

基于多片前方交会的工业摄影测量自动匹配

冯其强 黄桂平 李广云

(信息工程大学测绘学院工程测量教研室, 郑州 450052)

摘要 针对数字工业摄影测量中的人工标志点的快速自动匹配问题, 根据从物方空间角度描述核线的原理, 提出了一种基于空间前方交会的匹配算法。该算法首先通过计算投影线间的最短距离来确定一组初始匹配像点; 然后通过双片空间前方交会来确定一组潜在的物方点, 并将其按距离分组; 最后, 将每一个潜在的物方点的坐标残差过大及属于同一张像片的像点剔除, 同时通过判断与各物方点对应的像点数来确定同名像点。两组实验均证明, 该算法不仅计算速度快, 而且具有高匹配率和低误匹配率, 能为数字工业摄影测量自检校光束法平差提供高精度的初值。

关键词 数字工业摄影测量 人工标志点 匹配 空间前方交会

中图法分类号: P231.5 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2009)06-1194-05

Auto-matching of Artificial Target Points in Industrial Photogrammetry Based on Space Intersection

FENG Qi-qiang, HUANG Gui-ping, LI Guang-yun

(Engineering Survey Staff Room, Institute of Surveying and Mapping, Information Engineering University, Zhengzhou 450052)

Abstract Aiming at a achieving fast automatic matching of artificial target points in digital close range photogrammetry, a new matching method basing on two-image space intersection is presented in this paper, taking into account the epipolar line constraint in object space. Firstly, a set of initially matched image points is found by calibrating the shortest distance between two image rays. Secondly, the coordinate of corresponding object point is calculated through two-image space intersection, and these points are grouped according to the distances between each other. Finally, eliminate those image points with high vate of coordinate errors and which is in the same image, and find out homologous image points by numbers of image points corresponding with object points. Both experiences prove the advantage of the matching method, which is high speed, high matching quotient and low miss matching quotient. It can also provide precise initial values for the following bundle adjustment.

Keywords digital industry photogrammetry, artificial target point, matching, space intersection

1 引言

在数字工业摄影测量中, 为了提高测量精度和自动化程度, 多采用人工标志点作为测量点, 而人工标志点的自动匹配则是实现数字工业摄影测量自动化的关键技术之一, 目前研究较多的是基于核线约

束的匹配方法^[1-3]。核线匹配的理论基础是同名像点一定在相应核线上, 即基于像平面进行匹配^[4-5]。可是, 由于成像过程是由3维空间向2维平面的投影, 其存在(深度)信息的丢失的问题, 因此, 如果单纯基于像方进行匹配, 其难度必然增大。如图1所示, 设与同名像点 p_1 、 p_2 对应的物方点为 P , 像点 p_1 的投影线与像点 p_2 的投影线相交于点 P , 则像点

收稿日期: 2007-12-20; 改回日期: 2008-01-16

第一作者简介: 冯其强(1981~), 男。现为信息工程大学测绘学院测绘科学与技术专业博士研究生。主要研究方向为测绘多技术集成应用的理论与技术。E-mail: fywz25@126.com

p_1, \tilde{p}_1 在像片 I_2 上的核线 l_2, l_3 为同一直线,其投影线的深度信息无法体现。

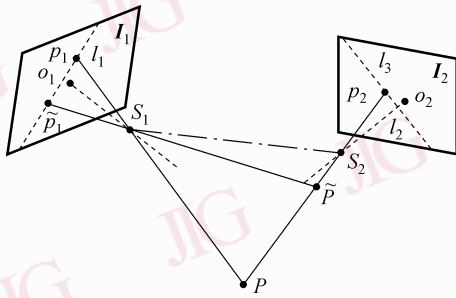


图 1 核线约束中的 3 维深度信息丢失
Fig. 1 The lost 3D information in the epipolar line constraint

不足,本文提出了一种基于空间前方交会的匹配方法,用于改进匹配性能。

2 匹配原理

2.1 核线原理的物方空间表述

核线原理是基于像平面的(像方空间),若从物方空间考虑,核线原理可表述为:若两个像点是同名像点,则其投影线必在物方空间交于一点(图 2(a))。由于相机参数、摄站参数、像点坐标量测值都存在一定误差,故同名像点投影线不会严格相交,而是存在一个微小距离 d (图 2(b))。本文依据这一原理,提出了一种基于空间前方交会的人工标志点匹配方法,并取得了较好的匹配效果。

为充分利用物方的空间信息,以弥补核线约束

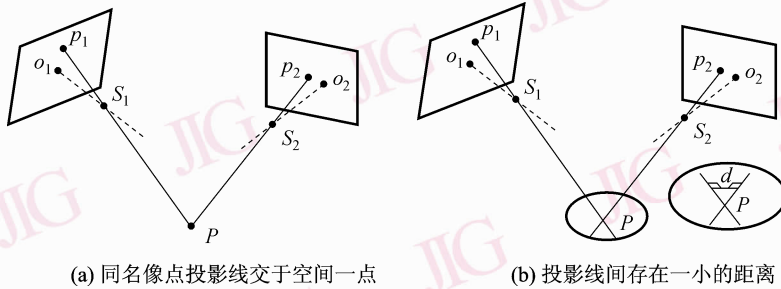


图 2 核线原理的物方空间表述

Fig. 2 The epipolar line constraint in object space

2.2 给定目标像点的匹配方案

基于前方交会的匹配是一个由粗到精的筛选过程。该过程为:首先通过投影线间距离判断确定一组初始匹配像点;然后,利用初始匹配像点通过逐一与目标像点进行双片空间前方交会来确定一组潜在的物方点,并将其按距离分组;接着,对每一个潜在的物方点剔除不满足条件的像点;最后,通过判断与各物方点对应的像点数来确定同名像点。

为便于表述,本文将各阈值做如下标记:将异面直线间的最短距离阈值记为 ε_1 ,将初始匹配物方点间的距离阈值记为 ε_2 ,像点残差阈值记为 ε_3 ,合并同名物方点的距离阈值记为 ε_4 ,最小同名点数阈值为 N ,则匹配过程如下:

(1) 给定 $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \varepsilon_4$ 和 N 。对目标像点 p_0 ,逐一计算其他像片上所有像点投影线与 p_0 投影线间的最短距离 d_1 ,若 $d_1 < \varepsilon_1$,则将该像点记为初始匹配像点,这样便可得到一组初始匹配像点集 $G(p)$ 。如图 3 所示,共找到 10 个初始匹配像点 $p_i (i = 1, 2,$

$\dots, 10)$ 。

(2) 对 $G(p)$ 中每一像点,通过逐一与目标像点

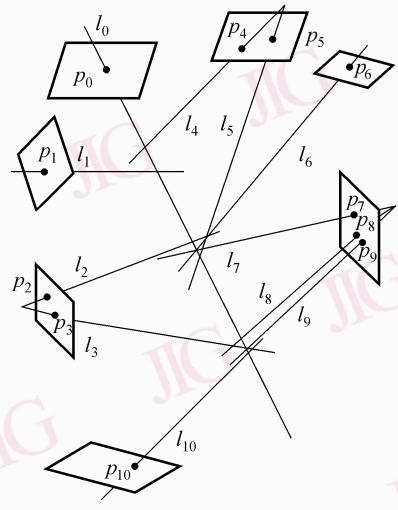


图 3 初始匹配像点

Fig. 3 Initially matched points

p_0 进行双片空间前方交会来得到一组物方点集合 $G(P)$ 。如图 4 所示,共得到 10 个物方点 $P_i (i=1, 2, \dots, 10)$ 。

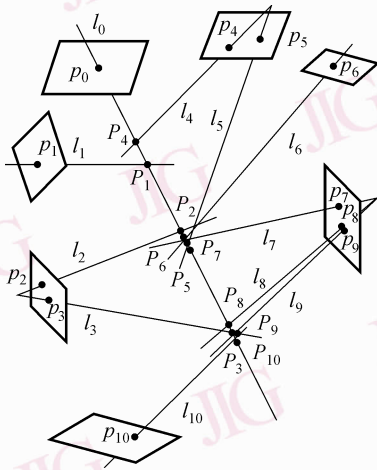


图 4 双片空间前方交会

Fig. 4 Two-image space intersection

(3) 对 $G(P)$ 中的物方点两两之间的距离 d_2 进行计算,若 $d_2 < \varepsilon_2$,则将此两物方点合并为同一物方点,并将相应像点记为该物方点的同名像点。合并后,将该组物方点记为 $G(Q)$ 。如图 5 所示,将物方点 P_2, P_5, P_6, P_7 合并为 Q_1 ,将 P_3, P_8, P_9, P_{10} 合并为 Q_2 。

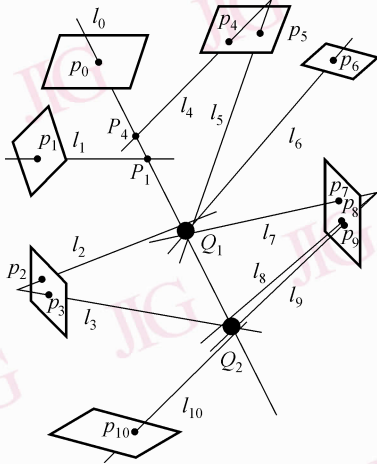
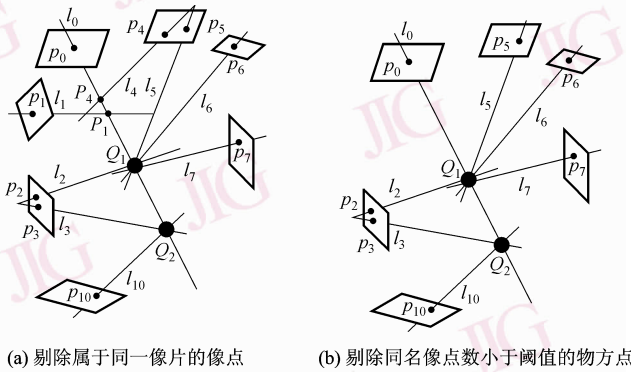


图 5 合并物方点

Fig. 5 Two-image space intersection

(4) 对于集合 $G(Q)$ 中的每一物方点,首先剔除属于同一像片的像点;然后统计每一物方点的同名像点数 n ,若 $n < N$,则将该物方点删除,并将剩余的物方点集合记为 $\tilde{G}(Q)$ 。如图 6 所示,与物方点 Q_2

对应的像点 p_8, p_9 同属一张像片,应将其剔除(图 6(a))。若最小同名点数阈值 N 设为 3,则物方点 P_1, P_4 应剔除(同名点数均为 2,见图 6(b))。

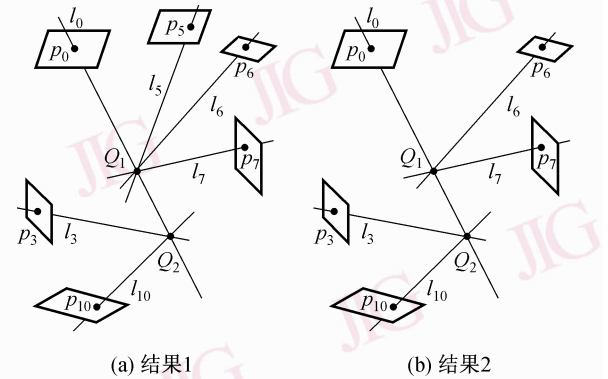


(a) 剔除属于同一像片的像点 (b) 剔除同名像点数小于阈值的物方点

图 6 剔除属于同一像片的像点并作同名点数阈值判断

Fig. 6 Eliminating image points in the same image and checking the number of homologous image points

(5) 对于 $\tilde{G}(Q)$ 中的每一物方点,先通过多片前方交会计算物方点坐标;然后反求物方点在成像像片上的像点坐标,同时计算像点残差 d_3 ,若 $d_3 > \varepsilon_3$,则将该像点剔除;最后统计每一物方点的同名像点数 n ,若 $n < N$,则将该物方点删除,并将剩余的物方点集合记为 $\hat{G}(Q)$ (如图 7 所示)。



(a) 结果1 (b) 结果2

图 7 像点残差阈值判断

Fig. 7 Checking the coordinate errors of image points

(6) 若集合 $\hat{G}(Q)$ 中只有一个物方点,则其对应的像点即为的一组同名像点。若集合 $\hat{G}(Q)$ 中有多个物方点,则选取对应像点最多的物方点。若像点最多的物方点不唯一,则该目标像点 p_0 匹配失败;否则,与该物方点对应的像点即为的一组同名像点。如图 7 所示,若与物方点 Q_1 对应的像点数为 4,与物方点 Q_2 对应的像点数为 3,则与物方点 Q_1 对应的

像点 p_5 、 p_6 、 p_7 与目标像点 p_0 即为一组同名像点, Q_1 为对应的物方点(图 7(a));若物方点 Q_1 、 Q_2 的对应像点数均为 3, 则目标像点 p_0 匹配失败(图 7(b))。

2.3 实际测量中的匹配过程

上述匹配方案是针对一个目标像点进行的。在实际匹配过程中, 为保证匹配速度和准确性, 还应注意以下问题:

(1) 在实际测量中, 由于人工标志点和像片数量都非常大, 而且非同名像点投影线常相互交错, 此时若初始参数(主要是摄站参数)值不准确, 将直接导致误匹配增加, 甚至无法匹配, 因此在匹配过程中, 一方面应先利用少数已匹配的点进行光束法平差, 以提高摄站的参数精度; 另一方面, 应优先匹配同名像点数多的目标像点, 即将最小同名点数阈值 N 设为一个较大值。

(2) 由于物方点距离阈值 ε_1 不能太大, 否则初始匹配时, 将因出现大量非同名像点而造成干扰, 因此同一物方点的相应像点就可能因阈值太大而被匹配为多组同名像点。如图 8 所示, 在对目标像点 p_0 进行匹配时, 点 Q_1 、 Q_2 实际是同一物方点, 但在合并物方点时, 由于其距离大于阈值, 无法合并为同一点, 从而只匹配到物方点 P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 ; 而在后续的匹配中, 点 P_5 、 P_6 、 P_7 则被匹配为另一组同名像点。针对这一问题, 应在所有目标像点匹配完成后, 先利用匹配出的所有物方点进行一次光束法平差, 再对物方点两两的距离 d_4 进行计算, 并与阈值 ε_4 进行比较, 若 $d_4 < \varepsilon_4$, 则将其合并为同一点。

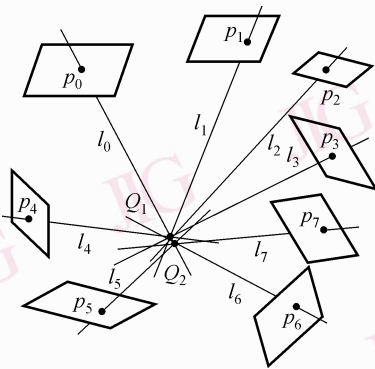


图 8 同一物方点的相应像点被匹配为多组

Fig. 8 Image points corresponding with one object points are matched into different groups

(3) 在匹配过程中, 虽然经过一次光束法平差后, 摄站参数精度有所提高, 但毕竟参与平差的点

数较少, 其精度仍然有限, 由于这将使得物方点坐标误差较大, 从而导致在进行像点残差阈值判断时, 部分同名像点会因残差较大而被剔除。针对这一问题, 应在利用所有物方点进行光束法平差后再反求物方点在像片上的坐标, 以寻找遗漏的像点。

综上所述, 完整的匹配过程如下:

(1) 设定阈值 ε_1 、 ε_2 、 ε_3 、 ε_4 和 N (若像片数大于 3, 则令 $N=4$; 否则, 令 $N=3$), 并按 2.2 节步骤匹配出少量点, 例如, 每张像片上匹配出 10 个像点;

(2) 利用匹配出的像点及其对应的物方点进行光束法平差, 以提高摄站的参数精度;

(3) 将已匹配的像点放回原像片, 作为待匹配像点, 重新对所有像点进行匹配;

(4) 再次利用匹配出的像点及其对应的物方点进行光束法平差;

(5) 对每一物方点寻找其遗漏的相应像点;

(6) 令 $N=3$, 对剩余的待匹配像点进行匹配;

(7) 根据物方点距离阈值 ε_4 合并同名物方点。

3 实验及结论

为验证基于空间前方交会的匹配算法的性能, 分别采用两组实测数据进行了实验, 第 1 组为实验室控制架数据, 第 2 组为某直径为 2.8m 的卫星天线摄影测量数据。表 1 为该两组数据的匹配结果统计。图 9 为控制架测量匹配实验中, 前 3 张像片的同名像点示意图。

表 1 匹配结果

Tab. 1 The result of matching

统计量	控制架测量中的匹配		天线测量中的匹配	
	源数据	匹配结果	源数据	匹配结果
像片数	9	9	19	19
目标点数	30	30	674	674
像点数	269	269	7 084	7 080
阈 值	ε_1 (mm)	50		20
	ε_2 (mm)	50		20
	ε_3 (μm)	40		30
	ε_4 (mm)	50		20
剩余像点数		0		4
耗时(s)		0.41		26.05
误匹配点数		0		0



(a) 像片1 (b) 像片2 (c) 像片3

图 9 控制架匹配实验部分结果

Fig. 9 Parts of matching result of controlling frame

分析上述实验结果可以看出：

(1) 两组实验均实现了物方点 100% 匹配, 且没有误匹配点出现, 这证明基于空间前方交会的匹配算法匹配率高, 误匹配率低;

(2) 该匹配算法速度较快, 能满足数字工业摄影测量数据现场处理的要求;

(4) 平差后的摄站参数和物方点的坐标精度较高, 能为自检校光束法平差提供可靠的初值。

如前所述, 尽管基于空间前方交会的匹配算法能够准确匹配出绝大多数像点, 但其计算速度仍有待提高, 为此可主要从如下几方面考虑:

(1) 在确定初始匹配像点时, 利用各像片成像区域的重叠关系加以筛选, 以剔除不可能的像片。

(2) 在匹配前, 先计算各像片的外方位元素精度, 若精度较高, 则可省略匹配中的光束法平差。

(3) 对程序设计进行优化。

参考文献 (References)

- 1 Maas H G. Complexity analysis for the establishment of image correspondences of dense spatial target fields [J]. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 1992, **29** (5): 102-107.
- 2 Dold J, Maas H G. An application of epipolar line intersection in a hybrid close-range photogrammetric system [J]. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 1994, **30** (5): 65-70.
- 3 Zhao Mei-fang, Shen Bang-xing, Wu Xiao-ming, et al. Application of rapid ambiguity-avoiding feature matching in multi-view stereo vision inspection system [J]. Journal of China Institute of Metrology, 2003, **14** (2): 89-92. [赵梅芳, 沈邦兴, 吴晓明等. 多目立体视觉测量系统中的快速去伪匹配法 [J]. 中国计量学院学报, 2003, **14** (2): 89-92.]
- 4 Zhang Zu-xun, Zhang Jian-qing. Digital Photogrammetry [M]. Wuhan: Publisher of Wuhan Technical University of Surveying and Mapping, 1996: 111-115. [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: 111-115.]
- 5 Feng Wen-hao. Close-range Photogrammetry [M]. Wuhan: Publisher of Wuhan University, 2002. [冯文灏. 近景摄影测量 [M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2002.]