

船舶操纵模拟器视景中的山形建模

兰培真 金一丞 尹勇 任鸿翔 孙腾达 刘斯云

(大连海事大学航海科学技术研究所, 大连 116026)

摘要 船舶操纵模拟器是一种能够部分模仿海上真实情况, 专门为满足航海教育与培训、航海技术研究等目的而设计研制的装置, 其核心技术之一是海上视景模拟, 而地形地貌是海上视景中的重要组成部分. 根据船舶操纵模拟器实时视景显示的需要, 在分析航行船舶对可视范围内重要岛屿与背景山脉的几何精度要求的基础上, 提出了基于等高线的山形堆积建模和山形轮廓建模方法, 并给出了山形轮廓图形的误差定义、有效适用范围, 以及船舶操纵模拟器中地形建模的误差准则, 该方法生成图形的数据量较小, 其图形更新速率与几何精度能达到船舶操纵模拟器实时视景显示的要求.

关键词 船舶操纵模拟器 山形造型 视景生成

中图法分类号: U666.158-39 TP391.9 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2001)04-0378-05

Modeling Method for Hills in Visual System of Shiphandling Simulator

LAN Pei-zhen, JIN Yi-cheng, YIN Yong, REN Hong-xiang, SUN Teng-da, LIU Si-yun

(Nautical science & Technology Institute, DMU, Dalian 116026)

Abstract Shiphandling simulator is a device that can partly imitate the true environment at sea and is specially designed to satisfy marine education and trains and maritime research etc. One of its key techniques is to create the virtual environment at sea and the terrain is its important component. According to the needs of the real time visual display of the shiphandling simulator, this paper analyses the requirements of the geometry precision of the important islands and background hills which are within the ships' visible scope and brings forward the modeling methods of the hill's pileup and the hill's silhouette edges based on contour lines. It also presents the definition of error that the hill's silhouette edges graph has been given and the effective scope of application, and firstly established the error criterion of terrain model that is built in shiphandling simulator. With these two kinds of method the size of data storage can be minimized greatly and the requirements of high update rate and geometry precision for the real time visual display of the shiphandling simulator can be satisfied.

Keywords Shiphandling simulator, Hill modeling, View rendering

0 引言

船舶操纵模拟器是一种能够部分模仿真实情况, 专门为满足某些特定目的而设计的装置, 它可以让操作者在一个可控制的安全环境中来模拟操纵船舶. 近年来船舶操纵模拟器已在航海教育与培训、系统分析、科学研究与工程设计等领域中得到广泛应用. 大型船舶操纵模拟器是用于不同种类、不同吨位的实船模型的船舶操纵、进港/出港, 以及不同海况、不同天气、不同能见度条件下的船舶操纵模拟的装置. 该模拟器配备了本船船桥以及相应的各种设备, 其高质量、多通道、宽视场角视景画面的更新速率最

低不低于 24 帧/s; 视景中全景按真实的物体建模, 并贴上相应的纹理(包括水面、陆地、码头及其重要设施、助航设施、典型建筑物、港区的城市背景、目标船等等), 且海面能随风向与风力作相应的波浪起伏运动, 而逼真的三维船头也能和景物一起随波浪的起伏而共同摇晃, 还能体现本船 6 个自由度的运动; 同时能生成不同能见度等级的雾景、日昼的连续变化和风浪等场景效果, 加上与其他船运动速度相对应的船头浪花与尾迹, 大大提高了本船视觉范围内视景的真实程度, 为操作者提供了逼真的、具有一定沉浸感的虚拟训练环境. 在该项目的研制中, 其核心技术之一就是视景模拟, 而地形地貌又是海上航行

视景中的重要组成部分,因此本文就重点对山形建模做较深入的研究,并提出两种较实用的基于等高线的快速山形图形生成方法。

1 地形造型方法

地形是自然界复杂的景物,其三维真实图形的绘制一直是国内外计算机图形学领域关注的热点。大家知道,地形主要有地形的宏观形状和地貌特征两方面的特性。地形的宏观形状常用的模拟方法有曲面造型方法和高度场方法,其中曲面造型方法是,首先用几何方法生成的曲面来刻画地形的大致形状,再用纹理合成技术来生成地表丰富的细节,而高度场方法又分为随机高度场方法、基于物理模型的高度场方法和基于地形等高线的高度场方法,其中具有一定几何精确度的基于地形等高线生成高度场的方法是实景地形模拟中的重要方法,其较典型的有 Kaneda 等提出的基于等高线和地平面的均匀网格方法^[1]、Freeman 提出的基于等高线的链式逼近方法^[2]、万华根等提出的基于等高线的非均匀分割方法^[3]。地貌特征常用的模拟方法有基于图象处理的方法和基于几何纹理生成的方法,如遥感图象的纹理映射方法、基于图象的绘制技术、对景物模型的随机扰动方法和分形方法等。

船舶操纵模拟器模拟的地形在视景中占有很大的比例,由于地形显示的数据量极大,而且模拟器的画面更新速率要求不低于 24 帧/s,为此,必须尽量简化场景的计算,并需选取最优的地形绘制算法来快速生成高度真实感的三维海、岸地形图,而前面介绍的各种地形模拟方法,不论是生成图形的几何精度,还是生成的速度尚不能达到模拟器的要求,因此本文根据船舶海上航行的一般要求,提出了基于等高线的山形堆积建模法和山形轮廓建模法,这两种方法生成的图形数据量很小,且逼真度较高,能达到模拟器实时显示和真实感的要求。

2 基于等高线的山形堆积建模法

在大比例尺海图上,山形通常是以等高线来描绘的,而且等高线的疏密程度和形状,可以表示山形、地貌及坡度^[4]。对于视景中比较重要的岛屿或山形,可根据海图上表示地貌的等高线原理,直接用等高线上的采样点来生成不规则的三角形网格,然后在网格点上重构岛屿或山形的高度场,再贴上地表植被纹理后,即可获得十分逼真的视景效果。

2.1 数据采集及等高线的折线逼近

鉴于海图上的等高线为一簇二维曲线,因此可用数字化仪在海图上按一定顺序来进行采点,其采样点的密度可根据地形的复杂程度决定,若采样点密度大,则生成的三维地形图逼真,而且质感细腻,但因数据量大,故影响图形的显示速度,若采样点密度小,则信息损失大,从而导致图形粗糙、失真度较大,因此,采点时应综合考虑显示速度与生成图形效果之间的关系,并需参考等高线的极值点、凹凸拐点、曲率大小来决定采样点的密度,并注意要采集地理信息线,如山脊线,因为在大部分透视点,山脊线决定了山形的轮廓,然后以采样点作为线段的端点,即可对等高线进行折线逼近,使用该方法选取的采样点在等高线上的分布是不均匀的。

2.2 山体造型

简单的岛屿可用手工建模,即将采样点的坐标赋以相应的高程值(也称山体高度值),以构成形似梯田状的山型,再参照拍摄的真实照片,通过适当选取相邻的采样点,来构成四边形或三角形,最后贴上纹理,即获得岛屿模型。

对山形可采用如下的方法来构建三角网格模型:①从零等高线开始,以外层(高程值较小)等高线上的折线为底,在相邻的内层等高线上选一采样点,并使该点到折线段两端点的距离平方和最小,然后连接该点与折线段两端点,即构成三角形;②以相邻的折线段为底,用同样的方法构成另一个三角形;③把构成相邻三角形所选取的内层采样点(若非同一点)及中间空出的各点,逐一与所选外层等高线上折线段的公共点相连,即构成以内层等高线上折线段为底的三角形(网),如此继续进行下去……对于同一高度值但分离的等高线,则取两分离等高线上最近的山脊线上的两个采样点,并取它们连线的垂直平分线与公共外层等高线的交点作为补充采样点,再与山脊线的采样点及垂足点共同构成三角形网格,如图1所示。

用该方法生成的网格为非均匀三角形网格,赋予高程值后即生成山体高度场,其中对等高线上的网格点赋予相应的高程值即可,而对山脊线上两个采样点以垂直平分线的垂足点,其高程值则需由外层等高线高程值 h_1 与分离等高线高程值 h_2 通过插值来获得。

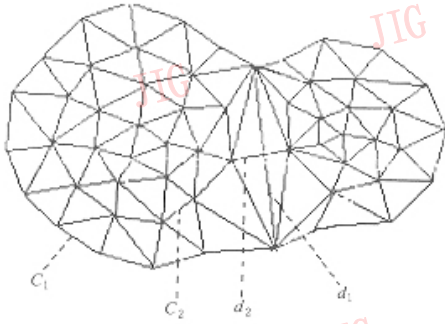


图1 三角形构网

$$h = \frac{h_2 d_1 + h_1 d_2}{d_1 + d_2} \quad (1)$$

其中 d_1 为垂足点到山脊线采样点的距离, d_2 为垂足点到外层等高线两补充采样点的距离最小者。

在由山体高度场建成的山体网格模型上,用实拍照片作为真实纹理进行纹理映射,即生成达到模拟器实时显示要求和一定几何精度的非常逼真的山形。图2所示如船舶操纵模拟器视景中的大连港三山岛立体模型即采用此方法生成。

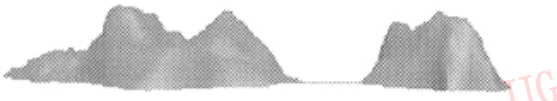


图2 三山岛三维立体模型

3 基于等高线的山形轮廓建模方法

船舶操纵模拟器中的视景与飞行模拟器的视景不同,因为船舶总是在海平面上航行,且大部分情况下,船舶的高度低于沿岸山脉的高度,所以陆地上的背景山脉在行驶船舶的视界内,其大部分只有正面可见,而背面是永远不可见的,但对于海上航行的船舶来说,重要的是要求能显示其视界内所看到的航行环境、位置精确的全部导航标志和一些重要的物标,而对背景山脉只要求显示其外轮廓,而不要求丰富的细节。据此,提出了一种基于等高线的背景山脉轮廓建模法,此方法所生成图形的多边形数据量极少,由于正面外轮廓图形具有较高的几何精度,因此在此基础上若叠加上用几何建模、图形绘制方法生成的导航标志和重要物标的三维图形,则可以逼真而快速地生成沿岸山脉图形。

3.1 数据采集

一般在港口附近或当沿岸的航道走向与沿岸山

脉的走向基本一致时,由于沿视线方向没有明显的山形串视情况存在,此时山脉的垂足一般在测者能见的地平距离之内,因此地面曲率的影响可忽略不计。在这种情况下,由于船舶沿航道航行,测者是沿船舶的正横方向观测山形,故山形的轮廓线可看成是由沿航道中心线法线方向的直线与等高线交点中高度值最大,且距航道中心线最近的点所组成。此时在海图上采点时可分为如下两步进行:

第1步先对航道中心线进行等间隔划分,例如:大连港黄白嘴一带山脉,此处航道中心线离岸的平均距离为2000m,模拟器一个通道的水平视场角为36°(与摄影用标准镜头的视场角和人眼的视觉特性相似),假设人位于航道中心线上正视山脉,则其岸上的视觉范围约为650m,这样采样间隔就不得超过630m(纹理影象拼接略有重叠),通过权衡生成图形的效果与数据量大小,在1:12500东经121°30'的海图上取初始采样间隔为10mm(125m);然后从每一分割点作航道中心线的法线,以求出与等高线交点中高度值最大,且离航道中心线最近的采样点。

第2步是将第一步划分的间隔细化,可参考等高线中的山脊线、高程值的变化和航道中心线的曲率等因素采用非等间隔细分,例如,第1次采样中某间隔所对应采样点的高程值分别为180m及140m,该海图基本等高距为10m,则适当细分该间隔,以找出高程值分别为170m,160m和150m的采样点,此时需注意采集法线与各等高线相切的点(分析山形轮廓误差时要用到),然后把两次采样的点按一定顺序重新排列后,输入计算机。

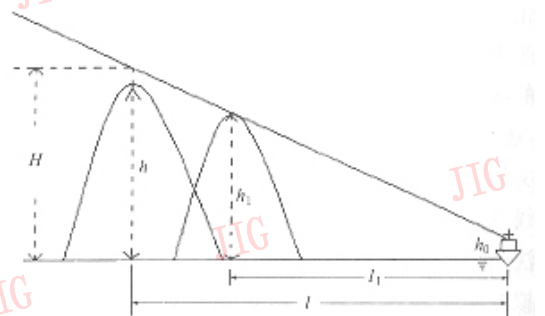


图3 山形重叠

采样时,对于在视线方向上有明显前后山形重叠的情况(如图3所示),则需判断后面的山形是否可见,并应根据其是否落在前面山形的视线盲区内来判定,具体判断准则为

当 $h > H$ 时,后面山形可见;当 $h < H$ 时,后面

山形不可见,其中

$$H = \frac{l}{l_1}(h_1 - h_0) + h_0 \quad (2)$$

其中, h_0, h_1, h 分别为测者眼高、前山高度和后山高度; l_1, l 分别为测者与前山和后山的距离。

当 l_1, l 较大时(山的垂足在测者能见地平距离之外),还应考虑地球表面曲率的影响,因为物标地理能见距离为^[4]

$$D = 2.09(\sqrt{h} + \sqrt{h_0}) \quad (3)$$

其中, D 为物标地理能见距离(n mile); h 为物标高度(m); h_0 为测者眼高(m)。这样可将式(2)改为

$$H = \frac{l}{l_1} \left[h_1 - \left(\frac{l_1}{2.09} - \sqrt{h_0} \right)^2 \right] + \left(\frac{l}{2.09} - \sqrt{h_0} \right)^2 \quad (4)$$

其中, $l_1, l > 2.09\sqrt{h_0}$

或

$$H = \frac{l}{l_1}(h_1 - h_0) + \left(\frac{l}{2.09} - \sqrt{h_0} \right)^2 \quad (5)$$

其中, $l > 2.09\sqrt{h_0} > l_1$

3.2 山形轮廓建模

在二维平面上(测者真地平平面),按一定顺序用直线段来连接航道中心线相邻分割点所取的采样点,其所构成的折线即为沿航道中心线法向方向获得的山形轮廓线在二维平面上垂直投影的逼近折

线。因为所取采样点均是等高线上的点,所以赋予相应高程值而生成的高度场实际上即为三维空间中高度不等的多边柱面,此时可考虑以散乱数据来建立可见部分山体的立体模型,或把山形轮廓多边柱面直接三角化,然后贴上地表纹理。考虑到所生成的仅是背景山脉的外轮廓图,而且其视界内重要的物标仍用几何建模、图形绘制法来生成,故应把山形轮廓投影于某一适当选取的平面,这样,不仅可以简化计算和提高图形的生成速度,而且还利于实景真实纹理的映射。

具体做法是:首先选一个(或多个)与航道走向基本一致的平面(垂直于测者真地平平面,并尽量垂直于航道中心线的法线),将多边柱面投影到该平面上而成为平面多边形,并且可考虑选择一个通过某个物标位置较重点的平面为投影面,例如过大连港黄白嘴雷达站的平面,并保证投影后的平面多边形均位于岸线以内,然后将投影所得的平面多边形(山形轮廓)三角化,再把沿航道航行时,从船舶的正横方向所拍摄的实景照片做纹理源,并将其映射在所生成的山形轮廓模型上,即可以获得数据量极小,而又十分逼真的沿岸背景山脉图,如图4所示的船舶操纵模拟器视景中大连港黄白嘴、寺儿沟一带的山形图即用此方法生成。

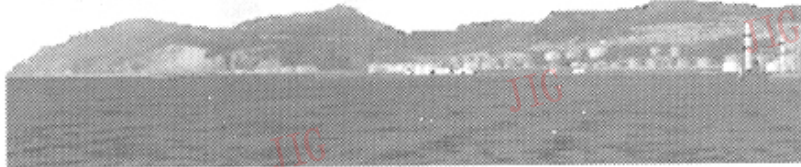


图4 大连港黄白嘴、寺儿沟一带的山形轮廓模型

3.3 适用范围分析

从严格意义上来说,由于山脉的侧影轮廓线将随测者视点位置的改变而有所改变,因此理想的绘制应能根据视点的不同位置来绘出相应的山脉轮廓图,但这种方法数据量极大,无法满足实时性要求,故本文从海上船舶航行的实际情况出发,用山形轮廓模型法来生成背景山脉图形,而导航标志与重要物标仍用几何建模图形绘制法来生成,这样生成的场景即能完全满足模拟船舶视界内视景显示的真实性与实时性要求,可见该方法实用性较大,可在相关

领域推广应用。

Phillippe Husni 在视景模拟白皮书(Visual Simulation White Paper)中,对船舶操纵模拟器视景提出的分辨率指标为每个象素 23 弧分。若每个通道的水平视场角为 36° 、图形系统的分辨率为 1024×768 ,则每个象素约为 2.1 弧分($36 \times 60 / 1024$)。另外,由于通常船舶在海上用罗经进行陆标定位时,其方位误差为 1° 左右,故这里作为背景山脉的外轮廓图,也取允许误差为 1° ,其相当于屏幕上约 28 pixel。

对山形外轮廓线上高度为 C 的点 p ,其误差定义为:设与 p 点对应的等高线上的采样点为 P 、航道

上的观测点为 A), 从航道上 B 点观测山脉, 测得高度为 C 的轮廓线上的点为 P_1 , 则 P 与 P_1 关于 B 张成一夹角 $\theta(P, B, P_1)$ (见图 5), 它衡量了从 B 观测 P 所产生的误差, 为此定义 $Error(P, B) = \theta(P, B, P_1)$.

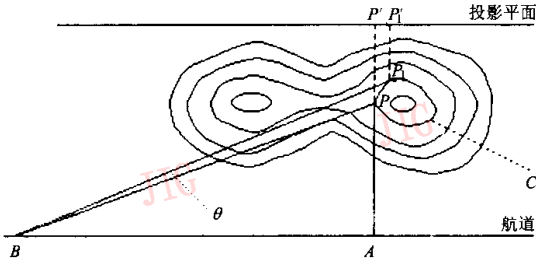


图 5 山形轮廓模型的有效区域

若 $\theta(P, B, P_1) < 1^\circ$ 则该误差在模拟器设计的允许范围内, 此时把 P_1 投影到投影平面上得 P' , 则仍满足 $\theta(P', B, P'_1) < 1^\circ$. 若 P_1 点落在同一高度 C 的不同等高线上, 则一般不满足 $\theta(P, B, P_1) < 1^\circ$, 由此也排除了可能的串视山形开门闭门情况. 在航道上估计离 A 最远的 B , 使 $\theta(P, B, P_1) < 1^\circ$, 即得到 P 点的最大有效适用范围 $\{B | \theta(P, B, P_1) < 1^\circ\}$. 由此可见, 山形轮廓模型的有效适用范围定义为: $\bigcap_P \{B | \theta(P, B, P_1) < 1^\circ\}$. 若山形的高度为 300m, 基本等高距为 10m, 则一般要求 60 个集合的交集, 例如, 对大连港黄白嘴、寺儿沟一带的背景山脉轮廓图(从东经 $121^\circ 41' \sim 121^\circ 43'$), 用该误差定义与适用范围准则即可获得对从 H_0 浮筒沿大港航道, 一直到大连港港区一带的航区来说, 所建山脉轮廓图都是适用的.

4 结束语

实时视景显示是船舶操纵模拟器的重要组成部分, 而且视景显示效果的逼真程度与显示速率, 对模拟器的训练效率和效果有很大的影响, 也是评价船舶操纵模拟器的标准之一. 本文提出的基于等高线的山形堆积建模和山形轮廓建模方法, 其所生成的图形数据量很小, 且能达到模拟器视景对显示速率、逼真度与几何精度的要求. 该方法已应用于船舶操纵模拟器视景中的重要岛屿与背景山脉建模, 并取得了很好的视觉效果. 本文还提出了山形轮廓模型的误差概念和所建山形轮廓模型的有效适用范围.

该工作虽取得了较好效果, 但对于山脉地表纹

理映射、实拍照片视点的选取和山形轮廓模型投影平面的最佳选取等问题还有待于更深入的研究.

参考文献

- 1 Kaneda K, Kato F, Nakamae E et al. Three dimensional terrain modeling and display for environmental assessment. Computer Graphics, 1989, 23(4) 207 ~ 214.
- 2 Freeman H. Computer processing of line drawing image. Computing Surveys, 1974, 6(1) 57 ~ 91.
- 3 万华根, 黄永明, 彭群生. 基于等高线非均匀分割的快速山体造型方法. 计算机研究与发展, 1998, 35(8) 739 ~ 743.
- 4 郭禹. 航海学. 大连: 大连海事大学出版社, 1999.

兰培真 1962 年生, 副教授, 大连海事大学航海技术研究所博士生. 研究方向为交通信息工程与控制系统、航海仿真、虚拟现实、计算机图形学、实时视景生成.

金一丞 1944 年生, 大连海事大学航海技术研究所教授, 博士生导师, 1967 年毕业于浙江大学电机系, 1991 ~ 1993 年在澳大利亚海运学院作访问学者. 研究方向为交通信息工程与控制系统、航海仿真、虚拟现实、计算机图形学、实时视景生成.

尹勇 1969 年生, 讲师, 大连海事大学航海技术研究所博士生. 1994 年获大连海事大学硕士学位. 现主要从事动态仿真与控制、计算机图形图像技术和虚拟现实技术的研究.

任鸿翔 1974 年生, 助教, 大连海事大学航海技术研究所. 1998 年获哈尔滨理工大学硕士学位. 现主要从事动态仿真与控制、视景建模研究、计算机图形图像技术的研究.

孙腾达 1978 年生, 现为大连海事大学航海技术研究所硕士生, 1996 年毕业于集美航海学院. 现主要从事视景建模研究、计算机图形技术和虚拟现实技术的研究.

刘斯云 1975 年生, 现为大连海事大学航海技术研究所硕士生, 1998 年毕业于大连海事大学. 现主要从事视景建模研究、计算机图形技术和虚拟现实技术的研究.