

面向球面虚拟实景底部空洞的快速修补算法

余 焯,李冰飞,叶强强,刘晓平

(合肥工业大学计算机与信息学院 VCC 研究室,安徽合肥 230009)

摘 要: 本文提出一种针对球面虚拟实景底部空洞的快速修复算法,首先获取球面全景与球面虚拟实景图间映射关系,并基于不同时刻球面虚拟实景图间的空间位置关系建立位置映射模型,然后通过求解得到不同时刻球面全景之间的对应关系并实现缺失部分的修补,最后通过对修补区域亮度的调整及边缘融合,对修补结果进行优化.理论分析和实验结果均表明,该方法利用底部空洞位置固定这一特点建立复杂度仅为 $O(n)$ 的修补算法,能够快速有效的实现球面实景底部空洞的修复.

关键词: 球面虚拟实景;图像修复;位置映射模型;空洞修补

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2015)04-0822-07

电子学报 URL: <http://www.ejournal.org.cn> **DOI:** 10.3969/j.issn.0372-2112.2015.04.029

Fast Repairing Algorithm for Bottom Hollow in Spherical Virtual Image

YU Ye, LI Bing-fei, YE Qiang-qiang, LIU Xiao-ping

(VCC Division, School of Computer and Information, Hefei University of Technology, Hefei, Anhui 230009, China)

Abstract: A fast repairing algorithm is proposed especially for the bottom hollow existing in spherical virtual image (SVI). First, the mapping relationship between spherical panorama and the corresponding SVI is acquired, and the location mapping model is constructed based on the relationship of different SVIs obtained at different moments. Then, the correspondence between different spherical panoramas is solved and the missing parts are repaired. At last, through luminance adjustment and edge blending, the repairing result is optimized. Theoretical analysis and experiment results show that, through using the feature of bottom hollow's fixed location, a fast repairing algorithm is built with the complexity of $O(n)$, which can realize the repairing of bottom hollow in SVI quickly and effectively.

Key words: spherical virtual image (SVI); image repairing; location mapping model; hollow repairing

1 引言

随着虚拟现实和增强现实技术的发展,人们对场景真实性的需求越来越高,由构建三维模型来表示的虚拟场景已经不能满足需要,而由图像表示的虚拟场景则逐渐得到大家的认可.虚拟实景空间就是由图像绘制技术构造得到的虚拟空间,其组成元素称为虚拟实景^[1].根据虚拟实景构造方式的不同,可以分为柱面虚拟实景、立方体虚拟实景和球面虚拟实景三种.由于球面实景具有场景广阔和符合人眼观看习惯等优点,其构造和采集方法已经逐步得到大家的重视.目前市面上已经出现了很多球面全景图自动采集设备,如 Point Grey 公司的 ladybug 3 全景采集设备 (www.ptgrey.com) (Google 公司的部分街景是通过此设备采集的)、Deval VR 的 Spherical Video Camera 相机 (www.devalvr.com) 和 Immesive Media

公司的 Dodeca 全景采集设备 (immersivemedia.com) (Google 公司早期的街景都是此设备拍摄的)等.这些采集设备的共同之处在于需要底部支架的支撑,因而在采集过程中会存在底部信息缺失,使相应的虚拟实景存在底部空洞现象.空洞的存在影响虚拟场景信息的完整性,一方面,降低了场景的真实感和沉浸感,不能带来完美的展示效果;另一方面,限制了其在特殊场合的应用,例如:在犯罪现场重建中,需要虚拟场景能够真实反映现场周围 360 度的信息,底部信息的缺失可能会导致指纹、痕迹等犯罪证据的丢失,给案件侦破带来困难.因此,球面虚拟实景中空洞的修复具有十分重要的意义.

图像修复技术的关键在于如何利用已有像素信息填补待修补区域.基于获取待修补区域信息方式的不同,目前图像修复方法可以分为基于空域、时域和时空域的修复三大类^[2].基于空域的图像修复利用当前图像

上的已知像素信息来进行图像中缺失区域的修补,具有代表性的方法有基于偏微分方程的图像修复算法^[3,4]、基于小波的图像修复算法^[5]、基于卷积的图像修复算法^[6]、基于分形编码的图像修复算法^[7]、和基于样本的图像修复算法^[8~10]等.空域图像修复方法适合待修补区域纹理或图像与周围区域类似的修补,而当缺失区域中存在结构信息时,修补无法很好的完成.Sun等^[11]利用人工的方法勾画出结构,然后再利用样本来进行缺失区域的修复.然而,手工的交互无法实现修复的自动化,且当待修补区域较大时,缺失区域的结构信息无法预见.此外,由于无法获得源参考信息,得到的修复结果不唯一,且与实际情况会存在千差万别.

由于不同时间拍摄的场景间存在很多相关信息,因此,基于时域的图像修复方法利用这些相关信息来进行缺失区域的修复.时域修复方法中离不开空间信息的关联,考虑到图像采集过程中存在时空相关性,很多文献采用基于时空域的方法进行图像修复,文献^[12]提出一种利用大位移视图修复目标图像上含有复杂结构信息的信息丢失区域的方法,该方法通过基于单应矩阵的大位移视图变形、基于能量优化的重叠像素对应和丢失区域像素估计来进行修复,采用泊松图像融合算法来进行效果的优化.2008年“美国夫妇起诉Google街景侵犯隐私,获赔1美元”(ww2.ptgrey.com),2010年“谷歌因‘街景车’面临集体诉讼”(immersivemedia.com)等事件的发生,使街景中的隐私信息移除成为研究的焦点^[13],而基于时空域的修补方法在街景隐私移除中得到了很大的应用.文献^[14]通过首先建立平面性假设,并利用该假设建立街景中缺失场景和其他街景所获得场景间的映射,实现缺失场景的修复,但其具有无法修复复杂场景的局限性.为了适应场景复杂性

的需求,文献^[15]提出一种新的基于时空域的图像修复算法,其思想是利用运动获得结构的方法建立参考图像和目标图像之间的对应关系,然后对待修补区域建立马尔科夫随机场,通过合理设计能耗函数和标号集实现修复效果的全局优化.该方法的优点在于算法本身与场景复杂度无关,且无需图像标定和人工参与,然而该算法要求目标图像和参考图像视角差异不能太大(在视角差异大时会存在不平滑现象).

由于球面虚拟实景底部的空洞修补问题,可以看成是对球面全景图的修补.然而,两个不同视点所拍摄的球面全景图之间不存在单应矩阵的变换关系,且球面全景图中缺失像素区域与在另一幅全景图中所对应的区域相比,变形极大,因此上述方法对于球面虚拟实景底部的空洞修补适用性不强.

针对球面虚拟实景底部存在的空洞现象,本文提出一种基于时空域的快速修复方法.该方法利用时空信息的相关性建立球面虚拟实景间的位置映射模型,通过构建不同时刻获得球面全景与球面虚拟实景间映射关系,求解得到不同时刻球面全景之间的对应关系并实现缺失部分的修补,最后通过对修补区域亮度的调整及边缘融合,对修补结果进行优化.该方法针对性强,算法复杂度低,能够实现球面虚拟实景底部空洞的有效修补并获得良好的修补效果.

2 问题描述和整体思路

球面全景采集设备直接获得的是固定大小的二维平面图像,称为球面全景图.为体现球面全景的直观性,通常将球面全景图映射到一个球面上形成虚拟实景,称之为球面虚拟实景(如图1所示).球面虚拟实景

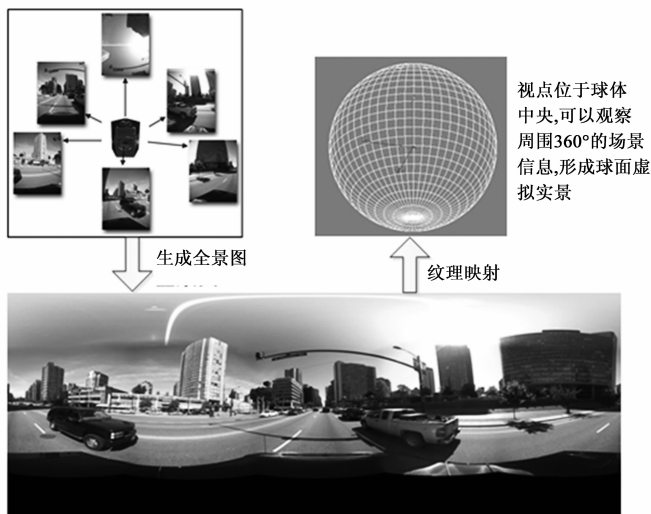


图1 基于全景采集设备形成的球面虚拟实景



图2 全景采集设备底部的空洞

底部空洞的产生是由于球面全景采集设备需要底部支架的支撑(如图2中白色弧线所示),因此底部空洞处的场景应对应于支架摆放位置对应的场景.因此球面虚拟实景底部空洞处对应的场景距离球面全景采集设备中心的高度固定,即为设备支架的高度,本文正是根据这一特点建立底部空洞的快速修复算法.

设 T_1 和 T_2 时刻获得的球面全景图分别为 V_1 和 V_2 , 对应的球面虚拟实景分别为 P_1 和 P_2 . 记 P_1 的拍摄中心为 O , 并以 O 点为坐标原点, 建立三维坐标系 $OXYZ$. 类似, 设 P_2 的拍摄中心为 O' , 以 O' 为坐标原点建立三维坐标系 $O'X'Y'Z'$. 设球面全景图的像素大小为 $W_I \times H_I$. 设 V_1 上缺失的像素为 (x_{v_1}, y_{v_1}) , 是由底座遮挡的 A_1 点在 V_1 上的投影, A_1 点在 V_2 的投影记为 (x_{v_2}, y_{v_2}) . 本文所要讨论的问题是如何在已知 (x_{v_1}, y_{v_1}) 、全景图的像素大小 $W_I \times H_I$ 以及摄像机底座高度 H 的情况下计算在 V_2 上与 (x_{v_1}, y_{v_1}) 相对应的像素 (x_{v_2}, y_{v_2}) .

本文算法的核心思想就在于建立不同时刻球面全景之间的对应关系, 利用在 T_2 获得的球面全景图修补 T_1 时刻球面全景图中缺失的信息, 包括以下三个核心步骤:

(1) 建立球面全景图 V_1 到球面虚拟实景 P_1 之间的映射关系 $f_1: (x_{v_1}, y_{v_1}) \mapsto (\theta_{p_1}, \varphi_{p_1}, r_{p_1})$, 其中 (x_{v_1}, y_{v_1}) 是点在球面全景图 V_1 上二维坐标, $(\theta_{p_1}, \varphi_{p_1}, r_{p_1})$ 是点在坐标系 $OXYZ$ 下的极坐标.

(2) 建立不同时刻球面虚拟实景 P_1 和 P_2 之间的映射关系 $f_2: (\theta_{p_1}, \varphi_{p_1}, r_{p_1}) \mapsto (\theta_{p_2}, \varphi_{p_2}, r_{p_2})$, 其中 $(\theta_{p_2}, \varphi_{p_2}, r_{p_2})$ 是点在坐标系 $O'X'Y'Z'$ 下的极坐标, 本文称之为位置映射.

(3) 建立球面虚拟实景 P_2 到球面全景图 V_2 的映射关系 $f_3: (\theta_{p_2}, \varphi_{p_2}, r_{p_2}) \mapsto (x_{v_2}, y_{v_2})$, 其中 (x_{v_2}, y_{v_2}) 是点在球面全景图 V_2 上二维坐标.

最后令 $RGB(x_{v_1}, y_{v_1}) = RGB(x_{v_2}, y_{v_2})$ 实现图像的修补.

3 算法描述

3.1 球面全景到球面虚拟实景间的映射

球面全景图与相应的球面虚拟实景之间存在坐标对应关系, 为了得到球面虚拟实景 P_1 缺失场景对应的场景信息, 需要将球面全景图转换到球面虚拟实景空间上进行处理. 如图3所示, 球面全景图的像素尺寸为 $W_I \times H_I$, 其球面全景图上一像素坐标为 (x_{v_1}, y_{v_1}) , 对应于球面虚拟实景的三维坐标 $A(x, y, z)$, 球面极坐标为 $(\theta_{p_1}, \varphi_{p_1}, r_{p_1})$, 则像素坐标 (x_{v_1}, y_{v_1}) 和极坐标 $(\theta_{p_1}, \varphi_{p_1}, r_{p_1})$ 之间的变换公式为:

$$\begin{cases} \theta_{p_1} = \frac{2\pi x_{v_1}}{W_I}, x_{v_1} \in [1, W_I] \\ \varphi_{p_1} = \frac{\pi y_{v_1}}{H_I}, y_{v_1} \in [1, H_I] \end{cases} \quad (1)$$

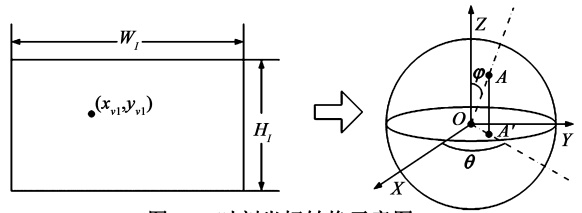


图3 T_1 时刻坐标转换示意图

在构建球面虚拟实景时, 对于 $\forall (x_{v_1}, y_{v_1}) \in V_1$, 其对应的极坐标 $(\theta_{p_1}, \varphi_{p_1}, r_{p_1})$ 中的 r_{p_1} 固定, 有:

$$r_{p_1} = R \quad (2)$$

其中 R 为球面虚拟实景的半径. 由式(1)和(2)即建立了球面全景图坐标 (x_{v_1}, y_{v_1}) 到球面虚拟实景极坐标 $(\theta_{p_1}, \varphi_{p_1}, r_{p_1})$ 的映射 f_1 .

3.2 球面虚拟实景间的位置映射

利用不同位置构建的球面虚拟实景具有互补现象, 建立虚拟实景 P_1 和 P_2 的位置映射模型, 如图4所示. 球面虚拟实景 P_1 中缺失区域(位于球面虚拟实景的底部)与真实场景有一定的对应关系. 假设在 $OXYZ$ 坐标系下, P_1 底部空洞中某一缺失场景点 $A(x, y, z)$, 对应到真实世界中的场景点为 $A_1(x_1, y_1, z_1)$, 相机中心距地面的高度为 H , 则可知 $z_1 = -H$. 因为 O, A, A_1 位于同一条直线上, 因而 $A_1(x_1, y_1, z_1)$ 的坐标可通过下式求得:

$$\begin{cases} x_1 = -H \cos \theta_{p_1} \tan \varphi_{p_1} \\ y_1 = -H \sin \theta_{p_1} \tan \varphi_{p_1} \\ z_1 = -H \end{cases} \quad (3)$$

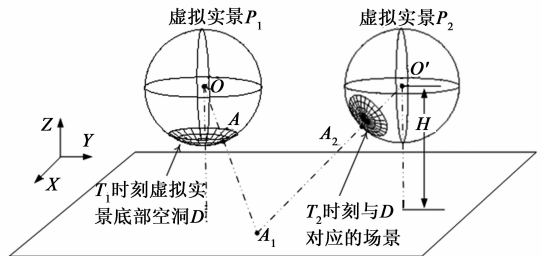


图4 球面实景位置映射模型

假设 P_2 的拍摄中心 O' 在坐标系 $OXYZ$ 下的坐标为 $(x_0, y_0, 0)$ (O 和 O' 距离地面的高度相等), 且 P_2 中观察到的 A_1 点位于 A_2 处, 若 A_2 不处于 P_2 的场景缺失区域, 即 A_2 的信息可以从 P_2 中获取, 则可以利用 A_2 对应的像素信息实现缺失场景的修复. 为了获得 A_2 对应

的像素信息,首先需要计算 A_2 的极坐标,则需要知道点 O' 在坐标系 $OXYZ$ 下的坐标 $(x_0, y_0, 0)$.

为获取 x_0, y_0 的值,需要对两个虚拟实景之间的距离进行标定.通过手工标定的方式选取场景中某特征点在两幅全景图中对应的映射点 D_1, D_2 ,在两幅全景图中对应的像素坐标分别为 $(u_1, v_1), (u_2, v_2)$.使用式(1)~(3)可以获得点 D_1 对应的场景点在坐标系 $OXYZ$ 下的坐标 $(x_{D_1}, y_{D_1}, z_{D_1})$.同理,可获得点 D_2 对应的场景点在坐标系 $O'X'Y'Z'$ 下的坐标 $(x_{D_2}, y_{D_2}, z_{D_2})$.则两个虚拟实景之间的距离可以通过式(4)求出:

$$\begin{cases} x_0 = x_{D_1} - x_{D_2} \\ y_0 = y_{D_1} - y_{D_2} \end{cases} \quad (4)$$

以 O' 为坐标原点建立坐标系 $O'X'Y'Z'$.假设 A_1 点在 $O'X'Y'Z'$ 坐标系下坐标为 (x'_1, y'_1, z'_1) , A_2 的坐标为 (x'_2, y'_2, z'_2) ,因为 O 和 O' 距离地面的高度相等,所以有:

$$\begin{cases} x'_1 = x_1 - x_0 \\ y'_1 = y_1 - y_0 \\ z'_1 = z_1 \end{cases} \quad (5)$$

在坐标系 $O'X'Y'Z'$ 下,假设 A_1 对应的球面极坐标为 $(\theta_1, \varphi_1, r_1)$,则有:

$$\theta_1 = \begin{cases} \text{Count}(y'_1)\pi + \frac{\pi}{2}, & x'_1 = 0 \\ \pi + \arctan \frac{y'_1}{x'_1}, & x'_1 < 0 \\ 2\text{Count}(y'_1)\pi + \arctan \frac{y'_1}{x'_1}, & x'_1 > 0 \end{cases} \quad (6)$$

$$r_1 = \sqrt{(x'_1)^2 + (y'_1)^2 + (z'_1)^2} \quad (7)$$

$$\varphi_1 = \arccos \frac{z'_1}{r_1} = \arccos \frac{z'_1}{\sqrt{(x'_1)^2 + (y'_1)^2 + (z'_1)^2}} \quad (8)$$

其中函数 $\text{Count}(x)$ 在 x 大于等于 0 的时候为 0,在 x 小于 0 的时候为 1.设 A_2 的极坐标为 $(\theta_{P_2}, \varphi_{P_2}, r_{P_2})$,由于 A_1, A_2, O' 位于一条直线上,则可得以下关系

$$\begin{cases} \theta_{P_2} = \theta_1 \\ \varphi_{P_2} = \varphi_1 \\ r_{P_2} = R \end{cases} \quad (9)$$

由式(3)~(9)即可得到球面虚拟实景 $P_1(\theta_{P_1}, \varphi_{P_1}, r_{P_1})$ 到球面虚拟实景 $P_2(\theta_{P_2}, \varphi_{P_2}, r_{P_2})$ 的映射 f_2 .

3.3 球面虚拟实景到球面全景的映射

本文算法的最终目标是求得 (x_{v_1}, y_{v_1}) 对应的像素坐标 (x_{v_2}, y_{v_2}) ,然后利用 (x_{v_2}, y_{v_2}) 的像素信息去填补 (x_{v_1}, y_{v_1}) 的像素信息.

根据纹理映射的原理,可以求得球面极坐标和全

景图像素坐标间的对应关系(如图 5 所示),则 A_2 所对应的像素坐标 (x_{v_2}, y_{v_2}) 可以利用以下公式求得

$$\begin{cases} x_{v_2} = \left\lfloor \frac{W_l \theta_{P_2}}{2\pi} \right\rfloor \\ y_{v_2} = \left\lfloor \frac{H_l \varphi_{P_2}}{\pi} \right\rfloor \end{cases} \quad (10)$$

其中函数 $y = \lfloor x \rfloor$ 为向下取整的函数.式(10)给出了球面虚拟实景 $P_2(\theta_{P_2}, \varphi_{P_2}, r_{P_2})$ 到球面全景 $V_2(x_{v_2}, y_{v_2})$ 的映射 f_3 .

对球面虚拟实景所有的缺失场景信息点 (x_{v_1}, y_{v_1}) ,利用球面实景位置映射模型可求得其对应的点 (x_{v_2}, y_{v_2}) ,其中 (x_{v_1}, y_{v_1}) 位于 T_1 时刻所获得球面全景图上, (x_{v_2}, y_{v_2}) 位于 T_2 时刻所获得球面全景图上,利用点 (x_{v_2}, y_{v_2}) 所对应的 T_2 时刻全景图上的像素信息来填补 (x_{v_1}, y_{v_1}) 所对应的 T_1 时刻全景图上的缺失信息,然后将修复后的全景图映射到 P_1 上,则可以实现球面虚拟实景上空洞的修补.

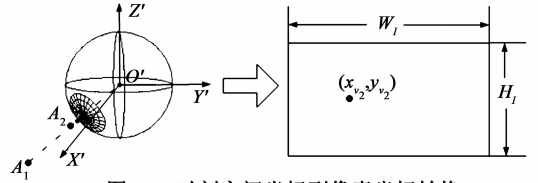


图 5 T_2 时刻空间坐标到像素坐标转换

3.4 空洞的修复及效果优化

按上述步骤进行空洞修补之后,由于受光照条件和拍摄场景角度的影响,修补后区域和原图像会有所差异,这些差异主要体现在图像的亮度上,为了使修补后区域和原图像亮度达到一致,将其转换到 HSL 空间,参考原始图像的平均亮度值,对修补后区域进行调整,使两个区域的亮度值基本达到一致.在修补的过程中,为了计算的方便以及后续处理的需要,使用的修补模板略大于待修补区域,对重叠区域进行图像融合,即: $P_{\text{total}} = \lambda P_1 + (1 - \lambda) P_2$, P_{total} 为重叠区域像素的最终颜色值, P_1 为原图像像素的颜色值, P_2 为采用上述算法进行修补后的修补区域像素颜色值, λ 为融合参数.

4 实验结果及分析

实验采用的硬件平台为 Intel® Xeon® W3520,显卡为 NVIDIA® Quadro® FX 1800,内存为 4G,编程平台为 Windows 7 下的 Visual Studio 2008 以及 MATLAB 2010.实验数据来源于 Point Grey 公司的 Ladybug3 全景采集设备,获得的全景图像素大小为 3500×1750 .

为说明本文算法的修补效果,本文选取了 2 个场景分别进行空洞修补的实验.实验 1 是对场景中缺失的交

通标志进行修复,实验 2 是对地面纹理进行修复,实验结果分别如图 6、7 所示.将本文中算法的修复效果与 Google 街景对底部场景缺失问题的处理相比(如图 8 所

示,图片来自于 Google 街景),本文方法修复得到的场景更具有真实性和完整性,在一些要求真实性高的场合可以满足应用需求.

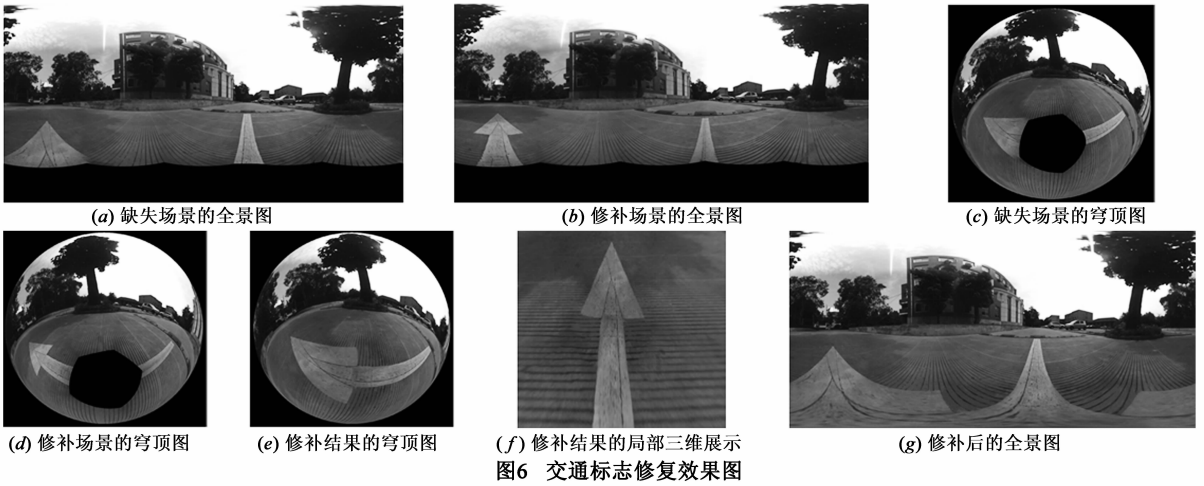


图6 交通标志修复效果图

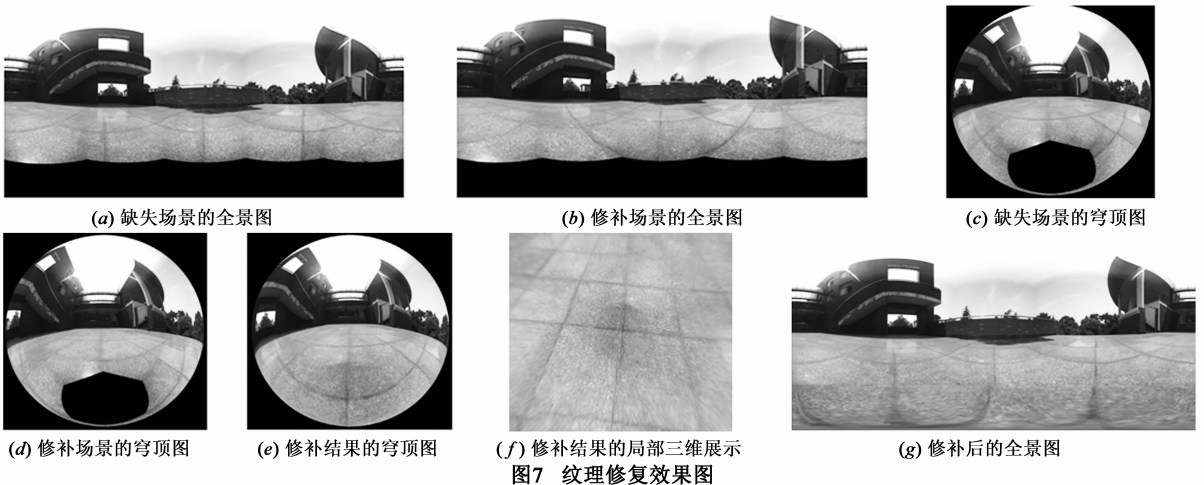


图7 纹理修复效果图

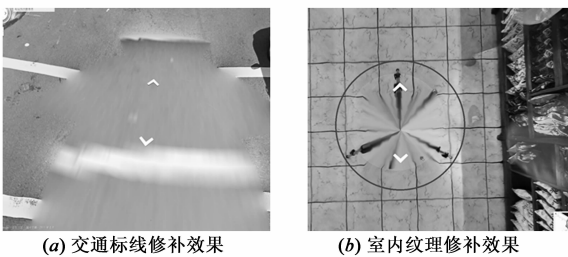


图8 Google街景对底部场景的处理截图

本文算法的核心步骤包括两步,第一步为计算待修补球面全景 V_1 上所有缺失像素在 V_2 上的对应值,即对于任意底部空洞中的像素 (x_{v_1}, y_{v_1}) ,求解 $(x_{v_2}, y_{v_2}) = f_3 \cdot f_2 \cdot f_1(x_{v_1}, y_{v_1})$. 因此根据上文中推导,这一步时间复杂度为 $O(n)$. 第二步为修复效果优化,在这一步中仅需处理底部空洞边缘附近的像素点,其算法时间复杂度也为 $O(n)$. 综上,本文的算法时间复杂度为 $O(n)$.

与文献[15]中的时间复杂度 $O(n^2)$ 相比,本文中算法的时间复杂度明显降低.且文献[15]使用运动获得结构算法获得已知像素的深度,通过插值获得待修复像素的深度信息,并基于该深度信息获得图像的修复.当深度信息错误时,会对实验结果真实性产生影响,虽然可以达到最优的视觉一致性,但不一定符合真实的场景,而本文中的算法获得的是场景的真实修复.文献[14]中图像修复算法的时间复杂度约为 $O(n^2)$,也明显高于本文算法的复杂度.文献[12,15]为了获得更好的修复效果,均使用了能量优化的方法修复图像,计算复杂度较大,而本文中的算法通过真实的映射关系获得待修复区域的真实修复,且计算量较小.此外,文献[12]中基于单应矩阵进行变形的步骤不适用于球面全景图修补的场合.文献[16]中,如果不考虑 Leibe 行人检测算法的复杂度,其图像修复算法的时间复杂度为

$O(n \lg n)$,也高于本文中算法的时间复杂度,且该算法的修复结果与修复区域周围存在较明显的差异,不足视觉一致性要求。

实际运行中,实验 1 和实验 2 的修补速度分别如表 1 所示。

表 1 实验数据分析表

	待修补的 像素数 (个)	用于修补 的像素数 (个)	修补速度 (ms)	优化速度 (ms)	平均速度 (s/万像素)
实验 1	939000	65201	10279	3105	0.142
实验 2	939000	31073	10122	3098	0.141

综合以上分析,本文算法可以快速地实现对球面虚拟实景中底部空洞的修复,且能达到很好的修复效果.本文算法的优缺点分析如下。

优点:

(1)算法速度快,能满足实时性需求;

(2)能真实还原待修补区域的场景信息,且修补效果满足视觉真实感需求。

缺点:

(1)算法可扩展性不强,只适合于球面虚拟实景中底部空洞的修补;

(2)由于用于修补区域的像素明显少于待修补区域的像素,因此修补后区域容易出现模糊的现象。

5 结论

球面虚拟实景在虚拟现实和增强现实领域具有越来越广泛的应用.而由于球面全景采集设备的限制,获得的球面虚拟实景往往会缺失底部场景信息,存在底部空洞现场.本文提出了一种利用不同时刻拍摄场景间存在的空间位置关系进行底部缺失场景修复的方法.首先建立球面全景图与球面虚拟实景之间的对应关系,然后根据两处球面虚拟实景间存在的空间位置关系建立位置映射模型,并基于此模型实现底部场面的修复.实验结果表明,本文提出的方法可以较好的解决球面虚拟实景底部信息缺失问题,修复的场景具有真实性,可以应用于虚拟展示,以及犯罪现场重建等特殊领域,且算法的复杂度低、速度快.由于本文算法的针对性强,适用性不广,因此如何针对球面虚拟实景中非底部的场景进行修补或隐私信息移除,将是下一步研究的目标。

参考文献

[1] 叶强强,余焯,张静,等.基于网格的球面虚拟实景空间搭建方法[J].华南师范大学学报,2012,44(4):56-60.
[2] Korah T, Rasmussen C. Spatiotemporal inpainting for recovering

texture maps of occluded building facades[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2007, 16(9): 2262-2271.
[3] Bertalmio M, Sapiro G, Caselles V, et al. Image inpainting[A]. Proceedings of ACM SIGGRAPH[C]. New York: ACM Press, 2000. 417-424.
[4] Chan T F, Shen J. Mathematical models for local nontexture inpaintings[J]. SIAM Journal on Applied Math, 2001, 62(3): 1019-1043.
[5] 肖志云,张文霞.小波域的纹理图像快速修复算法[J].仪器仪表学报,2008,29(7):1422-1425.
Xiao Zhiyun, Zhang Wenxia. Wavelet-domain fast inpainting algorithm for texture image[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2008, 29(7): 1422-1425. (in Chinese)
[6] 秦绪佳,桑贤生,程时伟,等.改进的规范化卷积图像修复算法[J].计算机辅助设计与图形学学报,2011,23(2):371-376.
Qin Xujia, Sang Xiansheng, Cheng Shiwei, et al. An improved image inpainting algorithm based on normalized convolution [J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2011, 23(2): 371-376. (in Chinese)
[7] 李晋江,张彩明,范辉,等.基于分形的图像修复算法[J].电子学报,2010,38(10):2430-2435.
Li Jinjiang, Zhang Caiming, Fan Hui, et al. Image inpainting based on fractal theory[J]. Acta Electronica Sinica, 2010, 38(10): 2430-2435. (in Chinese)
[8] 张岩,孙正兴,姚伟.基于方向经验模型分解的图像修复方法[J].电子学报,2010,38(2):257-262.
Zhang Yan, Sun Zhengxing, Yao wei. Image completion based on direction empirical mode decomposition[J]. Acta Electronica Sinica, 2010, 38(2): 257-262. (in Chinese)
[9] Criminisi A, Pérez P, Toyama K. Region filling and object removal by exemplar-based image inpainting[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(9): 1200-1212.
[10] 李志丹,和红杰,尹忠科,等.基于块结构稀疏度的自适应图像修复算法[J].电子学报,2013,41(3):449-554.
Li Zhidan, He Hongjie, Yin Zhongke, et al. Adaptive image inpainting algorithm based on patch structure sparsity[J]. Acta Electronica Sinica, 2013, 41(3): 449-554. (in Chinese)
[11] Sun J, Yuan L, Jia J Y, et al. Image completion with structure propagation[A]. Proceedings of ACM SIGGRAPH[C]. New York: ACM Press, 2005. 861-868.
[12] 刘春晓,彭群生,杨颖振,等.利用大位移视图修复单幅图像的透视畸变优化算法[J].电子学报,2009,37(4A): 112-117.
Liu Chunxiao, Peng Qunsheng, Yang Yingzhen, et al. Optimization of perspective distortion for image completion based on the large displacement view[J]. Acta Electronica Sinica, 2009, 37(4A): 112-117. (in Chinese)
[13] Frome A, Cheung G, Abdulkader A, et al. Large-scale privacy

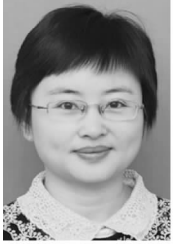
protection in Google street view[A]. Proceedings of the 12th International Conference on Computer Vision [C]. Kyoto: IEEE, 2009. 2373 – 2380.

- [14] Flores A, Belongie S. Removing pedestrians from Google street view images[A]. Proceedings of Computer Vision and Pattern Recognition Workshops [C]. Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 2010. 53 – 58.

- [15] 张茂军, 高辉, 徐玮, 等. 面向行人移除的街景图像全景优化时空修补方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2012, 24(2): 176 – 182.

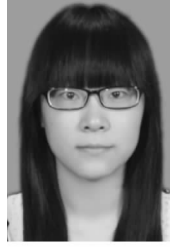
Zhang Maojun, Gao Hui, Xu Wei, et al. Spatial-temporal image completion via global optimization for pedestrian removal [J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2012, 24(2): 176 – 182. (in Chinese)

作者简介



余 焯 女, 1982 年 3 月出生, 安徽安庆人, 讲师、硕士生导师, 2010 年获得合肥工业大学工学博士学位. 主要研究方向为场景建模, 虚拟现实与可视化.

E-mail: yuyue3841@sina.com



李冰飞 女, 1991 年 1 月出生, 安徽合肥人. 现为硕士研究生, 主要研究方向为场景建模.