情况分析 a, b 为合适, c 为不合适

### 3 基于模型的数据场重建

基于模型的数据场重建如图 4 所示.

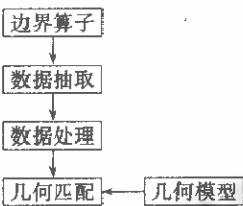


图 4 基于模型的数据场重建

#### 3.1 边界算子

边界提取是三维数据场识别的基础. 本工作采用了三维 Marr-Hildeth 算子

$$C(x, y, z) = \nabla^2(I(x, y, z)) \times \frac{1}{\sqrt{(2\pi)^3 \cdot \sigma^3}} \cdot e^{-(x^2+y^2+z^2/2\sigma^2)}$$

其中  $I(x, y, z)$  是三维图象,  $C(x, y, z)$  为输出结果.

#### 3.2 数据抽取

数据场经过边界算子操作后产生大量边界点. 为了找到和模型匹配的边界点必须进行数据抽取. 在三维体数据场中, 构成曲面的点应满足下列要求:

- (1) 在各数据层内点和点之间是相互连通的(四连通或者八连通);
- (2) 每个数据层的截面曲线上的每个数据点分别和前后数据层截面曲线上的某个数据点相连接;
- (3) 定义曲面的面积为  $S = N_p$   $N_p$  为曲面的数据点个数;  
 定义曲面的纵向长度  $l_v = n_{pv}$   $n_{pv}$  为最长的截面曲线长度(数据点个数);  
 定义曲面的横向长度  $l_h = n_{ph}$   $n_{ph}$  为脊线的长度(数据点个数).

### 算法 1. 数据抽取算法

把一个非交叉点压入数据堆栈;

WHILE(堆栈不空)

BEGIN

POP 一个数据点;

在当前数据层根据数据点的连通性跟踪曲线,在断点和交叉点处暂停;

从右到左检查当前曲线的每个数据点  $P$ ;

BEGIN

IF (与当前数据层相邻的前后 2 个数据层中,能够找到几个和  $P$  相连的非交叉点,且这些数据点之间互连通)

THEN

把这些数据点中最右边的压入堆栈;

BREAK;

END

END

可根据对象大小设立上述参数的阈值.大于阈值的曲面才进行匹配.

根据上述规则,基于相邻数据层相似性,采用跟踪法抽取构成曲面的数据点.由于各数据层中均存在一些交叉点(即在一个数据层内有两条曲线通过的点)及断点.一次性在一个数据层中抽取曲线比较困难.为此可利用相邻数据层的连通性,在各数据层中跟踪连接的非交叉点,最后再弥补少量交叉点和断点形成的空隙.具体可见数据抽取算法.

对抽取的曲面上存在的少量空隙点可利用前后左右数据点的相连关系进行弥补.另外,从数据层中抽取的截面曲线是不光滑的,使对其进行形状分析受到影响,所以必须进行数据平滑.可沿着逆时针方向遍历曲线,发现凹点时跳过当前凹点.这样经过几次处理能实现保持总体特征的平滑.

### 3.3 截面曲线形状分析

截面曲线之间的匹配是基于控制多边形进行的.由于特定的数据场包含的对象有限,各对象形状差异较大,并且面积等形状参数小于阈值的曲面已经被排除,所以经过简单的形状分析就可判定抽取的曲线是否和模型匹配.本文采用的形状分析包括:

(1) 控制点的凹凸变化.把所有控制多边形上的矢量按逆时针方向顺序连接,如图 5 所示,矢量方向逆时针变化的点为凸点(如图 5 中 A),顺时针变化时该点为凹点(如图 5 中 B, C, D, E).相连的凹点组成一个凹区.如图 5 中 B, C, DE 组成 3 个凹区.

(2) 各段控制多边形长度比.控制多边形根据凹凸可分为几段,如图 5 中  $m_1, m_2, m_3, m_4, m_5, m_6$  为控制多边形各边的中点.则多边形分为  $m_1 \rightarrow m_2, m_2 \rightarrow m_3, m_3 \rightarrow m_4, m_4 \rightarrow m_5, m_5 \rightarrow m_6, m_6 \rightarrow m_1$  六段.可分别计算各段的长度和总周长的比,作为多边形的特征之一.

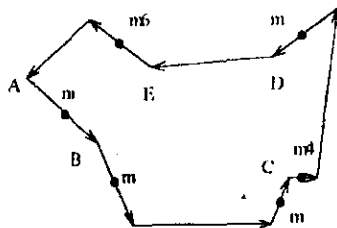


图 5 多边形的特征抽取

### 3.4 模型和数据曲线的匹配及区域生长

首先对三维几何模型的每条截面曲线进行形状分析,计算凹区的数目及各段控制多边

形长度比,并设置一定的变化范围.然后处理通过数据抽取得到的三维封闭对象.在对象的各个截面内估算截面曲线的控制多边形,进行形状分析并和模型参数相比较,判定是否在允许的变化范围内.只有数据层中的所有截面曲线依次和模型的截面曲线相匹配,才能判定整个抽取对象和模型相匹配.找到与模型匹配的三维对象后,采用区域生长法,以封闭的对象为界进行区域生长,形成分割后的数据对象.

### 3.5 三维对象的绘制

本文采用混合散射体光照模型<sup>[7]</sup>进行数据场的绘制.该模型基于物理学中输运方程,计算光线在体数据场中的散射.散射计算分为面散射和体散射,分别显示体信息及不同物质的相交面信息.基于模型的分割结果将结合到绘制过程中,以加强分割对象的采样,忽略其它数据信息.在分割对象的边界处设定较大权重的面散射因子,加强边界面的信息,在分割体中设立较大权重的体散射因子,加强重建对象的体信息.

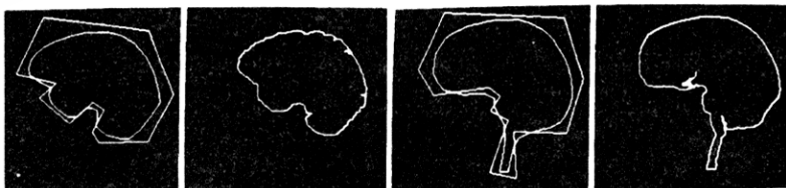
## 4 结果及讨论

本文根据上述算法在 SGI 4D Power 320 图形工作站上对人体头部三维核磁共振体数据场(150×200×192)进行了基于物理构模的分析和解释,以重建人脑数据场.人脑是一个复杂的对象.本文根据 26 条位于和数据层平行平面内的截面曲线,用蒙面法建立人脑的几何模型,如图 6(a)和(b)所示.



图 6 由蒙面法生成的人脑曲面模型

首先采用三维 Marr-Hildreth 算子,通过 3×3×3 模板对数据场进行卷积.对输出结果采用阈值进行二值化.在进行数据抽取时,根据数据场的大小,设立了曲面面积,纵横长度的阈值,大小分别为 6 000,300,80.迅速排除了所抽取的各种较小的对象.图 7 显示了某几条抽取曲线和数据模型中的截面曲线的匹配结果.其中(a),(b),(c)分别为 3 条所抽取的曲线和进行光滑处理的结果以及估算出的控制多边形.(d),(e)为模型的两条截面曲线及其控制多边形.形状分析结果列于表 1.分析结果为(a)和(d),(b)和(e)相匹配.



(a)光滑曲线及控制多边形 原始曲线 (b)光滑曲线及控制多边形 原始曲线



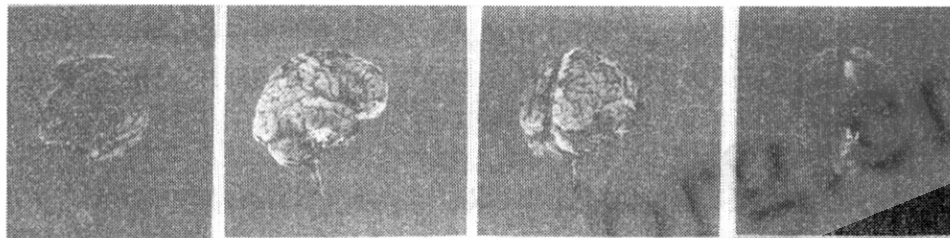
(c)光滑曲线及控制多边形 原始曲线 (d)和(e)两条模型曲线

图7 截面曲线匹配

表1 截面曲线匹配结果

	凹区的数目	段数目	各段间的比例关系
图7(a)	2	4	0.73:0.08:0.13:0.06
图7(b)	3	6	0.62:0.08:0.13:0.06:0.03:0.08
图7(c)	2	4	0.59:0.05:0.32:0.08
图7(d)	2	4	0.78:0.06:0.12:0.04
图7(e)	3	6	0.64:0.06:0.08:0.05:0.06:0.1

图8是数据场的不同角度绘制的结果.其中(a)是从侧顶部的观察结果,能够比较精细地看到大脑半球的顶部.(b)和(c)分别从侧面及后面对脑体进行绘制,可以从中看到小脑及脑桥和延髓.(d)是脑底部的视图.从上述结果可见,可视化物理构模的方法提供了数据场分割重建的依据和良好手段.



(a)

(b)

(c)

(d)

图8 数据场重构结果

## 5 结 论

对三维体数据场进行可视化物理构模研究是科学计算可视化的一个重要方向.它的研究内容包括数据场的表示及数据场的解释等.数据场的表示主要研究如何采用数学方法及基于数据本身的物理意义对数据场进行描述.数据场的解释则主要研究如何还原数据场本身的物理意义.仅依赖于单个或若干个单元的等值面抽取来解释数据场往往是不可靠和缺乏物理意义的.只有在反映数据场物理背景的物理模型指导下才能从全局上理解和更准确地重构数据场所包含的物理对象.本文的工作是对上述方法的一种尝试,即从物理构模的概念出发,采用基于物理模型的数据解释及表示方法,先建立物体的几何表示,然后在其指导下对三维数据场进行分割识别.这是可视化物理构模的一个重要特点.目前,在这方面还有大量的工作要做.首先,基于模型的分割能够在总体上把握分割的效果,但在某些局部点还

缺乏足够的依据。其次,应更进一步把数据解释及表示统一起来。

### 参考文献

- 1 Lorensen Marching Cubes E. A high resolution 3D surface construction algorithm. *Computer Graphics*, 1987, **21**(4):163~169.
- 2 Cline E. Two algorithms for the three-dimensional reconstructoin of tomograms. *Med. Phys.*, 1988, **15**(3):320~327.
- 3 Levoy M. Display of surface from volume data. *IEEE CG&A*, 1988, **8**(3):29~37.
- 4 Westover L. Footprint evaluation for volume rendering. *Computer Graphics*, 1990, **24**(4):367~376.
- 5 Wilhelms J. A coherent projection for direct volume rendering. *Computer Graphics*, 1991, **25**(4):275~288.
- 6 Upson C. V-Buffer; visible volume rendering. *Computer Graphics*, 1988, **22**(4):59~64.
- 7 Wenli C. Rendering of surface and volume details in volume data. *Computer Graphics Forum*, 1995, **14**(3):421~430.
- 8 Bomans M. 3-D segmentation of MRI images of the head for 3-D display. *IEEE Trans. on Medical Imaging*, 1990, **9**(2):177~183.
- 9 Cowe G. Fitting parameterized three-dimensional models to images. *IEEE Trans. on PAMI*, 1991, **13**(5):441~450.
- 10 Solina F. Recovery of parametric models from range images; the case for superquadrics with global deformations. *IEEE Trans. on PAMI*, 1990, **12**(2):131~147.
- 11 Kennedy N. Anatomic segmentation and volumetric calculations in nuclear magnetic resonance imaging. *IEEE Trans. on Medical Imaging*, 1989, **8**(1):1~7.
- 12 Brooks R. Model-based three-dimensional interpretations of two-dimensional images. *IEEE Trans. on PAMI*, 1983, **15**(2):140~150.
- 13 Bolles R. 3DPO; a three-dimensional part orientation systemen. *Int. Journal of Robotics Research*, 1986, **15**(3):3~26.
- 14 Besl P. A method for registration of 3-D shapes. *IEEE Trans. on PAMI*, 1992, **14**(2):239~256.
- 15 Sander P. Inferring surface trace and differential structure from 3-D images. *IEEE Trans. PAMI*, 1990, **12**(9):833~854.

## THREE DIMENSIONAL VOLUME DATA FIELD RECONSTRUCTION FROM PHYSICS MODEL

DONG Feng CAI Wenli CHEN Tianzhou SHI Jiaoying

(State Key Laboratory of CAD&CG Zhejiang University Hangzhou 310027)

**Abstract** This paper focuses on the problem of data representation and explanation of three-dimensional volume data field based on the physics model of the data. First the data model is set up by three-dimensional geometry model. Then the surfaces are extracted from the data field and match with the model to reconstructure the data field based on the physics model. This paper also presents a subdivision algorithm to fast trace B-spline curve and the anti-approach is adopted to evaluate the control polygon of the curve in order to extract the geometry feature.

**Key words** Visualization, physical modeling, data field reconstruction, feature extraction, geometry matching.

**Class number** TP391