

文章编号: 1001- 2486(2008) 01- 0115- 05

一种直线段匹配的新方法*

傅丹, 王超, 徐一丹, 周剑, 于起峰

(国防科技大学 航天与材料工程学院, 湖南 长沙 410073)

摘要: 直线特征在人造目标和环境中普遍存在, 直线段的匹配是三维重建等应用领域的首要解决问题。一般单直线的匹配方法难以解决被部分遮挡直线的匹配问题, 提出了一种基于极线约束和 RANSAC 算法的匹配方法。对直线段上的点运用基于极线约束的匹配方法在另一幅图像中进行点的同名匹配, 采用 RANSAC 算法建立直线模型, 剔除野值, 得到匹配直线段。本方法能有效地解决图像中被部分遮挡直线段的匹配问题, 仿真实验和实际图像实验证实了本算法的正确性和高精度。

关键词: 直线匹配; 极线约束; RANSAC 算法

中图分类号: 文献标识码: A

A New Algorithm of Matching Line Segments

FU Dan, WANG Chao, XU Yi dan, ZHOU Jian, YU Qi feng

(College of Aerospace and Material Engineering, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: Line segments are ordinary in man-made targets and matching line segments is the first step in a lot of fields, such as 3D reconstruction. Because of occlusion, the question of matching individual line segments is difficult to figure out with the traditional methods, and a novel approach based on epipolar line constraint and the RANSAC algorithm is presented. Firstly, the points on line segments between image pairs are matched by epipolar line constraint; Secondly, the RANSAC algorithm is used to estimate a straight line model fit to a set of 2D points, so the line segments of occlusion is matched available. The result of the synthetic and real images is accurate and reliable.

Key words: matching line segments; epipolar line constraint; the RANSAC algorithm

直线特征在人造目标和环境中普遍存在, 如卫星的太阳能帆板、建筑物中的门窗边缘、机场跑道以及主要道路等。高精度的直线匹配算法是场景匹配、立体视觉以及序列分析等许多应用领域中首要解决的问题。

常用的单直线段匹配算法往往考虑直线段的几何属性(方向 orientation、长度 length、重叠度 extent of overlap)。席学强等^[1]提出的算法分层次地使用直线符号, 并利用了直线段的长度、方向、位置以及强度、对比度等灰度特性; 黄良明等^[2]利用几何代数来匹配线段, 其中每条直线段用它的中点向量、长度、方向向量组成的三元组表示。彭梦等^[3]根据直线段的长度、梯度方向和位置、两条直线段之间像素点的灰度直方图以及背景灰度直方图对直线段进行匹配。这些方法一般都考虑了直线段的长度约束, 对于被部分遮挡的直线段, 匹配难以完成。

针对三维重建的应用需求, 本文提出了基于极线约束和 RANSAC 算法的直线段匹配方法。该方法主要用于解决图像中部分遮挡直线段的匹配问题, 补齐直线段被遮挡部分, 有助于后续的三维重建工作准确完成。

1 算法原理

本文通过对成像几何分析, 将对极几何约束引入到两幅图像的直线匹配工作中, 有机地结合灰度匹

* 收稿日期: 2007- 07- 29

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(10472133)

作者简介: 傅丹(1979-), 女, 博士生。

配和特征匹配的算法,利用直线上的点共线这个显而易见的关系,借用点匹配的成熟算法,提出了基于极线约束和 RANSAC 算法的直线段匹配方法。不同于一般的直线段匹配算法^[1-3],本方法对直线上的点运用基于极线约束的匹配方法在另一幅图像中进行点的同名匹配;再采用 RANSAC 算法建立直线模型,剔除野值,从而得到匹配直线段,精度较高。

1.1 对极几何原理

对极几何理论^[4]揭示了空间点在不同图像之间所成图像点的成像约束关系。在三维重建的匹配约束中引入极线约束,作为其他匹配约束的基础,在视觉测量中具有重要的应用^[5]。基于极线约束的图像匹配是在已知图像对间相对关系情况下,沿目标对应极线搜索同名匹配点的过程,极线约束可以将二维搜索限制到一维搜索,提高了匹配可靠性和精度,但是实际测量由于各种误差影响,目标点不可能正好落在理想极线上并且搜索准确^[6]。

对极几何原理如图 1 所示,空间点 X 在左摄像机 C_1 的像点为 x_1 ,在右摄像机 C_2 的像点为 x_2 ,由 X 、 C_1 和 C_2 三点确定的平面 π 称为极平面, e_1 和 e_2 分别为基线 C_1C_2 与两个像面的交点,称为极点,极平面和两个像面的交线 l_1 和 l_2 称为极线。由图示关系易知,空间点 X 在两个像面的像点必然位于对应的极线上。根据此关系,如果在 C_1 像面上确定 X 的图像点为 x_1 ,则由 x_1 、 C_1 和 C_2 三点也确定了极平面 π ,相应的极线 l_2 也被确定,此时在 C_2 像面上确定空间 X 点的像点位置时只需要在极线 l_2 上搜索即可。

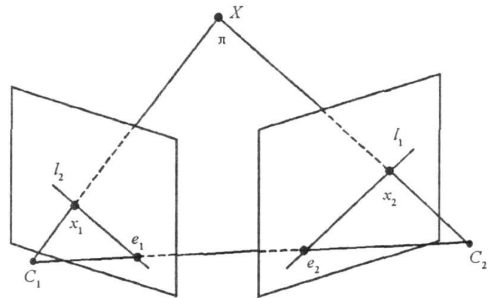


图 1 对极几何原理图

Fig. 1 Epipolar geometry

像点 x 用齐次向量 $(x, y, 1)^T$ 表示, l_1 与 l_2 上对应像点的齐次坐标分别为 x_1 和 x_2 , 则对极关系如式(1)表示

$$x_2^T F x_1 = 0 \quad (1)$$

F 是秩为 2 的 3×3 维矩阵,有 7 个自由度。由不少于 7 组匹配点可以解算基础矩阵^[7]。

利用基础矩阵,极线 l 用向量 $(a, b, c)^T$ 表示(即直线 $ax + by + c = 0$),上述对极约束可表示为

$$l_2 = F x_1 \quad (2)$$

1.2 RANSAC 算法

RANSAC 算法即随机抽样一致算法(RANdom SAmple Consensus)^[4],对于从一组 2D 数据点中寻找一条直线的情况,它能应付大比例的野值,是一种很好的鲁棒估计算法。

该算法的思想是:随机选择两点,这两点定义一条直线,该线的支集由在一定距离内的点数来度量,令这样的随机选择重复多次,具有最大支集的线就认为是鲁棒拟合,在距离阈值内的点称为内点,其他称为野值。

如图 2(a) 所示,图中的实点表示内点,空点表示野值,直线表示所有点直接进行最小二乘的结果,可以看出,拟合直线受到野值的影响严重。

采用 RANSAC 算法对线的支集打分,如图 2(b) 所示,线 $\langle a, b \rangle$ 的支集有 8 个点,而线 $\langle c, d \rangle$ 的支集是 2,按照打分很容易就将 $\langle c, d \rangle$ 模型排除,多次迭代支集打分后,得到 $\langle a, b \rangle$ 支集就是最佳的模型,剔除了野值。

1.3 算法步骤

如图 3 所示,直线段 $\overline{P_1P_2}$ 在左摄像机 C_1 成像 $\overline{m_1m_2}$,在右摄像机 C_2 的成像为 $\overline{m'_1m'_2}$,在复杂背景的情况下,利用传统的匹配算法很难将图像中的直线段 $\overline{m_1m_2}$ 和 $\overline{m'_1m'_2}$ 准确匹配。以下将详细说明本文的算法。

(1) 基础矩阵 F 解算。在左图和右图上由 F1rstner 算子^[8]自动提取特征点,采用最小二乘模板匹配

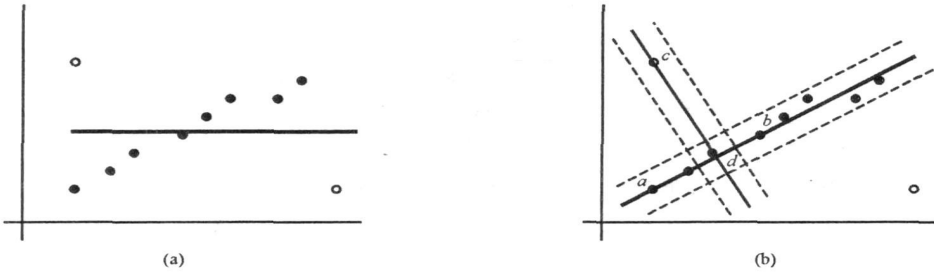


图2 RANSAC 算法原理图

Fig. 2 The principle map of RANSAC algorithm

算法^[9]由公式(1)在右图上进行同名点匹配,由文献[7]计算基础矩阵。

(2)由迭代端点拟合法^[10]提取图像上的直线段,将直线段 m_1m_2 看成由若干个排列而成的,将每一个点分别通过其极线约束关系,由公式(2)计算在右图上的极线,并沿该点对应极线引导匹配,采用相关法^[11],找出对应的匹配点。如图3所示,左图像直线段上任意一点 m_n 在右图像上对应的极线是 l'_n ,沿 l'_n 在图像中匹配 m_n 的对应点 m'_n 。

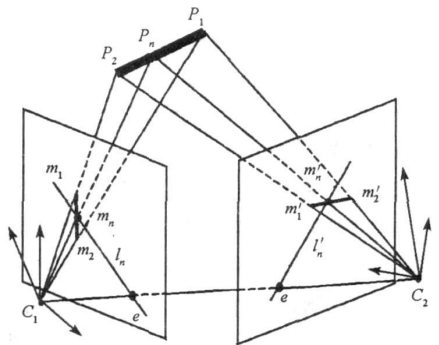


图3 极线约束用于直线匹配

Fig. 3 Epipolar constraint to matching line segments

(3)利用RANSAC算法建立直线模型,剔除所有的匹配点中的野值,对剩下的点进行最小二乘拟合^[12],得到一条直线,再把该直线与左图像直线段首尾两点对应的极线 l'_1 和 l'_2 分别相交,得到的交点相连直线段就是右图像上直线段所在的位置,从而实现了同名直线段的匹配,并将直线段被遮挡部分补齐。

2 算法实验验证

2.1 仿真图像验证

用仿真图像验证上述方法。如图4所示,图4(a)和(b)中分别有待匹配的8条直线段,以直线段6为例说明本算法。将该直线段自动均匀地分成10份,即找到直线段上的10个点。对于这些点,先根据在图4(a)所在的位置,计算出它在图4(b)内对应的极线,再沿极线引导进行灰度匹配,找出对应的匹配点,从图4(b)可以看出,寻找匹配点的效果很不理想。有小部分匹配点被误认为是在直线段5上。

利用RANSAC算法可以有效地剔除图4(b)中的野值,将剩下的点进行最小二乘拟合,得到图4(c)中的直线 l ,再把 l 与首尾两点对应的极线 l_1 和 l_2 分别相交,得到的交点相连直线就是直线6在图4(b)上的匹配直线,如图4(c)所示,至此,就得到了匹配直线段。本算法简单、速度快、精度高。为了定量分析算法,将用本算法得到的匹配直线与图4(b)中的直线比较,计算匹配直线与理论直线的夹角及分别到原点的距离,列于表1。从表1中可以看出,匹配直线与理论直线基本一致,算法正确可靠。

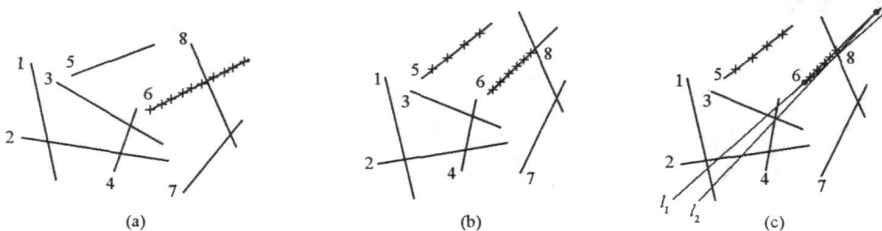


图4 仿真实验图

Fig. 4 The experimental result of the synthetic images

表1 仿真实验数据分析

Tab. 1 Analysis of the synthetic data

序号	理论直线方程	到原点的距离 (pix)	实际直线方程	到原点的距离 (pix)	两直线的夹角 (rad)	到原点的距离差 (pix)
1	$y = 4.552x - 552.17$	118.5	$y = 4.492x - 543.67$	118.1	0.003	0.3
2	$y = -0.154x + 380.67$	376.2	$y = -0.151x + 379.83$	375.6	0.003	0.7
3	$y = 0.412x + 109.61$	101.3	$y = 0.411x + 108.49$	100.3	0.001	1.0
4	$y = -5.302x + 2120.11$	392.9	$y = -5.167x + 2062.71$	391.9	0.005	1.0
5	$y = -0.818x + 360.71$	279.2	$y = -0.815x + 359.82$	278.9	0.002	0.3
6	$y = -1.003x + 587.11$	414.5	$y = -0.995x + 584.03$	414.0	0.004	0.5
7	$y = -2.147x + 1358.21$	573.5	$y = -2.1378x + 1353.40$	573.4	0.002	0.0
8	$y = 2.272x - 996.92$	401.6	$y = 2.266x - 996.94$	402.5	0.001	0.9

2.2 实际图像验证

2.2.1 被部分遮挡直线段的匹配

本方法的目的是匹配有部分遮挡的直线段,并补全直线段的区域,有利于以后的重建等工作。如图5(a)中白圈内的笔,可以看到图5(b)中对应的笔被部分遮挡,这将无法进行后续的三维重建工作,本方法可以解决这个问题。匹配的详细步骤如同图4方法,从图5(c)可见,利用RANSAC算法可以有效地剔除野值,将剩下的点进行最小二乘拟合,得到图5(c)中的黑色直线 l ,再把直线与图5(a)首尾两端点对应的极线 l'_1 和 l'_2 (白色直线)分别相交,得到的交点相连直线就是右图像上直线段所在的位置,这样就将图5(b)中笔被遮挡的部分补齐,由立体视觉理论方法可以进行下一步的三维重建工作。

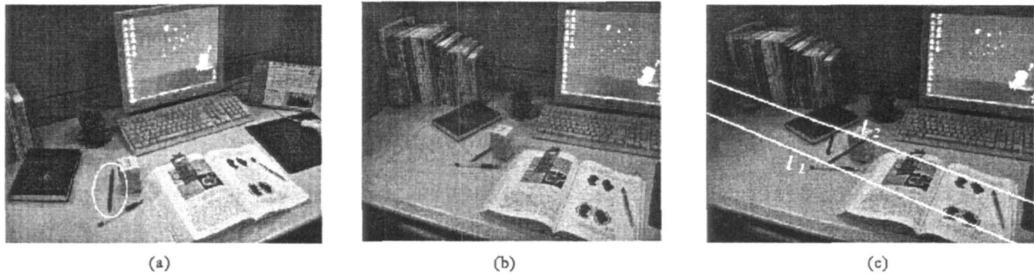


图5 对部分遮挡直线段的匹配

Fig. 5 Matching line segment of occlusion

2.2.2 特征不明显直线段的匹配

本方法还能处理特征不明显直线段的匹配。如图6所示,图6(a)和(b)是在两个不同角度采用数码

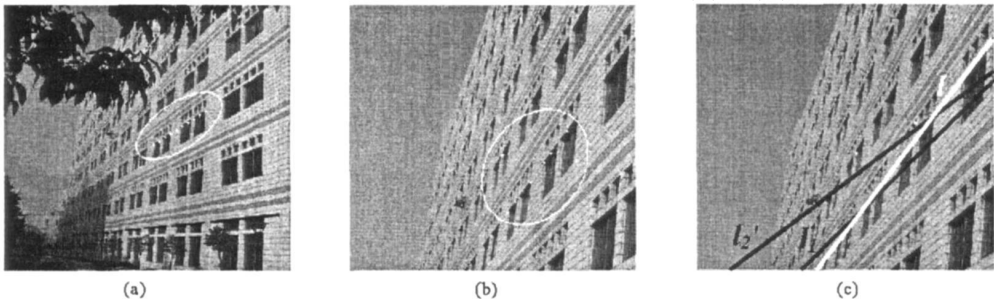


图6 特征不明显图像直线段匹配实验

Fig. 5 Matching line segment of unobscured feature

相机拍摄的教学楼某平面,直线较多,特征不明显,用一般的直线段匹配算法难以完成匹配。以图 6(a) 窗户的上沿直线段(白色圈内)为例。匹配的详细步骤如同图 4 方法,从图 6(b)可以看出,寻找匹配点的效果很不理想,而在图 6(c)中,利用 RANSAC 算法可以有效地剔除野值,将剩下的点进行最小二乘拟合,得到图 6(c)中的直线 l (白色直线),再把 l 与首尾两端点对应的极线 l'_1 和 l'_2 (黑色直线)分别相交,得到的交点相连直线就是右图像上直线所在的位置,如图 6(c)所示,至此,就得到了匹配直线段,算法简单,精度高。

3 结论

图像匹配的可靠性、精度、效率和自动化程度是数字摄影测量的关键问题。提出了一种基于极线约束和 RANSAC 算法的直线段匹配方法,该方法不需要提取待匹配图像上的直线。通过自动提取原图像上的直线段,将直线段拆分成若干点;再对直线段上的点采用基于极线约束的匹配方法在待匹配图像中进行点的同名匹配;由于误差的影响,同名点不可能完全匹配正确,采用 RANSAC 算法建立直线模型,剔除野值点,从而得到匹配直线,原理简单,易于实现。尤其是对直线段被部分遮挡的情况,能补齐被遮挡直线段,有利于下一步的三维重建工作。对于立体定位、检测场景变化、图像融合、场景和模型的匹配等都有非常重要的作用。

为了补齐被遮挡部分直线段,原图像上直线段的端点提取的准确性是关键。如何选择合适的自动提取直线段方法,是下一步的工作。

参考文献:

- [1] 席学强,王润生.基于直线特征的图像-模型匹配算法[J].国防科技大学学报,2000,22(6):70-74.
- [2] 黄良明,彭立中等.利用几何代数进行线段模型匹配和运动估计[J].中国图象图形学报,2001,6(3):270-274.
- [3] 彭梦,蔡自兴.基于直线段匹配的移动机器人的障碍物检测[J].图像与多媒体技术,2007,3:66-68.
- [4] Hartley R, Zisserman A. Multiple View Geometry in Computer Vision[M]. Cambridge University Press, 2000.
- [5] Zhang Z. A Robust Technique for Matching Two Uncalibrated Images Through the Recovery of the Unknown Epipolar Geometry [R]. INRIA, May, 1994.
- [6] 陈棣湘,罗飞路,潘孟春.立体视觉测量中的图像匹配策略研究[J].光学技术,2002,28(5):392-394.
- [7] Zhang Z. Determining the Epipolar Geometry and its Uncertainty: A Review, Technical Report RR-2927 [R]. INRIA, 1996.
- [8] 张祖勋,张剑清.数字摄影测量学[M].武汉:武汉测绘科技大学出版社,1996.
- [9] 徐宝昌,等.一种改进的最小二乘影像匹配算法[J].北京航空航天大学学报,2005,31(18):848-852.
- [10] 孙既祥.数字图象处理[M].河北:河北教育出版社,1993.
- [11] 于起峰,陆宏伟,刘肖琳.基于图像的精密测量与运动测量[M].北京:科学出版社,2002.
- [12] 齐治昌.数值分析及其应用[M].长沙:国防科技大学出版社,2002.