

不同视点重叠图象拼接方法研究

兰培真^{1),2)} 马越²⁾ 邱志雄²⁾ 金一丞²⁾ 石教英³⁾

¹⁾(集美大学航海学院, 厦门 361021) ²⁾(大连海事大学航海科学技术研究所, 大连 116026)

³⁾(浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室, 杭州 310027)

摘要 不同视点重叠图象的拼接算法大都需要估计相机参数和每个像素的深度等, 要求有较多的源图象, 由于海上实景拍摄难度大, 因此符合要求的源图象十分有限. 这些现有的算法对于生成船舶操纵模拟器中的视景并不适用. 根据船舶操纵模拟器对视景的要求和背景实景图象拍摄的具体要求, 依据三维成像几何理论, 建立了相邻重叠图象的成像几何模型. 在此基础上经数学推算得出, 仅当重叠区域中的两物点位于同一景深面上或位于两视点垂直平分面上时, 在左右像面上两相应像点间的距离才不产生变化. 由此提出在一定条件下的不同视点重叠图象的基于视点垂直平分面最深景物线和基于同深景物面平行景物线对的匹配算法和图象拼接的平滑算法. 实验结果表明, 该算法的拼接效果较好, 可推广到对背景几何精度要求不高的中远距离不同视点重叠图象的拼接应用中.

关键词 不同视点 图象 匹配 无缝拼接

中图分类号: TP391.9 U666.158-39 **文章标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2002)10-1032-06

Automatic Mosaic of Multi-viewpoint Overlapped Image

LAN Pei-zhen^{1),2)}, MA Yue²⁾, QIU Zhi-xiong²⁾, JIN Yi-cheng²⁾, SHI Jiao-ying³⁾

¹⁾(Navigation Institute, Jimei University, Xiamen 361021)

²⁾(Nautical science & Technology Institute, Dalian Maritime University, Dalian 116026)

³⁾(State Key Laboratory of CAD&CG, Zhejiang University, Hangzhou 310027)

Abstract The methods of multi-perspective mosaic ask mostly estimate the parameter of camera, the depth of every pixels, and more images. The ubiquitous disadvantage of these methods is over heavy calculation. On account of the difficulty of shooting on the sea, these methods will not serve the view of ship-handing simulator. So the mosaic method based on the simple 2D overlapped image is required, but the multi-perspective and shelter between the scenarios bring more difficulty. This paper construct a imaging geometric model of the overlapped images according the demand in view and background of ship-handing simulator, then proposes a automatic mosaic and smoothness method based on the most depth line on the vertical middle plane and the parallel line on the same depth plane. The experimental results show that the jointing efficiency of this algorithm is better, and it has wide application perspective at fields of multi-perspective mosaic.

Keywords Multi-perspective, Image, Matching, Seamless mosaic

0 引言

船舶操纵模拟器是一个虚拟的海上航行环境, 近年来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大连海事大学“211”工程的重点建设项目之

一, 该研制成果包括不同种类、不同吨位实船模型的避让、靠泊/离泊、进港/出港, 以及不同海况、天气、能见度条件下的船舶操纵模拟等, 为操作者提供了一个具有一定真实感与沉浸感的可供船舶操纵训练的虚拟海上航行环境, 这在国内外航海领域均处于领先水平, 具有很高的科学价值与经济效益. 在大型船舶操纵模拟器的研制中, 核心技术之一是视景模

拟. 这里的视景是指船舶航行时所见到的周围环境, 是依据预先构成的船舶航行环境模型, 由计算机实时生成的. 在该模拟器的视景研制中, 需要进行大量的不同视点重叠图象的拼接, 以往这些工作主要靠手工完成, 工作效率低, 且效果有时也并不十分理想. 本文在分析航海模拟器对视景和实景拍摄图象具体要求的基础上, 通过建立相邻重叠图象的成像几何模型, 经数学推算, 提出在一定条件下不同视点重叠图象的匹配原理和方法, 并依此提出两种不同视点重叠图象的匹配算法和图象拼接的平滑算法, 并用 VC++6.0 分别予以实现.

重叠图象的拼接在近几年发展起来的虚拟场景建模方法——基于图象的绘制方法 IBR (Image-Based Rendering) 中经常遇到, 但目前应用较多和解决较好的是单视点重叠图象的柱面全景图拼接^[1], 而对于不同视点重叠图象的拼接研究则相对较少, 由于不同视点的透视关系和景物遮挡关系的改变, 使得不同视点重叠图象的拼接比单视点的情形要难得多, 一般除需估计相机参数外, 还需估计每个像素的深度, 以求获得独立于视点的场景深度表示, 并以此合成新的视图, 或利用多个视图构造三维校正的拼合图象^[2,3].

船舶操纵模拟器模拟的是船舶沿航道航行时所“见”到的海上真实场景, 其所需的重叠图象是在海上进行实景拍摄的, 这要比陆上实景重叠图象的拍摄难度大得多, 因而符合要求的源图象十分有限. 已有的不同视点重叠图象的拼接算法大都需要估计相机参数和每个像素的深度等, 故其要求有较多的源图象, 且普遍存在计算量太大的缺点. 因此那些借助于模型实现的不同视点的图象拼合算法, 在这里就不适用. 分析船舶操纵模拟器对视景的要求, 对于重要的物标和导航设施等, 除要求生成图形具有一定的真实感外, 还要求有一定的几何精确度和精确的地理位置, 因此这些景物需用基于几何的绘制方法生成, 并按其精确的地理位置放入场景中. 但对视景中的背景而言, 重要的是要显示它的大致轮廓, 而不要求丰富的几何细节, 且背景离视点(海上航行的船舶)相对较远, 透视投影误差一般均在允许范围内^[4]. 另外, 在模拟器多通道宽视场角视景中, 每通道的水平视场角约为 36° , 在分辨率为 1024×768 pixels 的屏幕上, 每个像素约为 $2.1'$ ($36 \times 60 / 1024$, Philippe Husni 在 Visual Simulation White Paper 中, 对航海模拟器视景提出的分辨率指标为每个像

素 $2' \sim 3'$); 而航海上当船舶用罗经进行陆标定位时, 允许其方位误差为 1° 左右, 这在屏幕上约为 28 个像素. 因此在船舶操纵模拟器视景中对于背景图象, 其有一定的透视投影变形是允许的, 但不允许两幅图象的拼接不要有太明显的接缝, 以致影响图象的视觉效果. 此外随着船舶的航行, 对岸上的视景除导航设施和重要物标等外, 多只注意其背景轮廓和大致景观, 而不深究其具体几何关系和遮挡关系等的变化. 因此, 对背景实景图象, 可考虑直接从不同视点的重叠图象进行匹配和实现无缝拼接, 而不必先校正图象的几何关系, 也不必去获得每个像素的深度和独立于视点的场景深度表示. 但由于不同视点透视关系和景物遮挡关系的改变, 使得重叠区域中的不同景物在两张图象中的像点位置关系可能发生变化, 给图象的匹配和拼接带来困难, 为此, 需从透视模型中寻找合适的匹配特征, 使两张重叠图象获得最佳的匹配, 并在不需要调整原有透视关系的前提下获得最佳拼接.

1 不同视点重叠图象拼接原理

1.1 三维成像几何理论

从三维物体到二维图象的成像模型如图 1 所示, 由几何光学可知, 来自物点的光线一定通过透镜中心, 而落到像平面上, 这种从物点到像点的变换即为透视变换. 当知道了物点的距离, 或由双目视觉提供二视线交线的信息, 就可唯一地确定物点的位置.

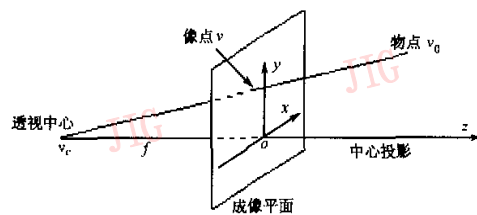


图 1 透视投影模型

由图 1 得关系式: $V_o = V_c + \alpha(V - V_c)$, 其中 α 为某个常数, 整理后, 可由物点坐标算出像点的坐标: $x = \frac{fX_o}{Z_o + f}$, $y = \frac{fY_o}{Z_o + f}$, $z = 0$; 或由像点的坐标推算得物点坐标: $X_o = \frac{Z_o + f}{f}x$, $Y_o = \frac{Z_o + f}{f}y$, $Z_o = Z_o$.

1.2 不同视点重叠图象匹配原理

根据三维成像几何模型, 若知道了物点的距离, 就可由相应像点坐标和相机参数唯一地确定物点的

位置,但一般仅从二维图象难于确定每一像素相应的物点及其深度,一种解决的方法是利用更多的源图象,来估计每个像素的深度,但这在船舶操纵模拟器视景的生成中,由于海上拍摄难度大,源图象十分有限而难于做到,根据前面的分析,对模拟器视景中的背景实景图象,可考虑直接从不同视点的重叠图象进行匹配和实现无缝拼接。

为寻找合适的图象匹配特征,根据三维成像几何理论,建立一个以视点(透视中心)为原点的三维坐标系,使摄影机的光轴与 z 轴重合, x 轴与船舶航行方向或反向重合(以保证 y 轴的方向铅直向上,并成为右手系)。根据船舶操纵模拟器对视景的要求,在重叠图象实景拍摄过程中,力求船舶在航道中沿航线航行,每隔一定间隔,沿航线的正横方向拍摄一张像片,并保证相邻两张像片之间均保持30%~50%的影像重叠。根据实际要求,相邻重叠图象坐标系的 x' 轴与 x 轴重合, z' 轴与 z 轴相互平行,并位于 xz 平面上。设摄影机的焦距为 f ,相邻图象拍摄间隔为 D ,如图2所示。

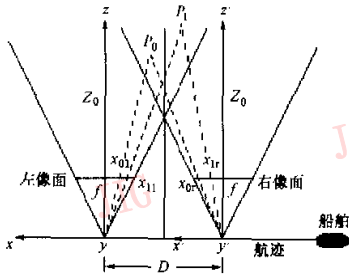


图2 相邻重叠图象透视投影模型

设 $P_0(X_0, Y_0, Z_0)$ 和 $P_1(X_1, Y_1, Z_1)$ 为重叠区域中两个不同的物点,利用 xz 和 yz 平面中的相似三角形,可获得 P_0 和 P_1 在左像面上的像点坐标为

$$\begin{cases} x_{0l} = X_0 f / Z_0 \\ y_{0l} = Y_0 f / Z_0 \end{cases} \quad \begin{cases} x_{1l} = X_1 f / Z_1 \\ y_{1l} = Y_1 f / Z_1 \end{cases}$$

同理, P_0 和 P_1 在右像面上的像点坐标为

$$\begin{cases} x_{0r} = (X_0 + D) f / Z_0 \\ y_{0r} = Y_0 f / Z_0 \end{cases} \quad \begin{cases} x_{1r} = (X_1 + D) f / Z_1 \\ y_{1r} = Y_1 f / Z_1 \end{cases}$$

由此得, P_0 和 P_1 在左右像面上像点间的距离分别为

$$d_l = \sqrt{\left(\frac{X_1 f}{Z_1} - \frac{X_0 f}{Z_0}\right)^2 + \left(\frac{Y_1 f}{Z_1} - \frac{Y_0 f}{Z_0}\right)^2}$$

$$d_r = \sqrt{\left[\left(\frac{X_1 f}{Z_1} - \frac{X_0 f}{Z_1}\right) + \left(\frac{Df}{Z_1} - \frac{Df}{Z_0}\right)\right]^2 + \left(\frac{Y_1 f}{Z_1} - \frac{Y_0 f}{Z_0}\right)^2}$$

显然,当 $Z_1 \neq Z_0$ 时,一般有 $d_l \neq d_r$,令 $d_l = d_r$ 得:

$$2\left(\frac{X_1 f}{Z_1} - \frac{X_0 f}{Z_0}\right)\left(\frac{Df}{Z_1} - \frac{Df}{Z_0}\right) + \left(\frac{Df}{Z_1} - \frac{Df}{Z_0}\right)^2 = 0$$

$$\text{即} \quad \frac{Df}{Z_1} = \frac{Df}{Z_0} \text{ 或 } \frac{2X_1 + D}{Z_1} = \frac{2X_0 + D}{Z_0}$$

由前面分析知

当且仅当 $Z_1 = Z_0$ 或 $X_1 = X_0 = -D/2$ 时, $d_l = d_r$

即在该重叠图象透视系统中,仅当重叠区域中的两物点位于同一景深面上或位于两视点垂直平分面上时,在左右像面上两相应像点间的距离才不发生变化。且从模型中易知,对于视点垂直平分面上的物点,随着 $|Z|$ 的增大, $|x_r|$ 和 $|x_l|$ 相应减少。

根据以上不同视点透视投影关系的分析,由 $X_1 = X_0 = -D/2$ 时, $d_l = d_r$,以及 Z 对 x_r 和 x_l 的影响,及考虑到基于等高线的山形轮廓建模方法^[5]中,山形轮廓模型所取的采样点是沿航道中心线的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,且以此点作为实景纹理映射的参考点,为此提出了基于视点垂直平分面最深景物线的远景图象自动拼接算法^[6];由 $Z_1 = Z_0$ 时, $d_l = d_r$,提出基于同深景物面平行景物线对的不同视点重叠图象自动拼接算法。两种算法均用VC++6.0予以实现,并都取得较好的图象拼接效果。

2 重叠图象匹配与拼接算法

2.1 匹配算法

根据前面的原理分析,提出基于视点垂直平分面最深景物线的重叠图象匹配算法和基于同深景物面平行景物线对的重叠图象匹配算法。

2.1.1 基于视点垂直平分面最深景物线匹配算法

算法的基本思路是在图象的左图右侧和右图左侧对称搜索,寻找垂直平分面最深景物线的最佳匹配。搜索开始时先确定左图匹配特征模板的像素数及距图象中心线和顶端的距离,选取的匹配特征模板大小要适中,且包含足够的匹配信息。搜索过程中,先搜索确定相邻两幅图象在垂直方向上的错开距离,再搜索确定垂直平分面最深景物线的匹配值。由于重叠的两幅图象不是在同一时刻拍摄的,照度的不均和曝光强度的不同使对应像素间必然会有一些的灰度差异,为消除灰度差异的影响,在左右图象中各选一参考列,以两列像素值的差值来进行匹配计算。

算法 1

(1) 在左图取一参考列,在右侧取出距图象中心线距离为 P 的一列上的 L 个像素,将其与参考列上的相应像素值的差值作为特征模板 $ArrayLeft[L]$;

(2) 在右图相应取一参考列,在左侧取出与左图相应的距图象中心线距离为 P 的一列上的 K 个像素(考虑相邻两幅图象在垂直方向上的错开,取 $K > L$),与参考列上相应像素值的差值记为 $ArrayRight[K]$;

(3) 对每一垂直交错距离 $dis(0 \leq dis \leq K-L)$,计算出 $ArrayRight[K]$ 与 $ArrayLeft[L]$ 的偏差值:

$$\epsilon[dis] = \sum_{i=0}^{L-1} (ArrayRight[i+dis] - ArrayLeft[i])^2$$

(4) 比较各 $\epsilon[dis]$ 的大小,记其最小值为 $e[P]$,对应的交错距离为 $dis[P]$;

(5) $P = P + Step$,若 $P < M/2$ (M 为图象的宽),回到第 1 步;

(6) 比较各 $e[P]$ 的加权大小,对应的最小值就是最佳匹配 $e'[P]$;

根据 $e'[P]$ 对应的 P' 和 $dis[P']$,就可确定图象的重叠值。

2.1.2 基于同深景物面平行景物线对匹配算法

算法的基本思路是在左图重叠区域中较明显的同深景物面(如建筑物表面)上取两列,在右图的左侧搜索最佳的匹配。搜索开始时先确定左图的平行景物线对其像素数,并将它们作为左图匹配特征模板,同样,匹配特征模板大小应选取适中,且包含足够的匹配信息。搜索过程中,先搜索确定相邻两幅图象在垂直方向上的错开距离,再搜索确定同深景物面的平行景物线对。为消除照度的不均和曝光强度的不同所引起的灰度差异的影响,用两列像素值的差值进行匹配计算,这样虽然在搜索计算过程中只利用了一组数据,但实际上是利用了平行景物线对及其所包含的区域的信息。

算法 2

(1) 在左图的重叠区域中某一同深景物面上取相距为 d 的两列上的部分像素(设为 L 个像素),计算它们对应像素值的差值作为特征模板 $ArrayLeft[L]$;

(2) 在右图中从最左边开始,取出 P 和 $P+d$ 两列中的部分像素(记为 K ,考虑相邻两幅图象在垂直方向上的错开,取 $K > L$),计算它们对应像素值的差值记为 $ArrayRight[K]$;

(3) 对每一垂直交错距离 $dis(0 \leq dis \leq K-L)$,

计算出 $ArrayRight[K]$ 与 $ArrayLeft[L]$ 的偏差值:

$$\epsilon[dis] = \sum_{i=0}^{L-1} (ArrayRight[i+dis] - ArrayLeft[i])^2$$

(4) 比较各 $\epsilon[dis]$ 的大小,记其最小值为 $e[P]$,对应的交错距离为 $dis[P]$;

(5) $P = P + Step$,若 $P < M/2$ (M 为图象的宽),回到第 2 步;

(6) 比较各 $e[P]$ 的大小,对应的最小值就是最佳匹配 $e'[P]$;

根据 $e'[P]$ 对应的 P' 和 $dis[P']$,就可确定图象的重叠值。

2.2 拼接算法

根据匹配结果值 P' 和 $dis[P']$ 可进行重叠图象的拼接。由于受光照、透视变形和图象边缘失真等的影响,如果直接根据匹配参数将两幅图象简单地叠加起来,拼接而成的图象中则含有清晰的边界,接缝十分明显。为此必须进行图象的平滑处理,Szeliski^[7]提出拼接图象 I_3 的重叠区域中的像素值由两幅图象 I_1 和 I_2 中对应的像素值的加权平均获得: $I_3 = d_1 \times I_1 + d_2 \times I_2$,其中 d_1 和 d_2 是渐变因子,满足 $d_1 + d_2 = 1$, $0 < d_1, d_2 < 1$ 。在重叠区域中, d_1 由 1 渐变至 0, d_2 由 0 渐变至 1,由此实现了在重叠区域中由 I_1 慢慢过渡到 I_2 的平滑拼接。对于不同视点的重叠图象,由于透视关系和景物遮挡关系的改变,使得相同景物的轮廓或遮挡关系发生变化,Szeliski 的平滑处理算法仍无法消除明显的接缝,且出现重影、模糊等情况。为此,对该算法进行如下一些改进:引入一个阈值 E ,在重叠区域中根据匹配参数取一平滑过渡区域,一般地,算法 1 在最佳匹配列左右取 10 列,效果就十分理想;算法 2 就取为平行景物线对的最佳匹配区域,在 $\alpha \times I_1 - (1-\alpha) \times I_2 < E$ ($0 < \alpha \leq 1$) 部分, I_3 的像素值取为 I_1 和 I_2 中对应的像素值的加权平均值;而在 $\alpha \times I_1 - (1-\alpha) \times I_2 \geq E$ 部分, I_3 的像素值则依权重取为 I_1 或 I_2 中对应的像素值。

4 应用

利用前面提出的不同视点重叠图象的自动匹配与平滑拼接算法,分别对图 3(a)、图 3(b)源图象用基于视点垂直平分面最深景物线方法和对图 4(a)、图 4(b)源图象用基于同深景物面平行景物线对的方法进行拼接,拼接结果如图 3(c)和图 4(c)所示。由拼接结果图看出,两种算法的拼接效果都比较理

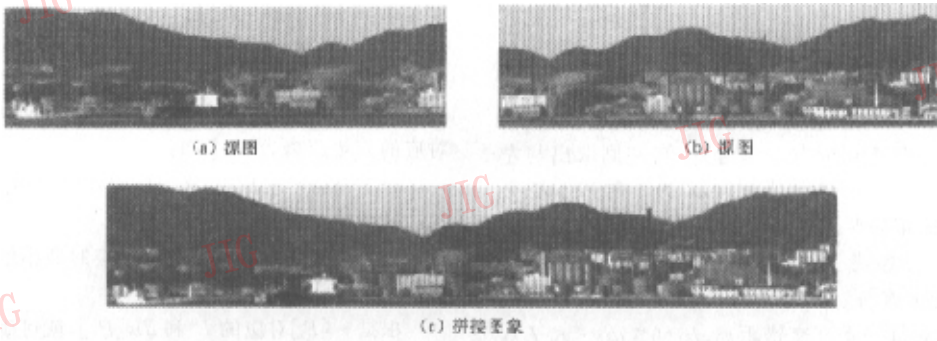


图3 大连港黄白嘴一带实景源图与拼接图象

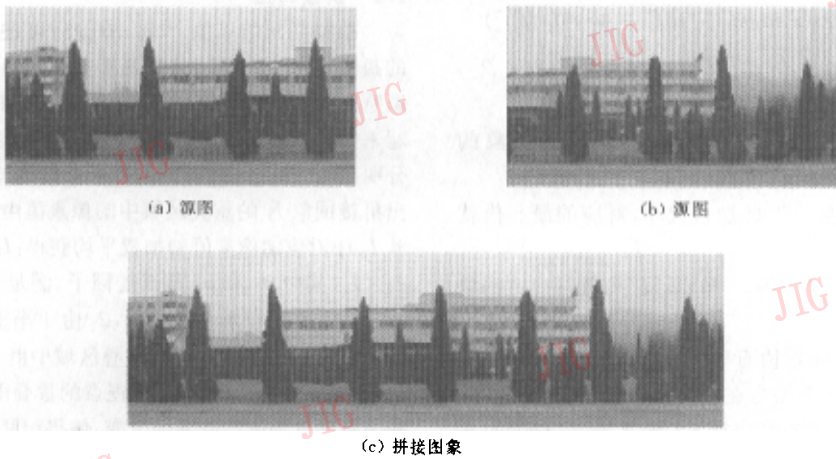


图4 海事公寓楼源图与拼接图

想,没有明显的拼接痕迹.但仔细分析图3和图4中的源图与拼接结果图可以看出,存在的几何变形问题在拼接结果图中没有得到校正,特别在图4近景的情况更明显.即这两种拼接算法只能做到从二维图象直接获得最佳匹配,并进行平滑拼接,对因视点的改变而引起的透视变形与景物遮挡关系的改变,无法进行校正.

分析式(3)知,当物点 X_0 和 Y_0 的取值一定时,随着景物深度 Z_0 的增大,像点坐标 x 和 y 的变化相对减小,即在中远距离拍摄时,透视变形相对较弱些.而根据文献[4]的拍摄要求与误差分析,在符合要求的摄站间距内拍摄的重叠图象,其投影误差一般均在允许范围内,所以拼接结果图虽没有进行校正,但其投影误差符合船舶操纵模拟器对视景的要求.另外基于视点垂直平分面最深景物线的拼接方法在对近景进行拼接时,会出现明显的景物丢失情况,或使拼接失败,所以近景的情况本算法不适用.

4 结束语

本文根据船舶操纵模拟器视景系统研制的需要和对视景的具体要求,分析模拟器背景实景图象拍摄的要求,依据三维成像几何理论,建立相邻重叠图象的成像几何模型.在此基础上经数学推算得出,在该相邻重叠图象透视投影系统中,仅当重叠区域中的两物点位于同一景深面上或位于两视点垂直平分面上时,在左右像面上两相应像点间的距离才不产生变化.且从模型中分析得,对于视点垂直平分面上的物点,随着 $|Z|$ 的增大, $|x_r|$ 和 $|x_l|$ 相应减少.在此理论分析的基础上,提出在一定条件下的不同视点重叠图象的匹配原理和方法,并依此提出两种不同视点重叠图象的匹配算法和图象拼接的平滑算法,最后给出计算机实验结果.由实验结果分析,这两种算法只从二维图象直接获得最佳匹配,并进行平滑

拼接,而未对因视点的改变而引起的透视变形等进行校正.但根据文献[4]的拍摄要求与误差分析,所拼接而成的结果图象,符合船舶操纵模拟器对视图的要求.

基于视点垂直平分面最深景物线的远景图象自动拼接算法和基于同深景物面平行景物线对的不同视点重叠图象自动拼接算法为船舶操纵模拟器视景中不同视点重叠图象的拼接带来极大的方便,并提高了工作效率和拼接效果.不同视点重叠图象的自动拼接也是计算机图形学领域中一个亟待解决的问题,这两种算法可推广到对背景几何精度要求不高的中远距离不同视点重叠图象的拼接应用中,为虚拟现实技术研究中,基于图象的绘制方法的进一步应用,开辟更为广阔的应用前景.

参 考 文 献

- 1 孙立峰,钟力,李云浩等.虚拟实景空间的实时漫游[J].中国图象图形学报,1999,4A(6):507~513.
- 2 Sawhney H S, Ayer S, Gorkani M. Model-based 2D&3D dominant motion estimation for mosaicing and video representation [A]. In Fifth International Conference on Computer Vision (ICCV'95)[C], MIT, Cambridge, MA, IEEE Computer Society Press, 1995:583~590.
- 3 Szeliski R. Video mosaics for virtual environments [J]. IEEE Computer Graphics and Applications, 1996,16(2):22~30.
- 4 兰培真,金一丞.航海模拟器视景中沿岸山脉实景纹理图象拍摄[J].计算机仿真,2001,18(6):29~32.
- 5 兰培真,金一丞,尹勇等.船舶操纵模拟器视景中的山形建模[J].中国图象图形学报,2001,6A(4):378~382.
- 6 兰培真,马越,金一丞.多视点远景图象自动拼接算法[J].工程图学学报,2001,(增刊):455~459.
- 7 Szeliski R. Image mosaicing for tele-reality applications [J]. IEEE Computer Graphics and Applications, 1994,14(6):44~53.



兰培真 1962年生,副教授,集美大学航海学院教师,大连海事大学航海技术研究所博士生.1983年毕业于厦门大学数学系,1988年研究生毕业于大连海运学院运输管理工程专业.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.



马越 1974年生,大连海事大学航海技术研究所博士生.1997年毕业于吉林财贸学院管理信息系,2000年获大连海事大学运输管理工程专业硕士学位.研究方向为交通信息工程与控制系统、计算机网络通信、航海仿真、计算机图形学、实时视景生成.



邱志雄 1960年生,教授,大副,大连海事大学航海技术研究所博士生,1982年毕业于集美航海学院船舶驾驶专业,1988年获大连海运学院航海技术专业硕士学位.研究方向为交通信息工程与控制系统、航海仿真、航行安全评价、海上交通工程.



金一丞 1944年生,教授,大连海事大学航海技术研究所博士导师,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.



石教英 1938年生,毕业于前苏联列宁格勒大学,现为浙江大学计算机系教授,博士生导师,浙江大学CAD&CG国家重点实验室学术委员会主任.研究方向为分布图形计算、科学计算可视化、虚拟现实及多媒体计算理论等.