

用极线束约束方法进行图像匹配后的质量控制

曾 彦, 张可黛, 李生良

(装备指挥技术学院测量控制系, 北京怀柔 101416)

摘要:在立体视觉匹配过程中, 不可避免的会出现大量的误匹配点。图像匹配后的质量控制是检测误匹配点的基本方法。本文将对进一步提高匹配准确率进行探讨。基于连续性假设, 在射影几何意义下, 本文利用一种外极线束和匹配点的整体信息, 对相似性匹配结果进行检测, 剔除其中的误匹配点。实验结果证明, 极线束约束具有较强的误匹配检测能力, 大大提高了匹配准确度。

关键词:质量控制; 图像匹配; 射影几何; 外极线

中图分类号: O438 **文献标识码:** A

1 引言

立体视觉是由空间序列的多幅(一般两幅)图像获取物体三维几何信息的方法。在由景物的二维图像信息进行三维恢复的过程中, 最困难、最关键的问题就是立体匹配, 即寻找左右两幅图像上对应于同一景物点的像点。目前已有多种立体视觉匹配方法, 每种方法所选取的匹配特征基元、相似性匹配算法各不相同。但无论哪一种方法得到的相似性匹配结果都不是理想的, 其中存在一些误匹配点, 这些误匹配点将直接影响最后的三维重建结果, 必需进行匹配后质量控制。

本文基于连续性假设, 在射影几何意义下, 得到立体像对对应点之间的射影变换不变关系, 提出一种新的约束—外极线束约束。运用外极线束约束进行匹配后质量控制的方法与传统的方法相比, 利用了匹配点之间的相互关系, 从整体的角度对误匹配进行检测, 且算法不需要费时的迭代处理, 具有较好的误匹配检测能力和较高的实现效率。

2 射影变换及其性质

图1所示, 直线 l_1, l_2 与一交于 O 点的直线束分别交于 A, B, C, D, \dots 与 A', B', C', D', \dots 。对于 l_1 上的任何一点, 如 A 点, 总可以在 l_2 上找到对应

点, 即 OA 与 l_2 的交点 A' 。如果 OA 正好与 l_2 平行, 则定义 OA 与 l_2 的交点为 l_2 上的无穷远点。同样, l_2 上的点列 A', B', C', D', \dots 又可以通过以另一点 O' 为中心的线束变换为直线 l_3 上的点列 $A'', B'', C'', D'', \dots$ 。称直线 l_1, l_3 间的一一对应变换为一维射影变换。类似地, 可在两个平面之间定义二维射影变换。

定义点列和线束的交比:

$$R(A, B, C, D) = \frac{AC}{BC} : \frac{AD}{BD} \quad (1)$$

$$R(e_1, e_2, e_3, e_4) = \frac{\sin(e_1, e_3)}{\sin(e_2, e_3)} : \frac{\sin(e_1, e_4)}{\sin(e_2, e_4)} \quad (2)$$

其中, AC (或 BC, AD, BD 等) 可以理解为两点间的距离, 在射影坐标系中是两点的射影坐标差。 (e_i, e_j) 表示直线 e_i 与直线 e_j 间的夹角。容易证明:

$$R(A, B, C, D) = R(e_1, e_2, e_3, e_4) \quad (3)$$

交比是射影变换的不变量, 有以下定理:^[1]

定理1: 射影变换保持点列的交比不变。

定理2: 射影变换保持线束的交比不变。

对于图1所示, 有:

$$R(A, B, C, D) = R(A', B', C', D') = R(A'', B'', C'', D'') \quad (4)$$

$$R(e_1, e_2, e_3, e_4) = R(e'_1, e'_2, e'_3, e'_4) \quad (5)$$

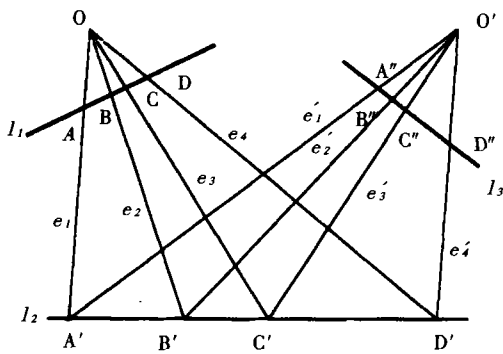


Fig. 1 Radial convert of one dimension

如果待匹配点序列在空间成一条直线,成像后在左、右像面上各像点就应该满足交比不变的定理,利用这一特性,可以建立待匹配点之间的约束关系。

3 外极线束约束

对于左图的一个特征点,其在右图的匹配点必定在其共轭外极线上。外极线约束是对应性求解中的一个很重要的约束。如图2所示, I_1, I_2 分别是左右两幅图像, I_1 上的所有外极线交于极点 e_1 , I_2 的所有外极线交于极点 e_2 。 e_1 (或 e_2) 是主焦点 O_2 (或 O_1) 在 I_1 (或 I_2) 图像上的投影点, O_1, O_2, e_1, e_2 共线^[2]。

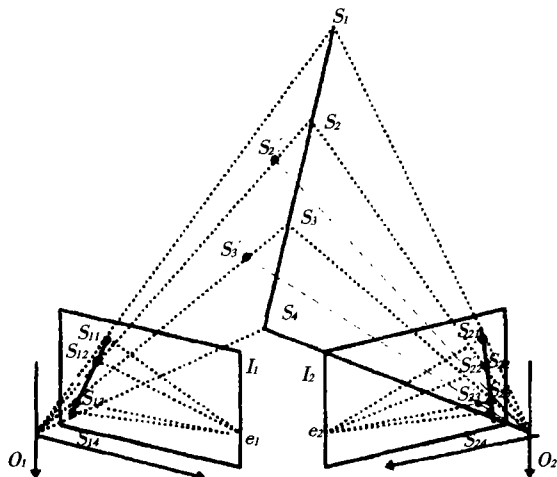


Fig. 2 Radial convert of epipolar line bunch

在图2中,空间共线的点 S_1, S_2, S_3, S_4 在图像 I_1, I_2 上的像点分别为 $s_{11}, s_{12}, s_{13}, s_{14}$ 和 $s_{21}, s_{22}, s_{23}, s_{24}$ 、

s_{24} , 相应的在 I_1 与 I_2 上的外极线束分别为 $e_1 S_{1i}$ 和 $e_2 S_{2i}$ 。由射影几何知, S_1, S_2, S_3, S_4 的交比等于 $s_{11}, s_{12}, s_{13}, s_{14}$ 的交比, 并等于 $s_{21}, s_{22}, s_{23}, s_{24}$ 的交比, 即:

$$R(S_1, S_2, S_3, S_4)$$

$$= R(s_{11}, s_{12}, s_{13}, s_{14}) = R(s_{21}, s_{22}, s_{23}, s_{24}) \quad (6)$$

进一步分析可知,在左图像中,不在同一条外极线上但共一条直线的且距离较近的像点集合 $\{s_{1i}\}$, 它们所对应的空间景物点不一定在同一条空间直线上,但在由视线确定的同一平面内,如 S'_2, S'_3 。基于连续性假设,在同一物体表面且相距很近的点,它们在两个像面上的像点一般也比较接近。因此,左图的像点集合 $\{s_{1i}\}$ 在右图的对应点集合 $\{s_{2i}\}$ 虽不一定在同一直线上,但应在同一较窄矩形区域内,即特征点之间的交比与匹配点之间对应的交比,其误差应在某一范围内。这一约束给出了匹配点之间的相互关系,可以用来对大量的相似性匹配点进行检测,剔除不满足这种关系的误匹配点。

4 匹配质量控制方法

在立体视觉模型中,从不同的角度同时摄取周围景物的两幅数字图像。若两部摄像机焦距相等,各内部参数也相同,两摄像机的主光轴水平,且相互平行,并与摄影基线方向垂直,即成正直摄影方式,则外极线与像面的水平扫描线重合,极点位于无穷远点,这对简化匹配过程和匹配后的质量控制是有利的。

在正直摄影模型中,外极线束为一组平行线束,两外极线束之间的变换为射影变换的特殊情况,称为仿射变换,仿射变换也保持交比不变^[3]。左图中某一系列上距离较近的特征点右图的匹配点也应位于一窄的列范围内。在大部分相似性匹配结果正确的前提下,将左图的每一列分为若干小段,对每一小段沿列方向搜索已匹配的特征点集 $\{Z'_n(x'_n, y'_n)\}$, 其在右图对应的匹配点集为 $\{Z'_m(x'_m, y'_m)\}$ 。运用外极线束约束:

$$\{(x'_n, x'_m) \mid |x'_m - \bar{x}'_m| < Th\} \quad (7)$$

其中 x, y 分别为匹配点在像面中的列、行坐标, \bar{x}'_m 表示左图某一系列上的已匹配特征点在右图匹配点的列坐标均值, Th 为误差门限;上式的意义为:对于某一组对应点 (x'_n, x'_m) , 右图中匹配点的列坐标与校验区域内匹配点列坐标的平均值之差应小于

某一门限,在正确摄影条件下,此门限适用于整幅图像,并认为不满足此约束条件的匹配点对是误匹配。

在工程应用中,理想的正直摄像条件是很难满足的;因此,作者在实验过程中采用了交向摄像的方式,在用直接线性变换—误差拟合校正的标定方法得到的摄像机的内、外方位参数后,采用反变换的手段把图像变换为正直摄像条件下得到的图像,就可以使用上述的外极线束约束进行匹配点校验。图3即为正直变换后的图像对。

景物的正直立体像对,图像大小为 800×600 Pixels,先用基于小波变换的多分辨率立体匹配算法对立体像对作相似性匹配,得到大量的相似性匹配点对,后按本文方法作匹配后的质量控制实验,对实验前后的匹配每10行取一行进行人机交互检验,统计质量控制效果,如图3和表1所示。

5 实验结果

实验中采用高度变化的深色背景、白色区域

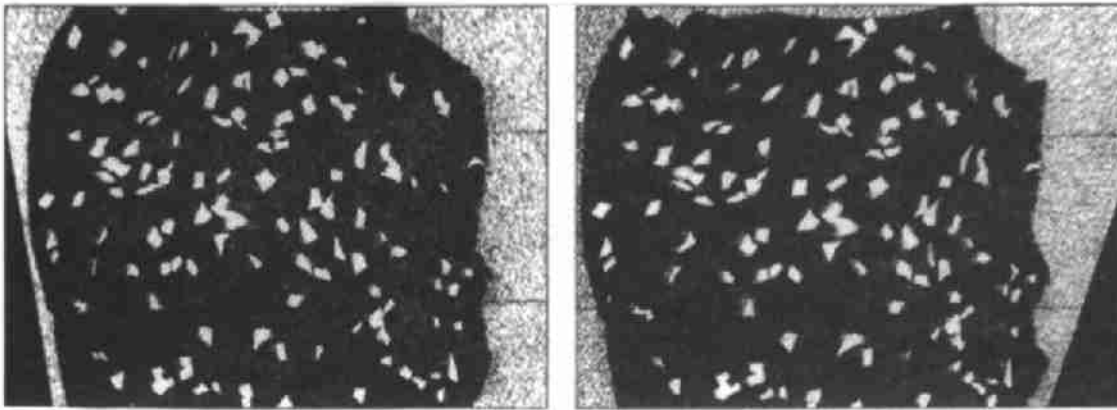


Fig. 3 The result of quality control after matching

Table 1 The effect of quality control

No.	Matching number	Accuracy	Matching number after quality control	Accuracy after quality control
1	198	91%	166	100%
2	223	90%	190	99%
3	210	92%	177	100%

实验结果证明,运用外极线束约束进行匹配质量控制的效果很好,能剔除绝大部分的误匹配点。

6 结 语

在各种相似性匹配算法中,相似性匹配搜索都是沿外极线进行的,在正直摄影模型中即是沿水平扫描线进行搜索,所以求得的最佳相似匹配

点只能保证在扫描线内是最优的,而不能保证扫描线间的最优。并且,在由粗到精的匹配策略下,低分辨率下的匹配必须十分准确,否则误匹配会逐层传播下去,造成匹配精确度的降低^[4]。因此从整体的角度并利用匹配点之间的相互关系来进行相似性匹配后的质量控制是十分重要且必要的,本文给出的运用外极线束约束进行配后质量控制的方法正体现了这一点。

参考文献:

- [1] 马颂德,张正友.计算机视觉——计算理论与算法基础[M].北京:科学出版社,1998.
- [2] 巴拉德 D H, 布朗 C M. 王东来,徐心平,赵经伦译.计算机视觉[M].北京:科学出版社,1987.
- [3] 王大平,江廷川,蔡旺森.数字摄影测量学[M].北京:解放军出版社,1991.
- [4] 吴立德.计算机视觉[M].上海:复旦大学出版社,1994.

Quality control after matching of image using constraint of epipolar line bunch

ZENG Luan, ZHNAG Ke-dai, LI Sheng-liang

*(Department of Measurement and Control, Institute of Equipment
and Command and Technology, Beijing Huairou 101416, China)*

Abstract: It is ineluctable in stereo vision that a large numbers of error matched pixel will be present. The quality control after matching is a general method for detecting error matched pixel. This paper described a method for further improving the veracity of matching. A constraint of epipolar line bunch based on Radial Geometry and continuity suppose was given to detect the similar matched pixel and weed out the error pixel by using correlative information of the pixel. The experiment proved that the constraint has better ability for weeding out error pixel. It increased the veracity of matching.

Key words: quality control; image matching; radial geometry; epipolar line

作者简介:曾峦(1963—),男,广东梅县人,副教授,学士。1983年毕业于国防科大飞行器仪表专业,从事光电测量专业多年,具体研究方向为图像信号处理,获部委级科技进步奖6项,发表论文10余篇。