

# 一种基于三角形递归切分的三维军标绘制方法

罗理机 龙 韬 李峻林 赵 恒  
(武汉数字工程研究所 武汉 430074)

**摘 要** 针对三维战场仿真环境中三维军标的实时绘制问题,利用 Bezier 曲线的任意可分性,提出了一种新的基于三角形递归切分的三维动态军标通用绘制方法。首先,通过设置军标控制点自动生成二维军标图形;然后,对二维军标模型进行三角形递归切分并动态控制递归算法调用次数;最后,对每个特征点赋予高程值,从而生成并显示三维动态军标图形。实验结果表明,该算法在不同地形条件下应用于多种基本的三维军标中都能保持良好的匹配速度和匹配效果。该方法在保证通用性前提下可以满足军标标绘系统的实时性需求。

**关键词** 三维军标,Bezier 曲线,地形匹配

中图法分类号 TP391.9 文献标识码 A DOI 10.11896/j.issn.1002-137X.2015.4.057

## Rendering Method for 3D Military Symbols Based on Triangle Recursive Segmentation

LUO Li-ji LONG Tao LI Jun-lin ZHAO Heng  
(Wuhan Digital Engineering Institute, Wuhan 430074, China)

**Abstract** In order to solve the problem of real time rendering of the 3D military symbol in battlefield simulation environment, using the arbitrary separability of Bezier curve, we proposed a new universal rendering method for 3D military symbol based on triangle recursive segmentation. Firstly, 2D military symbols are generated by setting the control points. Secondly, the segmentation graphics are achieved by triangle recursive segmentation. In addition, the recursive calls are dynamically controlled. Lastly, each feature point is given a elevation value, as a result, the 3D military symbols are generated. The experimental results denote that the algorithm can maintain good matching speed and matching effect when it is used in a variety of basic 3D military symbols under different terrain conditions. This method can meet the needs of real-time military plotting system on the premise that it is highly general.

**Keywords** Three military standard, Bezier curve, Terrain-matching

## 1 引言

随着科技的迅猛发展,现代战争早已演变为陆、海、空、天、电一体化的多维作战模式。各级指战人员如果能实时准确地掌握战场态势,并及时作出决策,将大大影响整个战场的形势。从现代战争形态所发生的变化趋势可以判断,传统的二维战场仿真技术已经不能满足新的战场形势下各级指挥员和参谋人员对于战场态势细节描述的需求;而三维仿真技术能有效展现作战武器的立体特点,让指挥员在动态、多维、可交互的地图环境中获取战场信息,使战场态势更加直观生动,大大提高战场认知的效率。实时三维军标绘制技术是三维战场仿真系统的重要内容,其直观性、易读性、信息含量以及绘制算法的优劣直接影响整个战场仿真系统的性能。因此对其绘制具有重要的研究意义。

本文提出了一种新的基于三角形递归剖分的绘制方法。与传统的 Delaunay 三角剖分算法<sup>[1]</sup>不同,其不需要预先输入二维实数域点集,而是根据已知的有限控制点,通过相应算法自动生成若干新控制点,将军标图形划分为两类较小的二维

面片(三角形面片和由两条线段与一条 Bezier 曲线组成的面片);再分别对这两类二维面片进行递归切分,并根据视觉需求动态调整算法递归调用次数;最后对剖分得到的填充二维军标添加高程值,使其获得三维效果。由于基本的动态面军标均能通过控制点的适当选取划分为上述两种二维面片,因此本方法能较广泛地应用于各种三维动态面军标的绘制。实验结果表明,该算法在不同地形条件下应用于多种基本的三维军标中都能保持良好的匹配速度和匹配效果,能够满足三维战场仿真系统的实时性与可视性需求。

## 2 相关工作

国外对三维军标标绘的研究工作开始得比较早,从 20 世纪 90 年代中期开始,美国海军研究所和美国海陆联体就联合资助了美军“龙(Dragon)”战场可视化系统的研究。Jim Durbin 等人<sup>[2]</sup>以及 Youngseok Kim 等人<sup>[3]</sup>在对美军“龙”系统的论述中详细介绍了三维军标的动态绘制方法,该方法采用三维实体模型和各表面都贴有二维军标纹理的象征立方体相结合的方法来表示三维军标。这种方法可视性好、战术意

到稿日期:2014-04-22 返修日期:2014-08-25

罗理机(1990—),男,硕士生,主要研究方向为虚拟现实、可视化、三维仿真,E-mail:manst2000@163.com;龙 韬 工程师,主要研究方向为三维可视化仿真;李峻林 研究员,主要研究方向为软件工程技术与应用;赵 恒 研究员,主要研究方向为软件工程与技术应用。

义明确,但绘制三维象征立方体模型面片过多,造成三维战场仿真系统的实时性较差。

国内近几年对三维军标实时标绘的研究成果日益增多。在三维军标的绘制方面,孔维<sup>[4]</sup>通过分析非规则军标的图形学规律和方法学基础,总结了在三维环境中要满足军队标号准确、美观和快捷特性的新技术、新问题,建立了一个较为完整的非规则军队标号研究的体系结构;周成军<sup>[5]</sup>从制作的角度重点对三维模型标号进行了类别的分析,提供了较为完整的三维矢量标号体系,建立了初步的三维军队标号系统;于美娇<sup>[6]</sup>通过分析二维军队标号的图形特征和构图规律,结合三维战场态势的特点对三维军队标号进行了分类,分别提出了相应的建模方法,初步建立了一套三维军队标号体系。

在三维军标与地形的匹配方面,王晨昊等<sup>[7]</sup>通过引入道路控制点结构,给出了一种基于地形匹配的自适应道路模型的构建方法。该方法可使静态标号与地形严格匹配,但由于控制点过多,从而造成计算量和渲染量多,且不能实现实时控制三维动态军标的移动、放大、缩小等功能。

许仁杰等<sup>[8]</sup>通过计算不同地形的有效控制点,给出了一种基于简化控制点的三维军标的地形匹配方法;陈红倩等<sup>[9]</sup>通过梯度域计算获取对地形形状影响最大的若干特征点,对特征点采用特征合并进行精简,给出了一种基于梯度域的三维动态军标快速绘制方法。上述方法通过减少控制点可提高三维军标的绘制速度,但由于均采用横向或纵向切割方法,当三维军标图形较宽时会产生与地形不匹配的现象,算法适用范围较窄。

本文针对现有算法存在的适用范围较窄以及效率不高的问题,采用基于三角形递归剖分的绘制方法并根据地形动态控制算法递归调用次数,在可视性与效率之间取得了良好的平衡。

### 3 Bezier 曲线的基本理论<sup>[10]</sup>

#### 3.1 定义

在空间给定  $n+1$  个点  $P_0, P_1, P_2, \dots, P_n$ , 称下列参数曲线为  $n$  次的 Bezier 曲线。

$$P(t) = \sum_{i=0}^n P_i J_{i,n}(t), 0 \leq t \leq 1 \quad (1)$$

其中,  $P_0, P_1, P_2, \dots, P_n$  为曲线  $P(t)$  的控制点;  $J_{i,n}(t)$  是 Bernstein 基函数, 即:

$$J_{i,n}(t) = C_n^i t^i (1-t)^{n-i} \quad (2)$$

$$C_n^i = \frac{n!}{i!(n-i)!}, i=0, \dots, n$$

#### 3.2 性质

Bezier 曲线  $P(t)$  与边  $P_0P_1$  相切于点  $P_0$ , 与边  $P_{n-1}P_n$  相切于点  $P_n$ 。

Bezier 曲线能分割为两个相同阶次的 Bezier 曲线。

Bezier 曲线被控制点  $P_0, P_1, P_2, \dots, P_n$  所组成的凸包包围。

Bezier 曲线具有对称性。

Bezier 曲线具有仿射不变性。

### 4 算法简介

三维动态军标主要分为点军标、线状军标、面状军标 3 大类<sup>[5]</sup>, 由于篇幅限制, 本文以面状军标中的箭头类军标为例来

说明军标图形的绘制。其他三维军标的绘制算法与之类似。

本文提出的三维动态军标绘制算法流程如图 1 所示。输入的控制点包括箭头点和 2 个箭尾点。通过以下 3 个步骤绘制完整的三维军标图形。

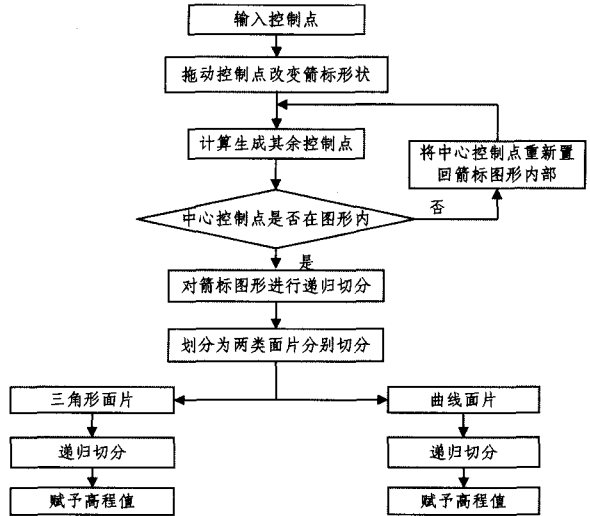


图 1 算法流程

(1) 控制点的生成与控制。通过用户输入确定箭标位置与形状所必要的控制点坐标, 计算生成其余控制点的坐标。在拖动控制点的过程中, 将中心控制点控制在箭标图形内部, 保证图形的可视性(见第 5 节)。

(2) 三维箭标的切分。首先根据箭标的特征将其切分为 7 个较大的面片, 得到两种类型的面片, 再对这两种不同类型的面片分别递归切分, 从而完成对箭标的整体切分(见第 6.1 节)。

(3) 赋予高程值。对箭标进行适当切分后, 在三维立体坐标系中的第三个维度对每个特征点根据地形赋予高程值, 最终生成并显示三维动态箭标图形(见第 6.4 节)。

### 5 控制点生成与控制

控制点是军标绘图中用来控制军标几何外形的若干关键点, 控制点的生成是军标绘图的基础。根据箭标的基本特征<sup>[11]</sup>, 将箭标分为箭头和箭身两部分, 共包含 8 个控制点: 箭头点、2 个箭耳点、2 个箭颈点、2 个箭尾点和中心点, 分别对应图 2 中的  $D, C, E, G, F, B, A, H$ 。箭标图形中的箭身的两条边  $BG, AF$  为 Bezier 曲线。

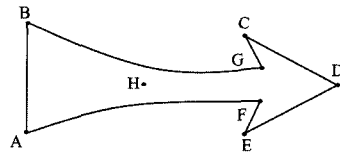


图 2 箭标控制点

在三维箭标的动态绘制过程中, 为保证绘制方法的易用性, 采用用户输入箭头点  $D$  和 2 个箭尾点  $A$  和  $B$  这 3 个控制点来自动绘制三维箭标图形的方法。由于三维箭标包括 8 个控制点, 因此需根据给出的 3 个控制点坐标利用相应算法求出其他 5 个控制点的坐标。

#### 5.1 箭标控制点的生成

一般箭头长度( $D$  到线段  $GF$  中点  $I$  的距离)为整个箭身

长度( $D$ 到线段 $AB$ 中点 $K$ 的距离)的 $1/5$ ,两个箭耳之间宽度( $|CE|$ )为整个箭头长度的 $1/2$ ,2个箭颈之间宽度( $|GF|$ )为箭耳宽的 $1/2$ ,中心控制点 $H$ 与线段 $AB$ 中点 $K$ 的距离 $|AK|$ 应为整个箭身长度的 $1/3$ 。由此可根据输入的3个控制点计算出箭标其余的5个控制点,并且通过拖动控制点的方式来对箭标形状进行调整,以达到最佳视觉效果。

### 算法1 控制点生成算法

输入:箭头控制点 $D$ ,箭尾控制点 $A$ 、 $B$

输出:箭标8个控制点( $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$ 、 $E$ 、 $F$ 、 $G$ 、 $H$ )

1. 通过 $A$ 、 $B$ 两点坐标(记为 $(A_x, A_y)$ 、 $(B_x, B_y)$ )得到线段 $AB$ 中点 $K$ 的坐标(记为 $(K_x, K_y)$ );
2. 中心控制点 $H$ 与线段 $AB$ 中点 $K$ 的距离 $|AK|$ 应为整个箭身长度的 $1/3$ ,利用 $\vec{KH} = \frac{1}{3}\vec{KD}$ 计算得到中心控制点 $H$ 的坐标(记为 $(H_x, H_y)$ );
3. 箭头长度( $D$ 到线段 $GF$ 中点 $I$ 的距离)为整个箭身长度( $D$ 到线段 $AB$ 中点 $K$ 的距离)的 $1/5$ ,利用 $\vec{DI} = \frac{1}{5}\vec{DK}$ 计算得到点 $I$ 的坐标(记为 $(I_x, I_y)$ );
4. 箭耳之间宽度( $|CE|$ )为整个箭头长度的 $1/2$ ,利用 $|CE| = \frac{1}{2}|DK|$ 计算得到点 $C$ 、点 $E$ 的坐标(记为 $(C_x, C_y)$ 、 $(E_x, E_y)$ );
5. 箭颈之间宽度( $|GF|$ )为箭耳宽的 $1/2$ ,利用 $\vec{GF} = \frac{1}{2}\vec{CE}$ ,计算得到点 $G$ 、点 $F$ 的坐标(记为 $(G_x, G_y)$ 、 $(F_x, F_y)$ )。

### 5.2 箭标控制点的控制

在三维仿真系统中,当移动箭标控制点时,由于数据输入的不可预知性,可能造成箭标中心点 $H$ 游离于箭标图形之外,使三维箭标实体的绘制错误,降低箭标图形的可视性。本文首先对中心点 $H$ 是否在Bezier曲线上进行判断,然后利用向量的叉乘法判断中心点 $H$ 是否游离于箭标图形之外,有效地解决了这一问题。

中心点的位置有3种情况:在箭标图形内部;在箭标控制曲线上;游离于箭标图形之外。根据Bezier曲线性质<sup>[10]</sup>,对于有3个控制点的Bezier曲线,只有当这3点在一条直线上时,曲线才经过中间控制点,因此若控制点 $H$ 在线段 $AF$ 上,表明 $H$ 也在由控制点 $A$ 、 $H$ 、 $F$ 控制的Bezier曲线 $AF$ 上,如果点 $H$ 继续向外侧移动,则点 $H$ 将游离于箭标图形之外。所以判断中心点 $H$ 是否在箭标图形内部的问题简化为判断点 $H$ 是否在4个三角形 $AGF$ 、 $ABF$ 、 $ABG$ 、 $BGF$ 中任一三角形内。本文选用叉乘法判断点是否在三角形内,下面以图3中三角形 $AGF$ 为例描述算法判定过程。

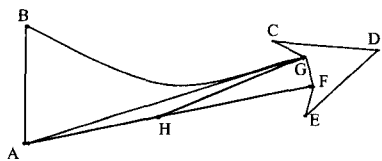


图3 箭标控制点判定

设三角形3个顶点坐标为 $A(A_x, A_y)$ 、 $B(B_x, B_y)$ 、 $C(C_x, C_y)$ ,中心控制点坐标为 $H(H_x, H_y)$ ,计算向量 $HA$ 、 $HG$ 、 $HF$ 之间的叉乘积,即:

$$HA \times HG, HG \times HF, HF \times HA$$

如三组向量叉乘积均为正或均为负,则表示点 $H$ 在三角形 $AGF$ 内,否则点 $H$ 在三角形之外。依次判定点 $H$ 是否在4个三角形 $AGF$ 、 $ABF$ 、 $ABG$ 、 $BGF$ 之内。如果点 $H$ 不在这4

个三角形中任一三角形内,则说明点 $H$ 游离于箭标图形之外,将中心点 $H$ 重新置回箭标图形内部。

## 6 地形匹配

军标图形的地形匹配是三维军标设计与实现中的关键部分。本文采用一种新的三角形递归剖分方法,首先根据控制点对二维军标图形进行剖分填充,然后对生成的填充动态曲面添加基于地形的高程维度,从而实现了军标图形与地形的匹配。

### 6.1 箭标切分

箭标的切分分为两步:由图4所示,首先根据箭标的特征将其切分为7个较大的面片,得到两种类型的面片;然后根据这两种不同类型的面片分别给出不同的切分方法。

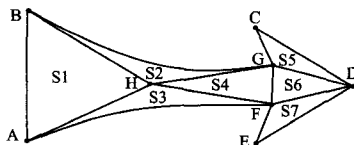


图4 三维箭标切分方法

#### (1) 三角形面片的切分

由图4所示,面片 $S1$ 、 $S4$ 、 $S5$ 、 $S6$ 、 $S7$ 均为三角形面片,本文以面片 $S5$ 为例给出三角形面片的切分方法。

三角面片的切割算法采用了递归的思想。如图5所示,分别取三角形每边中点 $I$ 、 $J$ 和 $K$ ,并将其两两两相连,面片 $S5$ 被分割为 $F1$ 、 $F2$ 、 $F3$ 、 $F4$ 4个小的三角形面片,然后再分别对这4个较小三角形面片进行切割。算法每进入下一层较小的三角形切分,则总的切分次数减1,直到总的切分次数为零时结束递归,返回上一层调用。

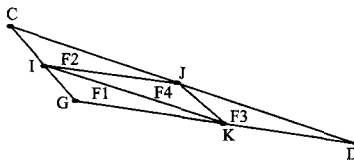


图5 三角形面片切割方法

#### (2) 曲线面片的切分

如图4所示,面片 $S2$ 和 $S3$ 属于由两条线段与一条Bezier曲线组成的面片,本文以面片 $S2$ 为例给出此面片的切分方法。

由两条线段与一条Bezier曲线组成的面片的切分算法也采用了递归的思想。如图6所示,分别取线段 $BH$ 与 $HG$ 的中点 $L$ 与 $N$ ,然后取线段 $LN$ 的中点 $M$ ,由Bezier曲线的性质可知,曲线 $BG$ 经过点 $M$ <sup>[10]</sup>。因此,此面片被切分为了一个三角形面片 $F5$ 与两个较小的面片 $F6$ 与 $F7$ 。

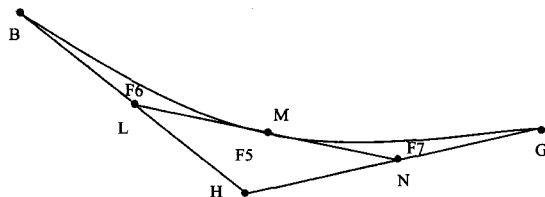


图6 B面片切割方法

对于三角形面片 $F5$ 的切割,采用如上文所述的三角形面片递归切割方法。而对于面片 $F6$ 、 $F7$ ,则继续进行切割。同样,算法每进入下一层切分,则总的切分次数减1,直到总

的切分次数为零时,结束递归,返回上一层调用。

## 6.2 根据不同地形控制区域算法递归调用次数

三维动态军标与地形的匹配需要考虑实际地形因素,在地形变化较剧烈的区域(如沟壑、高凸处)需要增加军标控制点数量;而在地形变化较平缓的地区,为了提高绘制效率,需要减少军标控制点数量。

本文采用根据不同复杂度的地形动态控制三角形切分算法的递归调用次数的方法,实现军标控制点数量的动态变化。

用 $\delta$ 表示地形复杂度,设军标图形特征点个数为 $N$ ,且其中相邻两个控制点之间高程差与距离差之比大于某个不变量 $k$ 的个数为 $M$ ,则地形复杂度 $\delta$ 的计算公式为:

$$\delta = \frac{M}{N}$$

动态控制三角形切分算法的递归调用次数的算法如下:当地形复杂度 $\delta$ 小于 $1/3$ 时,该区域地形地形变化较平缓,覆盖该区域的三角形切分次数减1;当地形复杂度 $\delta$ 在 $1/3$ 到 $2/3$ 之间时,该区域地形地形变化既不平缓也不剧烈,覆盖该区域的三角形切分次数不变;当地形复杂度 $\delta$ 大于 $2/3$ 时,该区域地形地形变化较剧烈,覆盖该区域的三角形切分次数加1。

## 6.3 算法总递归调用次数控制

三角形切分算法总的递归调用次数由三维场景中摄像机与军标图形的距离大小来动态确定。具体做法为由摄像机节点 $S$ 发出一条射线至军标图形的中心控制点 $H$ ,设摄像机节点 $S(S.x, S.y, S.z)$ 与中心控制点 $H(H.x, H.y, H.z)$ ,则点 $S$ 与点 $H$ 之间线段的长度为:

$$l = \sqrt{(S.x - H.x)^2 + (S.y - H.y)^2 + (S.z - H.z)^2}$$

由于人眼的视觉感受因素,在实际中当摄像机节点与军标图形距离较近时,对图形曲面平滑度要求较高;而当摄像机节点与军标图形距离较远时,对图形曲面平滑度要求较低<sup>[12]</sup>。因此本文采用使算法总的递归调用次数 $n$ 与摄像机节点和军标图形之间距离 $l$ 成反比例的方法来确定算法总的递归调用次数。即:

$$n = a/l \\ = a/\sqrt{(S.x - H.x)^2 + (S.y - H.y)^2 + (S.z - H.z)^2}$$

由于算法总的递归调用次数是一个整数,因此需要对 $n$ 值进行取整,为了保证军标绘制的可视性,可对 $n$ 向上取整。

其中比例系数 $a$ 的取值可根据实际情况进行调整。经过多次试验表明, $a$ 的取值为1700时,算法能够在可视性与效率之间取得良好的平衡。

## 6.4 赋予高程值

对箭标切分得到的军标图形,需要在第三个坐标维度给其赋予一个适当的高程值,使之能匹配地形的高低起伏变化。本文算法采用在二维平面坐标系中对军标进行适当切分后在三维立体坐标系中对每一个特征点赋予高程值来生成并显示三维动态军标图形。

在绘制时为了避免军标图形与所覆盖地形发生交错,在对每个特征点根据地形赋予高程值的条件下,还需要对特征点适当提高一个高度值。提高的高度值既不能太大也不能太小,过大的高度值既不美观又可能遮挡视线,过小的高度值又不能很好地体现三维图形的效果。文献<sup>[11]</sup>提出一种取平面

军标宽度作为高度值的方法,但是当军标宽度过大或者过小时,容易影响军标标绘的美观性。这里采用一种通用算法来实现。考虑到实际情况中不同地形条件下需求的高度值各不相同,采用根据不同地形自动设定高度值的方法。

添加高度值 $H$ 的计算公式:

$$H = t * \delta = t * \frac{M}{N}$$

上述计算过程中,参数 $t$ 为不变量,可以根据实际应用中精度的不同要求而确定。

## 7 实验结果与分析

为了验证本文算法的标绘效果,构建了基于三角形递归切分的三维军标标绘系统,硬件平台为 i5-2400 3.1GHz CPU、2G内存和 Nvidia GeForce GTX650 1024MB显卡。软件开发环境为 OpenGL,使用的操作系统为 Windows 7。

为了精确计算军标图形中细分三角形的个数,本文实验分别绘制了军标标绘的实体模型示例图与网格化示意图。

图7是一个采用三角形递归切分算法得到的军标标绘的实例图。从图中可以看到,该军标模型能够很好地匹配所覆盖的地形,而且军标曲线十分平滑。



图7 军标标绘实例

图8是一个军标标绘网格示意图,图中摄像机与军标图形距离为380个单位长度,递归切分调用次数为5,图中所显示的图形细分三角形个数约为150。从图中可以看到,在地形平缓的区域,三角形剖分次数较少;而在地形变化剧烈的区域,三角形剖分次数较多,从而在保证可视性的前提下提高了算法的效率。

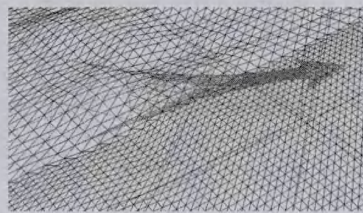


图8 军标标绘网格示意图

图9、图10分别为圆形和双箭头军标标绘的实例图。从图中可以看出,在不同地形下,两种军标模型均能较好地匹配所覆盖地形。

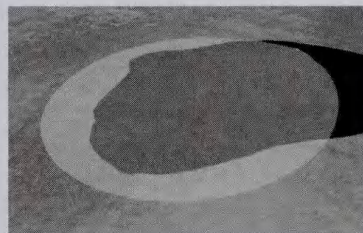


图9 圆形军标标绘实例

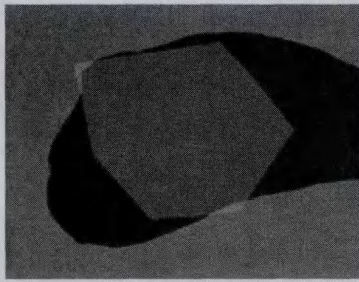


图10 双箭头军标标绘实例

由于绘制单个军标图形的绘制速度较快,绘制时间较短,因此本文实验采用对单个军标重复绘制 50 次来获得总的标绘时间,然后采用单个军标绘制时间为总时间除以 50 的方法来较为准确地获得算法绘制各个军标实例的运行时间。

表 1 为各类型军标标绘过程中平均耗时统计表,实验分别获取每种军标连续绘制 50 次的耗时平均值。数据表明,对于本文的三角形递归切分军标地形匹配算法,各种类型军标标绘平均耗时均保持在 0.1s 以内,其可以保证军标标绘系统的实时性需求。

表 1 各类型军标标绘时间花费

军标类型	测试次数(次)	平均耗时(s)
单箭头军标	50	0.061
双箭头军标	50	0.074
三箭头军标	50	0.091
圆形军标	50	0.080

**结束语** 本文提出一种新的基于三角形递归切分的三维军标绘制方法,可实现军标与地形的良好匹配,在具有良好通用性前提下获得了较好的标绘速度。本文提出的方法所作出的贡献在于:(1)军标曲线使用 Bezier 曲线绘制,使军标图形易于变换控制;(2)通过对控制点是否游离于军标图形之外进行判断,确保军标变换控制过程中图形的合理性;(3)通过对算法递归调用次数的动态控制,在保证可视性的前提下减少细分三角形数量;(4)通过对三维非规则军标的合理分块,递归切分,使算法能应用于多种军标的绘制,保证了算法的扩展性。

根据本文所提出的算法思想实现了基于 OPENGL 的三维军标标绘系统,实验验证了该算法的可行性,且其在实时性与可视性之间取得了较好的平衡。未来工作包括实现任意凹凸多边形军标的绘制以及进一步提高军标标绘的实时性。

## 参考文献

- [1] Xiao Yi, Yan Hong. Text region extraction in a document image based on the delaunay tessellation [J]. Pattern Recognition, 2003, 36
- [2] Durbin J, Colbert B, Crowe J, et al. Battlefield visualization on the responsive workbench[C]// IEEE Visualization, 1998: 463-466
- [3] Kim Y, Kesavadas T. Automated Dynamic Symbolology for Visualization of High Level Fusion [R]. State University of New York at Buffalo, USA, 2004: 1196-1208
- [4] 孔维. 三维非规则军队标号的研究与实现[D]. 郑州: 中国人民解放军信息工程大学, 2005
- [5] 周成军. 三维军队标号系统的研究与实现[D]. 郑州: 中国人民解放军信息工程大学, 2005
- [6] 于美娇. 战场态势可视化中三维军队标号的研究[D]. 郑州: 中国人民解放军信息工程大学, 2008
- [7] 王成昊, 汤晓安, 陈敏, 等. 一种基于地形匹配的自适应道路建模方法[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(10): 2824-2826
- [8] 许仁杰, 吴东亚. 基于简化控制点的不规则军标地形匹配方法[J]. 系统仿真学报, 2012(9): 201-204
- [9] 陈红倩, 张庆义, 李凤霞, 等. 一种基于梯度域的三维军标绘制方法[J]. 系统仿真学报, 2012, 24(1): 589-613
- [10] 徐甜, 刘霞. Bezier 曲线的算法描述及其程序实现[J]. 安阳师范学院学报, 2006(7): 49-52
- [11] 杨强. 三维军标生成与态势标绘技术研究[D]. 长沙: 国防科技大学, 2007
- [12] Thomas L C. Visual Displays and Cognitive Tunneling: Frames of Reference Effects on Spatial Judgments and Change Deflection [C]// Proc. of the 45th Annual Meeting of the of the Human Factors and Ergonomics Society, Santa Monica, Human Factors & Ergonomics Society, USA, 2001: 6-12
- [13] Xu Y, Qin K Y. Lattice-Valued Propositional Logic (I) [J]. Southwest Jiaotong University, 1993, 1(2): 123-128
- [14] Xu Y, Ruan D, et al.  $\alpha$ -Resolution principle based on first-order lattice-valued logic LF(X) [J]. Information Sciences, 2001, 132(1-4): 221-239
- [15] Xu Y, Qin K Y, Liu J, et al. L-Valued Proposition Logic  $L_{\text{vpi}}$  [J]. Information Sciences, 1999, 114: 205-235
- [16] Xu Y, Liu J, Song Z M, et al. On Semantics of L-valued First Order Logic  $L_{\text{vfi}}$  [J]. Internat. J. Gen. Systems, 2000, 29(1): 53-79
- [17] Xu Y, Ruan D, Kerre E E, et al.  $\alpha$ -Resolution Principle Based on Lattice-Valued Propositional Logic LP(X) [J]. Information Sciences, 2000, 130: 195-223
- [18] Xu Y, Song Z M, Qin K Y, et al. Syntax of L-valued First-order Logic  $L_{\text{vfi}}$  [J]. Internat. J. Multiple-Valued Logic, 2001, 7: 213-257
- [19] Xu Y, Ruan D, Kerre E E, et al.  $\alpha$ -Resolution Principle Based on Lattice-valued First-order Logic LF(X) [J]. Information Sciences, 2001, 132: 221-239
- [20] Xu Y, Ruan D, Qin K Q, et al. Lattice-valued Logic—An Alternative Approach to Treat Fuzziness and Incomparability [M]. Springer-Verlag, 2003
- [21] Xu Y, Xu W T, Zhong X M, et al.  $\alpha$ -Generalized Resolution Principle Based on Lattice-valued Propositional Logic LP(X) [C]// Proceedings of the 9th International Conference on Foundations and Applications of Computational Intelligence. Chengdu (Emei), China, 2010: 66-71
- [22] Xu Y, Liu J, Zhong X M, et al. Multi-ary  $\alpha$ -Resolution Principle for a Lattice-valued Logic [J]. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2013, 21(5): 88-912
- [23] Xu Y, Liu J, Ruan D, et al.  $\alpha$ -Resolution Determination in Lattice-valued First-order Logic LF(X) [J]. Information Sciences, 2011, 181: 1836-1862
- [24] Liu Y, Jia H R, Xu Y. Determination of 3-Ary  $\alpha$ -Resolution in Lattice-valued Propositional Logic LP(X) [J]. International Journal of Computational Intelligence Systems, 2013, 6(5): 943-953
- [25] 刘熠, 徐扬, 秦亚. 区间值  $(\alpha, \beta)$ -模糊格蕴涵子代数[J]. 计算机科学, 2011, 38(4): 263-266
- [26] 张家锋, 徐扬, 何星星. 格值语义归结推理方法[J]. 计算机科学, 2011, 38(9): 201-204

(上接第 252 页)