

中图法分类号: TP391.41 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2010)12-1796-08

论文索引信息: 陈旺, 张茂军, 熊志辉, 娄静涛. 基于单幅折反射全向图的水平直线3维重建[J]. 中国图象图形学报, 2010, 15(12):1796-1803

基于单幅折反射全向图的水平直线3维重建

陈旺, 张茂军, 熊志辉, 娄静涛

(国防科学技术大学信息系统与管理学院, 长沙 410073)

摘要: 与传统的利用立体视觉原理进行3维重建不同,在研究基于单幅全向图像重建空间水平直线问题的基础上,首先指出基于直线在全向图中的两个像点即可重建该水平直线,然后通过分析和推导空间水平直线在全向成像系统中的成像特点,有效简化了全向图中的水平直线检测;针对现有“四点定位”方法的不足,提出了一种基于“主像点/非主像点”的水平直线重建算法,并详细分析了像点提取精度对直线重建结果的影响。实验表明,在不同的像点提取精度下,对于不同空间水平直线,该重建算法均能取得较好结果。

关键词: 单幅图像; 折反射全向图; 水平直线; 3维重建

Horizontal line 3D reconstruction from two image points based on single catadioptric omni-directional image

CHEN Wang, ZHANG Maojun, XIONG Zhihui, LOU Jingtao

(National University of Defense Technology, College of Information System and Management, ChangSha 410073)

Abstract: Differ from traditional 3D reconstruction via stereo vision, this paper studies the reconstruction of straight horizontal lines in 3D space from single 2D omni-directional images. It demonstrates that, for symmetric non-central catadioptric systems, the equation of a 3D horizontal line can be estimated using only two points extracted from its image. By exploiting the peculiar property of horizontal line image in catadioptric system, line detection from single omni-directional image can be simplified. Meanwhile, a horizontal line reconstruction algorithm based on main-point image and non-main-point image is developed. Detailed experiments justify that, under the same precision of image point extraction, compared to present primary approaches of reconstruction from four image points, our methods is more straightforward and accurate.

Keywords: single image; catadioptric omni-directional image; horizontal line; 3D reconstruction

0 引言

非自然场景,如室内环境、城市街道等的3维重建是计算机视觉中的重要问题,其在虚拟漫游、机器人导航等领域应用广泛。3维重建主要有基于声光测距装置的方法和基于计算机视觉的方法,后者由于成本较低、使用方便,已得到越来越多的关注。以

往用基于计算机视觉的方法来进行3维重建的研究主要集中在利用普通图像和双目视觉或多目视觉原理来求解两幅或多幅图像中的对应点匹配问题,如基于动态规划^[1]、最大流/最小割^[2-3]、信念传播网络^[4]等方法,但此类方法往往将问题最终归结为能量函数的最优化,需要至少两幅立体图像对才能重建,且计算代价较高。

近年来,国际上基于单幅折反射全向图像进行

基金项目:国家自然科学基金项目(60705013, 60773023)。

收稿日期:2009-05-18;改回日期:2009-09-23

第一作者简介:陈旺(1981—),男,国防科学技术大学系统工程专业博士研究生。研究方向为立体视觉技术、图像处理与分析。

E-mail: ifihavetime@163.com。

空间水平直线 3 维重建已成为研究热点。折反射全向成像技术是一种通过曲面(如抛物面、双曲面、圆锥面等)反射镜把 3 维空间内物体的光线反射到成像传感器来进行成像的技术,其特点是能同时获取水平方向 360° 视野的景象。因此基于折反射全向图像的空间水平直线 3 维重建具有以下优势: 1) 全向图像具有 360° 水平视域,有利于大范围场景恢复和机器人导航等应用; 2) 基于单幅图像的空间水平直线重建可避免立体匹配问题,并可充分利用非自然场景,如城市街道等直线特征明显的特点,通过重建空间水平直线来确立场景 3 维结构框架; 3) 有效的空间直线重建还可以为线-面-体分级结构的精细场景 3 维重构提供重要依据。

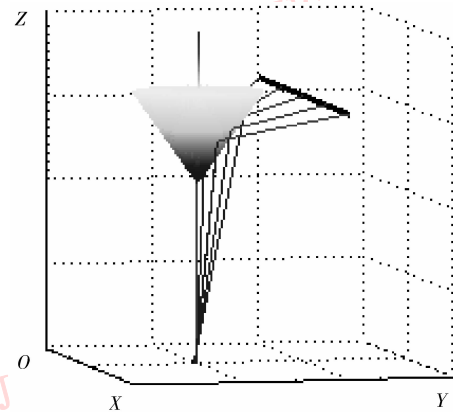
Sturm 等人提出了一种基于单幅全向图像重建空间直线的方法^[5],该方法先通过手动选取图像中直线上的点,然后人为判断直线之间的共面、平行、垂直关系,并依据这些先验知识恢复空间直线和平面。Caglioti 等人证明了基于单幅全向图像进行空间直线重建必须满足的充分条件,并提出了在以圆锥面为反射镜面的全向成像系统中,基于空间直线任意 4 个像点来计算直线 3 维空间位置的算法(以下简称“四点定位”方法)^[6-7]。Caglioti 等人进一步研究了全向成像系统中的镜面中心轴与相机光轴不重合情况下的空间直线重建问题^[8],并用该方法对基于单幅全向图像的轴偏离-非中心折反射成像(off-axis non-central catadioptric)系统进行校准^[9]。在此基础上,Lanman 等人以球面为例研究了基于更一般的折反射全向成像系统的直线重建问题^[10]。考虑到空间水平直线特征在非自然场景所占的比重较大,以及对于场景重建的重要程度和整个重建算法的自动化,Pinciroli 等人基于文献[6]提出了一种检测和重建空间水平直线的方法^[11],该方法以图像边缘检测结果为样本,用 RANSAC 方法判别和重建水平直线。而对于全向图中空间水平直线的检测问题,Basu 等人提出了一种全景 Hough 变换算法^[12-14],即通过将点映射为 Hough 空间的曲线以及通过检测 Hough 空间的极点来进行水平直线提取。

然而,现有研究由于在空间直线检测时是采用全景 Hough 变换或 RANSAC 等方法,从而导致检测过程复杂,计算量较大;另一方面,基于“四点定位”的直线重建方法由于对像点的选取具有随机性,使得重建直线的准确度不高,受直线提取精度影响明显。为此,本文针对检测和重建这两个核心问题,首先分析了空间水平直线的折反射全向成像特点,用

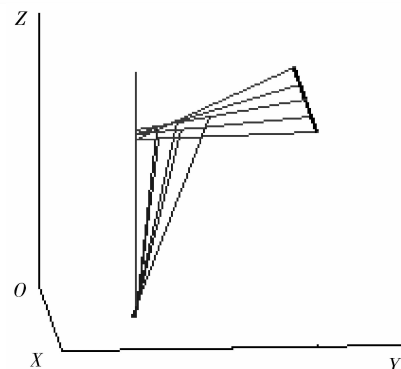
于简化全向图中水平直线的检测;然后,在重建问题上,提出了基于“主像点/非主像点定位”的水平直线 3 维重建算法,并分析了像点提取精度对直线重建结果的影响。实验表明,在不同的像点提取精度下,对于不同的空间水平直线,本文算法的重建误差总体少于 2%,且均优于“四点定位”方法的重建结果。

1 “四点定位”原理简介

根据成像特性的不同,折反射全向成像系统可分为单视点(SVP)和非单视点(non-SVP)两类^[15]。对于单视点系统,设空间直线 L 所成的像为 I_L ,则与直线 L 对应的所有入射光线交于同一点即视点,它们形成的面,又称视线面(viewing surface) S 是一个平面。这导致平面 S 上任一直线所成的像与 I_L 完全相同(不考虑直线长度),即 I_L 对应无数(∞^2)条可能的空间直线。由此可见,对于单视点成像系统而言,仅仅根据 I_L 无法重建空间直线;而非单视点系统与此不同,图 1 所示为空间直线在以圆锥面为



(a) 空间直线通过圆锥面反射镜成像示意图



(b) 与图 1 (a) 对应的光路示意图

图 1 空间直线通过非单视点全向系统成像

Fig. 1 Imaging illustration of a space line with the non-SVP system

反射镜面的非单视点系统中的成像情况。由于所有入射光线不汇聚于一点,因此该视线面并非平面,而是一个由异面直线构成的曲面,这使得基于单幅图像来重建该直线成为可能(具体证明见文献[6])。

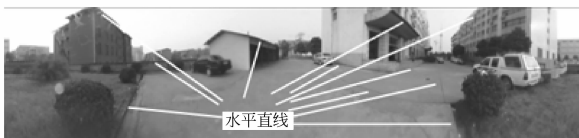
枚举几何指出,与 $N(N > 3)$ 条空间异面直线相交的线要么有无数 (∞^1) 条(当这 N 条直线位于同一个直纹二次曲面上),要么最多为两条^[6-8,16]。一般情况下,3 维空间中 4 条异面直线的交线仅有 2 条,3 条以下异面直线的交线有无数条,而 4 条以上异面直线则通常没有共同交线。依据这一理论,文献[17]从空间直线所成的像中任取 4 点,根据光路原理来反求 4 条入射光线,如果这 4 条光线相互异面,且不位于同一直纹二次曲面上,则理论上能够求得与这 4 条线同时相交的两条空间直线。由于其中一条交线为光轴,因而可以唯一重建另一条空间直线。

2 空间水平直线的全向成像特点

众所周知,室内环境、城市街道等非自然场景中,空间水平直线大量存在。如图 2 所示,其中建筑物顶/底部边缘、绿化区边界、地面的网格状纹理等都可认为是空间水平直线。对于这类场景,通过空间水平直线重建可基本确立场景的 3 维结构。



(a) 非自然场景全向图



(b) 全向图的柱面展开图及水平直线示意

图 2 非自然场景全向图的柱面展开

Fig. 2 Cylindrical unwrapping of the non-natural scene

虽然文献[11]研究了基于单幅全向图像来重建空间水平直线的问题,但其本质上是基于“四点定位”的方法,由于没有充分考虑空间水平直线的

全向成像特点,过程繁琐,且容易受像点提取精度影响,因此重建精度不高。针对这一不足,本文以中心对称圆锥面非单视点全向成像系统为例(为便于与文献[11]比较)来分析空间水平直线的成像和重建问题,但实际上,下文所进行的分析和相应算法同样适用于其他中心对称非单视点成像系统(下文统称为 SNSVP 系统)。

考虑到全向成像系统的轴对称性,仅分析其剖面成像情况。如图 3 所示,设空间一点 $P_1 = (x_{P_1}, y_{P_1})$ 经镜面反射点 $m_1 = (x_{m_1}, y_{m_1})$,其在全向图上的成像为 $p_1 = (-d_1, 0)$ 。坐标原点为 O ,反射面顶点与焦点间距离 $O'F = L$,焦点与原点间的距离 $FO = f$,直线 m_1m_2 的方程为 $y = kx + f + L$ 。由反射定律可知,入射线 p_1m_1 与水平线(X 轴)夹角为 $\theta = 2\alpha - \beta$ 。 d_1 为像点 p_1 到坐标原点 O 的距离, d_2 为像点 p_2 到坐标原点 O 的距离。

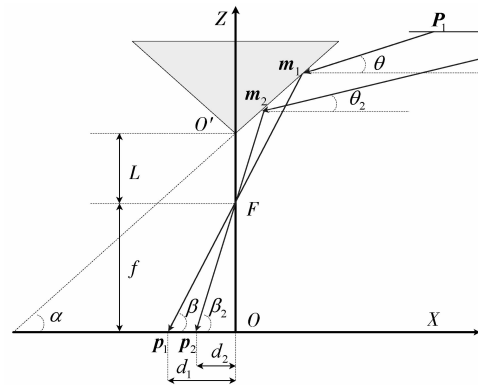


图 3 锥面折反射全向系统的成像模型

Fig. 3 Projection model of the symmetric non-central catadioptric camera with conical mirror

因此根据以下关系: 1) 点 p_1 和点 m_1 位于同一直线上; 2) 点 m_1 位于锥面母线 m_1m_2 上; 3) $\tan(\theta) = \tan(2\alpha - \beta)$, 可联立方程组得

$$\begin{cases} \frac{y_{m_1} - f}{x_{m_1}} = \frac{f}{d_1} \\ y_{m_1} = k \times x_{m_1} + f + L \\ \frac{y_{P_1} - y_{m_1}}{x_{P_1} - x_{m_1}} = \frac{2k \times d_1 - f(1 - k^2)}{d_1(1 - k^2) + 2k \times f} \end{cases}$$

上式即为锥面折反射全向成像系统中,空间点坐标与其像点位置的关系式。其中 $\tan \alpha = k, \tan \beta = \frac{f}{d_1}$,

$$\tan \theta = \frac{y_{P_1} - x_{m_1}}{x_{P_1} - y_{m_1}} \text{ (设 } \theta > 0 \text{)}。$$

现令与空间点 P_1 具有相同高度的另一空间点 $P_2 = (x_{p_2}, y_{p_2})$ 经镜面反射点 $m_2 = (x_{m_2}, y_{m_2})$ 在全向图上的成像为 $p_2 = (-d_2, 0)$ 。下面将证明当 $d_2 < d_1$ 时,有 $x_{p_2} > x_{p_1}$ 。

证明 如图 4 所示,设 Ω 为像平面中与图像中心 O 距离相等的点所形成的圆,则根据折反射成像原理可知,与 Ω 对应的入射线构成一个倒立的锥面 π 。空间直线 L 如果在 Ω 上成像,则直线 L 必与锥面 π 至少交于一点,且最多有两个交点。 Ω 的半径越小,锥面 π 的母线越趋向于水平, L 与锥面 π 的交点偏离轴线 Z 的距离越远。由上文可知,空间点 P_1, P_2 对应的像点为 p_1, p_2 ,且 $d_2 < d_1$ 。此时,若设像点 p_1 位于 Ω_1 上,像点 p_2 位于 Ω_2 上,与 Ω_1 对应的锥面为 π_1 ,与 Ω_2 对应的锥面为 π_2 ,空间点 P_1 为空间直线 L 与锥面 π_1 的交点,空间点 P_2 为空间直线 L 与锥面 π_2 的交点,则根据 $d_2 < d_1$ 可知, Ω_1 的半径大于 Ω_2 的半径,即锥面 π_2 的母线较锥面 π_1 的母线更趋于水平。事实上,锥面 π_1 在锥面 π_2 之内,因此空间点 P_2 距 Z 轴的距离大于空间点 P_1 距 Z 轴的距离。当 L 为水平直线(即空间点 P_1, P_2 具有相同的高度)时,必有 $x_{p_2} > x_{p_1}$ 。

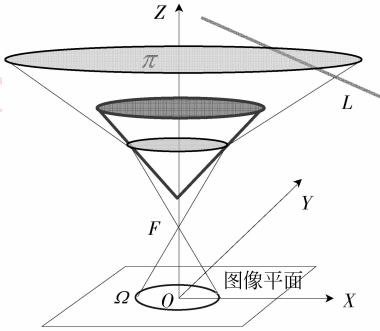


图 4 空间水平直线在锥面折反射系统中的成像模型

Fig. 4 Projection model of the non-central conical catadioptric camera for space horizontal line

上述推导表明,当 $\theta > 0$ 时,相同高度的空间点通过 SNSVP 系统所成的像离中心轴的距离与这些点自身离中心轴的距离成单调递减关系。同理可证,当 $\theta < 0$ 时,这一结论刚好相反,即相同高度的空间点所成的像离中心轴的距离与这些点自身离中心轴的距离成单调递增关系。而 $\theta = 0$ 则属于一种退化情况^[6]。

3 基于主像点/非主像点的空间水平直线重建方法

为便于下文讨论,对相关概念定义如下:

定义 1 空间水平直线上离镜面中心轴最近的点称为主点,其他点称为非主点,它们对应的像分别称为主像点和非主像点。

定义 2 当与空间水平直线 L 对应的入射光线与水平面的夹角不为 0° 时,则称 L 为非退化的空间水平直线。

定理 1 非退化的空间水平直线 L 通过 SNSVP 系统成像为一条曲线 l ,若曲线 l 上点 p 是水平直线 L 上主点 P 所成的像,则曲线 l 上的点离图像中心的距离以点 p 为分界点,沿 l 依次增大或减少。

证明 由于 L 为空间水平直线,因此,水平直线 L 上的点具有相同的高度;又因为 P 是主点,所以水平直线 L 上的点离中心轴的距离以点 P 为分界点,沿水平直线 L 逐渐增大;根据第 2 节的推论,相同高度的空间点通过 SNSVP 系统所成像离中心轴的距离与这些点自身离中心轴的距离成单调递增或递减关系,因此定理可证。

然而,由于真实场景中的水平直线不可能无限长,它们通常都是一些水平直线段,从而使得其在全向图中的成像可能并不存在主像点,但这并不影响对基于主像点/非主像点的空间水平直线重建方法的研究。事实上,文献[12-14]提出了一种等价于空间水平直线段主像点的检测算法,但该算法较为复杂,计算量大。而本文则通过分析空间水平直线的成像特点,不仅可以有效剔除全向图中非水平直线成像的特征曲线,且在主像点存在的情况下,能快速有效地检测主像点;对于主像点不存在的情况,本文仍使用文献[12-14]中的方法进行主像点提取。

基于主像点/非主像点的空间水平直线重建的原理如下。图 5 为空间水平直线通过锥面全向系统成像示意。设空间直线 L 与像平面(XY 平面)平行,空间点 P_{main} 与 P 是空间直线 L 上的点,且点 P_{main} 是空间直线 L 的主点, I_{main} 为空间点 P_{main} 与镜面的交点在 XY 平面上的投影,平面 $P_{\text{main}} I_{\text{main}} O$ 与 Y 轴垂直。

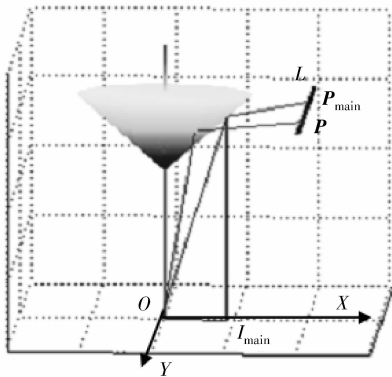


图 5 空间水平直线锥面反射全向成像示意图

Fig. 5 Imaging illustration of a horizontal line with the non-central conical catadioptric camera

则有

定理 2 在 SNSVP 系统中,已知空间水平直线 L 上的主点和任一非主点在全向图中的像点坐标及成像系统参数,则直线 L 可唯一确定。

证明 设直线 L 上的主点 P_{main} 和非主点 P 在全向图中的像分别为 p_{main} 和 p ,则根据光路反射原理及成像系统参数,即可求得与像点 p_{main} 和 p 对应的入射光线 t_{main} 和 t 。由于点 P_{main} 为主点,所以有 $L \perp P_{\text{main}}FO$ 平面;而 t_{main} 位于 $P_{\text{main}}FO$ 平面上,进而有 $L \perp t_{\text{main}}$;又由于直线 L 同时交于 t_{main} 和 t ,且水平,因此根据像点 p_{main} 和 p 就可提供关于直线 L 的 4 个独立约束,从而可唯一求解空间水平直线 L 。

定理 2 表明,基于上述方法重建空间水平直线的两个重要前提在于:1)全向图中空间水平直线所成的像的提取;2)主像点的确定。为解决第 1 个问题,文献[11]依据“四点定位”方法,对全向图进行边缘提取后的所有曲线,通过任取曲线上 4 点来计算空间水平直线,而后用 RANSAC 方法进行筛选和评估。而对于第 2 个问题,文献[12]提出了一种全景 Hough 变换方法,该方法先将全向图边缘提取后的所有曲线变换到 2 维 Hough 空间,然后通过分析 Hough 空间的极点来判定曲线是否对应空间水平直线。但事实上,根据定理 1 就可以推导出空间水平直线成像的必要条件,从而可简化全向图边缘提取后的曲线处理和主像点的提取。

推论 1 在 SNSVP 系统中,若全向图中某一曲线为空间水平直线所成的像,则该曲线上的点离图像中心的距离必定沿曲线依次增大或减少,没有拐

点或有且仅有一个拐点,且该拐点正好对应于主像点。

推论 2 SNSVP 系统中,设全向图中心为 O 。对于空间水平直线,如果其在全向图所成像中的任意两点与点 O 的连线和主像点与点 O 的连线具有相同夹角,则这两个像点必定关于主像点对称。而非水平直线所成的像则不满足这一特性。

基于以上结论,对于单幅折反射全向图像,本文相应地提出了一种自动的、基于“主像点/非主像点定位”的空间水平直线重建方法,相比文献[11-12]而言,本文方法的处理过程更为简单,且定位精度更高。

算法总体流程如下:

- 1) 全向图边缘提取。
- 2) 若还有未处理的边缘曲线,则任选一条,并统计曲线上的所有点与图像中心距离的变化规律,若符合推论 1 和推论 2,则

(1) 若曲线上的点与图像中心距离的变化存在拐点,则以与拐点对应的像点为主像点;

(2) 若无拐点,则使用文献[12]中的方法计算主像点。

3) 基于曲线上的主像点和非主像点,用本文算法重建空间水平直线。

4) 转至步骤 2)。

4 实验与分析

为便于与文献[11]方法进行对比分析,本文同样基于锥面折反射全向成像系统进行实验。理想情况下,如果已知像点的精确坐标,则“四点定位”和本文方法均能准确重建 3 维直线,但由于像点提取的精度问题,事实上不可能获得完全准确的像点坐标,从而导致直线重建会存在偏差。

实验结果表明,像点坐标越精确,直线重建结果越准确,在允许的误差范围内,能够重建得到越远范围内的空间直线。为分析两种方法重建直线的准确度与像点提取精度的关系,本文在理想模型中引入了随机误差,并对实验结果进行统计分析。

4.1 不同像点提取精度下的重建分析

设成像系统参数和空间直线位置已知,若从该直线上随机选取 400 个点,则根据式(2)即可计算 400 个对应像点的精确坐标,理论分析表明,这些坐标的精度可达 10^{-10} cm 以上。但实际上,当前像素

提取算法很难达到这么高的准确度,因此,实验中通过对像素提取引入模拟误差,分别将提取精度保持在 10^{-2} cm、 10^{-3} cm、 10^{-4} cm 数量级,并从 400 个像点中选取 4 点和 2 点(其中包括一个固定的主像点)进行 3 维直线重建。图 6 为用“四点定位”方法和本文方法对同一空间水平直线,在不同像素提取精度下 3 维重建 200 次的实验结果,其中,空间直线

与成像系统光轴间距离的真实值为 360 cm,直线长度为 300 cm(图中粗直线所示),距离水平面的高度为 250 cm。

实验数据表明,在 10^{-2} cm 的像素提取精度下,两种方法基本上都不能正确重建 3 维直线,但在 10^{-3} cm 和 10^{-4} cm 的像素提取精度下,本文方法却明显优于“四点定位”方法。

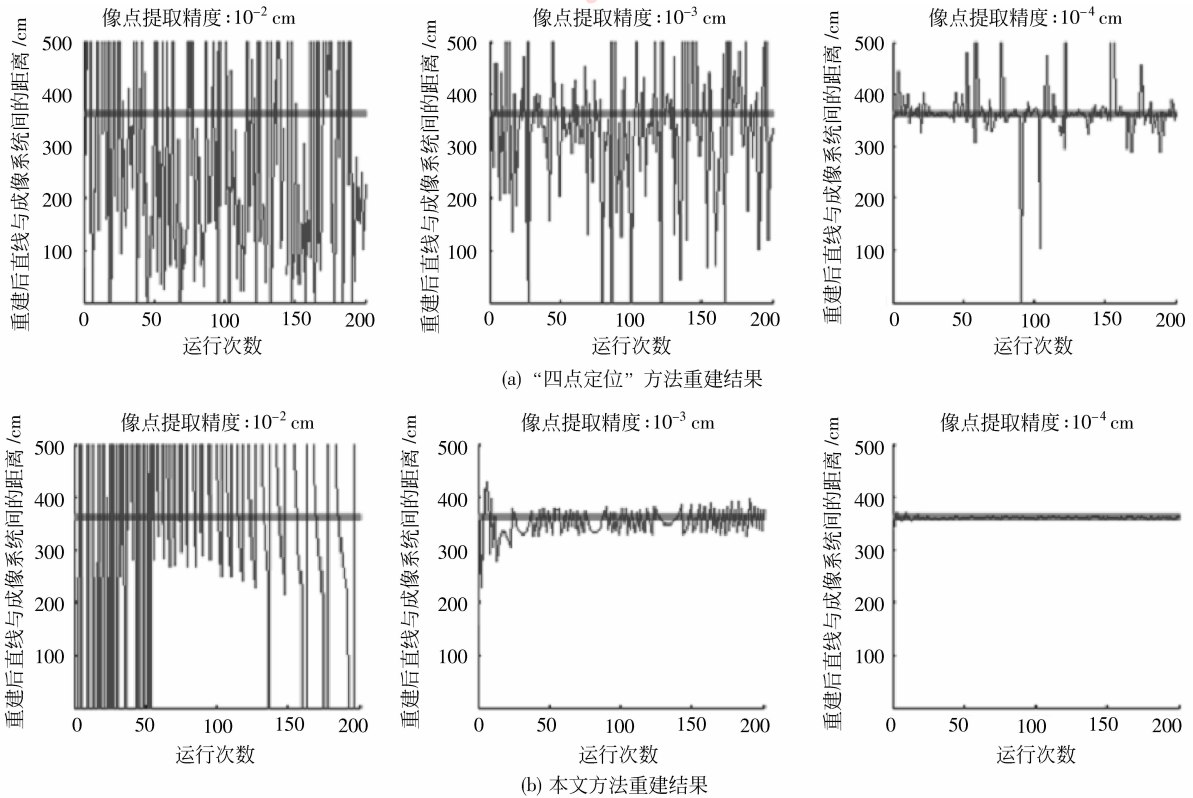


图 6 基于“四点定位”方法和本文方法的同一直线不同像点提取精度下的 3 维重建结果

Fig. 6 Reconstruction results via “four points” algorithm and propose method under the same accuracy of image point extraction for the same space horizontal line

4.2 相同像点提取精度下的重建对比

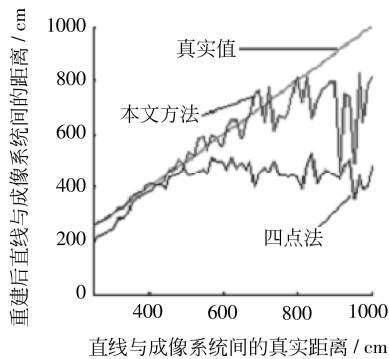
对于在 10^{-3} cm 和 10^{-4} cm 这两种像素提取精度下,不同空间水平直线的重建情况,本文进行了详细的统计分析。实验中直线的真实高度为 250 cm,距成像系统距离依次取值为 250 cm 到 1000 cm(如图中直线所示),每条直线以 600 次随机重建的平均值为最终的重建结果(如图 7 所示)。

由图 7 可以看出,在两种像素提取精度下,对于不同距离的空间直线,基于本文方法的重建结果都与真实数据更为接近,尤其是在 800 cm 到 1000 cm 的距离范围内, 10^{-3} cm 像素提取精度下的“四点定位”已基本失效,而基于本文方法的重建结果则相

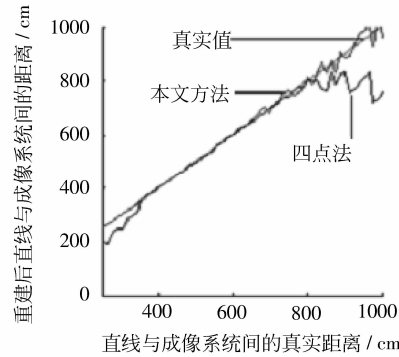
对较好(如图 7(a)所示)。从图 7 中同时可以看出,在 10^{-3} cm 像素提取精度下,较为准确的水平直线重建范围为距离 800 cm 以内(如图 7(a)所示),而在 10^{-4} cm 像素提取精度下,距离为 800 cm 至 1000 cm 的水平直线也可以准确重建(如图 7(b)所示),这说明提高像素提取精度是重建更远范围内空间水平直线的有效方法。

4.3 基于单幅全向图的水平直线重建实验

为进一步展示基于单幅全向图像的空间水平直线重建过程和阐述本文所提算法,本文以一个仿真场景为例进行实验。图 8(a)为 3D MAX 中的仿真场景,场景中有 4 个平面共 8 条空间水平直线,坐标



(a) 像点提取精度为 10^{-3} cm 时的直线重建结果



(b) 像点提取精度为 10^{-4} cm 时的直线重建结果

图 7 “四点定位”法和本文方法在不同直线相同像点提取精度下的 3 维重建结果

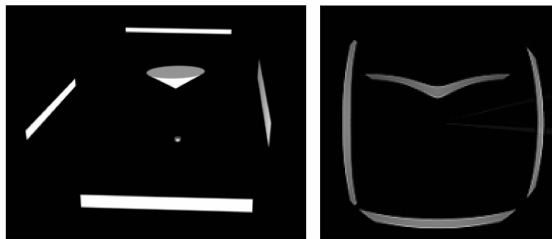
Fig. 7 Reconstruction results via “four points” algorithm and propose method under different accuracies of image point extraction for space horizontal lines of different distance

系原点为成像系统中像平面的中心。图 8(b) 为对应的全向图。图 8(c) 为依据本文算法重建的 3 维场景。表 1 为场景中直线(与成像系统光轴间)距离、高度的重建结果及相应真实值的对照。实验数据表明,重建结果具有较高精度。

表 1 仿真场景中直线重建结果的误差分析

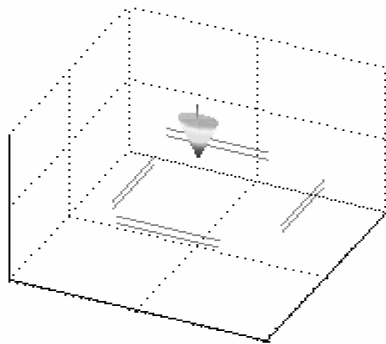
Tab. 1 Error analysis of line reconstruction

真实值/cm		重建结果/cm		错误率/%
距离	高度	距离	高度	距离
254	76.2	257.23	80.67	1.27
127	76.2	127.51	81.11	0.4
152.4	101.6	152.23	105.42	0.06
203.2	91.44	206.80	93.22	1.77



(a) 仿真场景

(b) 全向图像



(c) 重建结果

图 8 基于单幅全向图像重建空间水平直线

Fig. 8 Space horizontal line reconstruction from single omni-directional image

4.4 与立体视觉方法的比较分析

立体视觉方法和本文方法都可用于水平直线的 3 维重建,为比较分析这两类方法的优缺点,本文进

行了一组基于真实图像的对比实验。图 9 为实验室内实际拍摄的两幅全向图中的一幅(两次拍摄位置相距 25 cm)。图中红色边框内标注的特征分别为棋盘格中的一条直线、门框上缘、窗框上缘和屋顶日光灯的边缘线。由于相机朝正上方拍摄且用支架水平固定,因此可近似认为这 4 条边缘线平行于相平面。用本文方法和立体视觉方法对它们分别进行重建的结果如表 2 所示。

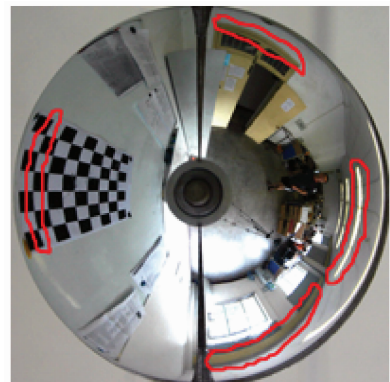


图 9 实际拍摄全向图(红色边框为手工标注)

Fig. 9 Real omni-directional image

表 2 本文方法和立体视觉方法的重建结果对比分析

Tab. 2 Reconstruction comparison between stereo algorithm and proposed method

	重建直线到成像系统的距离/cm		人工测量结果 /cm
	立体方法	本文方法	
棋盘格直线	63	55	60
门框上缘	274	27	277
窗框上缘	425	433	428
日光灯边缘	486	469	482

表 2 数据表明,本文提出的基于单幅全向图的空间水平直线重建虽然能够得到较为准确的重建结果,然而较立体视觉方法而言,重建精度仍相对较低。其主要原因在于,像点提取误差和成像系统标定误差会对直线重建产生决定性影响,且此类方法只能重建部分空间直线,无法直接得到稠密的场景重建结果。但其优势在于:1)它仅需要单幅图像,且无需对图像对进行校正;2)重建原理简单,避免了复杂的立体匹配问题,可应用于摄影测量、机器人定位导航和场景框架结构恢复等场合。

5 结 论

非自然场景中的直线 3 维重建是计算机视觉中的一个重要问题。本文研究了基于单幅全向图像的空间水平直线重建,即首先根据折反射全向成像系统的成像模型分析了空间水平直线的成像特点,并将其用于简化全向图中水平直线的提取;然后在直线重建问题上,研究了像点提取精度对直线重建结果的影响,并提出了一种基于“主像点/非主像点定位”的空间水平直线重建算法。统计实验和仿真结果表明,该方法具有较好的重建效果。但事实上,影响直线重建准确度的因素不仅有像素的提取精度,还包括成像系统标定的精度、镜面制造工艺的精度、安装精度、误差衡量方法不同等,这也是下一步需要考虑和研究的内容。

参考文献 (References)

- [1] Kim J C, Lee K M, Choi B T, et al. A dense stereo matching using two-pass dynamic programming with generalized ground control points [C] // Proceedings of International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2005: 1075-1082.
- [2] Vladimír K, Ramin Z. What energy functions can be minimized via graph cuts [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2004, 26(2): 147-159.
- [3] Vladimír K. Graph based algorithms for scene reconstruction from two or more views [D]. Cornell University, Ithaca, Wisconsin, USA, 2004.
- [4] Klaus A, Sormann M, Karner K. Segment-based stereo matching using belief propagation and a self-adapting dissimilarity measure [C] // Proceedings of International Conference on Pattern Recognition. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2006: 15-18.
- [5] Sturm P. A method for 3D reconstruction of piecewise planar objects from single panoramic images [C] // Proceedings of the IEEE Workshop on Omnidirectional Vision. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2000: 119-126.
- [6] Caglioti V, Gasparini S. On the localization of straight lines in 3D space from single 2D images [C] // Proceedings of International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2005: 1129-1134.
- [7] Caglioti V, Gasparini S, Taddei P. Methods for space line localization from single catadioptric images new proposals and comparison [C] // Proceedings of International Conference on Computer Vision. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2007: 1-6.
- [8] Caglioti V, Gasparini S. Localization of 3D lines from single images using off-axis catadioptric cameras [C] // Proceedings of 6th Workshop on Omnidirectional Vision. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2005.
- [9] Caglioti V, Taddei P, Boracchi G, et al. Single-image calibration of off-axis catadioptric cameras using lines [C] // Proceedings of International Conference on Computer Vision. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2007: 1-6.
- [10] Lanman D, Wachs M, Taubin G, et al. Reconstructing a 3D line from a single catadioptric image [C] // Proceedings of Third International Symposium on 3D Data Processing, Visualization. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2006: 89-96.
- [11] Carlo P, Andrea B, Matteo M. Robust detection of 3D scene horizontal and vertical lines in conical catadioptric sensors [C] // Proceedings of the 6th Workshop on Omnidirectional Vision. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2005.
- [12] Fiala M, Basu A. Hough transform for feature detection in panoramic images [J]. Pattern Recognition Letters, 2002, 23(14): 1863-1874.
- [13] Fiala M, Basu A. Robot navigation using panoramic tracking [J]. Pattern Recognition, 2004, 37(11): 2195-2215.
- [14] Fiala M, Basu A. Panoramic stereo reconstruction using non-SVP optics [J]. Computer Vision and Image Understanding, 2005, 8(3): 363-397.
- [15] Baker S, Nayar S K. A theory of single-viewpoint catadioptric image formation [J]. International Journal of Computer Vision, 1999, 35(2): 175-196.
- [16] Caglioti V, Gasparini S. Position and radius of spheres from single off-axis catadioptric images [C] // Proceedings of IEEE 11th International Conference on Computer Vision. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2007: 1-6.
- [17] Teller S, Hohmeyer M. Determining the lines through four lines [J]. Journal of Graphics Tools, 1999, 4(3): 11-22.