

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2012.03.016

一种同名像点快速匹配方法

黄诗捷¹, 王定祥², 张征宇¹, 罗川³, 王水亮¹

(1. 西南科技大学信息工程学院, 四川 绵阳 621010; 2. 四川省比杰多媒体网络有限公司, 四川 绵阳 621000;
3. 重庆农村商业银行沙坪坝支行, 重庆 400030)

摘要: 针对多目视觉中核线几何约束与角度距离约束时常用的方法容易产生误匹配的问题, 提出一种匹配正确性判断准则和距离与角度的最大绝对差约束方法, 结合核线几何约束, 快速得到一个既小又准的搜索域, 通过相似性约束得到正确的匹配结果。实验结果及工程实例表明: 对于搜索域内可能的匹配点数量较多的情形, 该方法能明显缩减计算量, 提升匹配速度和准确度, 有实用价值。

关键词: 匹配; 约束; 搜索域; 同名像点

中图分类号: TP391.4 **文献标志码:** A

A Fast Correspondence Method of Homologous Points

Huang Shijie¹, Wang Dingxiang², Zhang Zhengyu¹, Luo Chuan³, Wang Shuiliang¹

(1. Information Engineering College, Southwest University of Science & Technology, Mianyang 621010, China;
2. Bijie Multi-Media & Network Co., Ltd., Mianyang 621000, China;
3. Shapingba Subbranch, Chongqing Rural Commercial Bank, Chongqing 400030, China)

Abstract: Aiming at the problem of false matching generated easily in traditional multi-view epipolar geometry constraint methods combined with angle and distance constraints, the criterions describing the correct corresponding results and a constraint of distance/angle maximums absolute difference are presented. Together with epipolar geometry constraint, it can quickly produce a small and exact searching region, and then the right results can be obtained after similarity constraint. The results and practical examples show that the method can simplify the calculation obviously, promote efficiency and accuracy for homologous points corresponding, and it is useful and effective.

Key words: correspondence; constraint; searching region; homologous points

0 引言

同名像点匹配对于机器视觉和数字摄影测量至关重要^[1-12]。目前, 同名像点匹配主要采用的约束条件有: 1) 核线几何约束^[5-12]利用同名像点共面的性质得到搜索域; 2) 相似性约束^[4-12]利用互相关系数、灰度梯度差或平均灰度差等作为约束量, 度量匹配点对的相似程度; 3) 角度距离约束^[7-9]利用匹配点与已知同名像点间的角度和距离作为约束量, 度量匹配点对及其邻近点间的对应程度; 4) 梯度方向约束^[6,11], 即通过比较匹配点对的梯度主方向得出匹配点对的相似程度。

如今采集图像的分辨率已达千万像素量级, 采用核线几何约束与角度距离约束后, 搜索域仍然较大, 导致匹配时间长且易发生误匹配。基于松弛标记法与相对定向的特征点匹配法^[7], 先用相似性约束、角度距离约束来匹配同名像点, 并基于匹配结

果估算外方位元素, 再用相似性约束、角度距离约束及核线约束迭代匹配, 但因为角度距离约束时采用的邻近点并非全部为已匹配点, 因而易出现误匹配, 降低后续的外方位元素计算精度和核线约束的可靠性。目前, 常用的方法有以下 3 种: 1) 文献[9]利用编码号实现同名编码元的准确匹配, 以精确计算匹配图片的外方位元素、提高核线约束精度。该方法忽略了角度关系的约束, 仍然难以确保正确的匹配结果; 2) 基于自适应三角形约束的匹配方法^[5-6]约束后得到搜索域大, 导致其中与待匹配点局部相似的点的数量不止一个, 易发生误匹配, 而一旦出现误匹配, 将引起后续的三角网格约束出错; 3) 序列图像角点匹配法^[4]仅适于运动目标位移量小(即匹配图像的外方位元素差异很小)时的序列图像匹配。因此, 笔者提出一种多目视觉中的同名像点快速匹配方法, 快速得到一个既小又准的搜索域, 并通过相似性约束得到正确的匹配结果。

收稿日期: 2011-09-07; 修回日期: 2011-10-24

基金项目: 四川省科技创新苗子工程“视频图像目标检测的低成本相机校验技术”(2010-005); 空气动力学国家重点实验室和中国空气动力研究与发展中心预研基金资助项目

作者简介: 黄诗捷(1984—), 男, 四川人, 硕士, 从事模式识别与智能系统研究。

1 相关概念

1.1 匹配正确性判断准则

对于给定 2 张图片 I_A 和 I_B , I_A 上的待匹配点集合记为 P , 第 i 个待匹配点记为 p_i^A , 通过同名像点的匹配中常采用的约束条件将 p_i^A 在 I_B 上的可能匹配点组成的集合称为 p_i^A 在 I_B 上的搜索域, 记为 $P^{p_i^A}$ 。

定义 1 搜索域长度

$$d = \max(|p_i, p_j|) \quad (1)$$

式中 p_i 与 p_j 属于 $P^{p_i^A}$, $i \neq j$ 。

定义 2 搜索域置信长度, 如果通过核线几何约束和角度距离约束后的 $P^{p_i^A}$ 中与 p_i^A 局部相似的点的数量为 1, 则此时的搜索域长度称为置信长度 l 。

因此, 匹配正确性判断准则如下

$$\begin{cases} C_{p_i^A} = \max(\rho(p_i^A, p_j^{p_i^A})) \\ C_{p_i^A} \geq C \\ d \leq l \end{cases} \quad (2)$$

式中 $\rho(p_i^A, p_j^{p_i^A})$ 表示 p_i^A 和 $p_j^{p_i^A}$ 的互相关系数计算值, C 为互相关系数阈值^[7]。若式 (2) 无解, 说明未匹配成功; 否则, 通过已匹配正确的邻近点来进行距离关系度量以再次检验其结果的正确性^[9]。

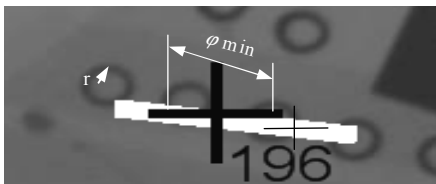


图 1 搜索域内的局部相似点导致误匹配

从产生 p_i^A 的方法, 可以得到 p_i^A 附近不包含其局部相似点的区域大小, 例如若 p_i^A 为人工非编码元, 其邻近非编码元即为其局部相似点(如图 1 所示, p_i^A 与其局部相似点间的最小间距 ϕ_{\min} 在布置非编码元时已知, 人工非编码元半径 r 也已知); 又如若 p_i^A 为角点, 因提取角点时网格的大小 m 和局部极值的窗口大小 w 也都已知^[2,8], 因此, 置信长度 l 可以由产生 p_i^A 的几何参数计算得出。 p_i^A 分别为人工非编码元和角点时 l 的计算方法如下。

1) p_i^A 为人工非编码元:

$$l = \phi_{\min} - r \quad (3)$$

2) p_i^A 为角点:

$$l = m - w/2 \quad (4)$$

匹配正确性判断准则示例如图 2, 对点 p_{196}^A 而言, 右图中白色搜索域长度 d 满足阈值条件 ($d \leq l$) 时, 搜索域的范围已经排除了相邻的其他黑色小圆圈, 满足 $C_{p_{196}^A} \geq C$ 的匹配点即为正确的匹配结果。

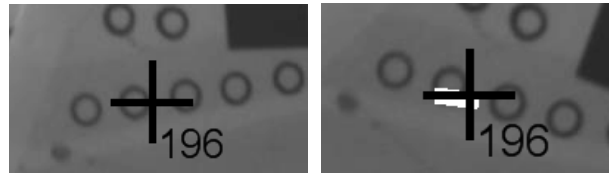


图 2 匹配正确性判断准则示例

1.2 距离和角度的最大绝对差

将 I_A 和 I_B 中已知同名点组成的集合分别记为 P^A 和 P^B , 其中第 k 对已知同名点对记为 (p_k^A, p_k^B) , NN 为 P^A 中同名像点总数。但对于 NN 在 5~10 之间的匹配图像 I_A 和 I_B , P 中大多数待匹配点与 P^A 中点间的距离都较大、不相邻, 削弱距离约束的效果; 角度参数计算^[7,9] 则会因 $\angle p_k^A p_i^A p_{k-1}^A$ 或 $\angle p_k^B p_j^{p_i^A} p_{k-1}^B$ 接近于零的特殊情形引发对应角度之比出现奇异值。为此, 对于给定的 p_i^A 与 $p_j^{p_i^A}$ 作如下定义:

定义 3 距离的最大绝对差

$$D_d = \max_{k \in \{1, 2, \dots, NN\}} \left(\left| \overline{p_i^A p_k^A} \right| - \left| \overline{p_j^{p_i^A} p_k^B} \right| \right) \quad (5)$$

定义 4 角度的最大绝对差

$$A_d = \max_{k \in \{1, 2, \dots, NN\}} \left(\left| \angle p_k^A p_i^A p_{k-1}^A - \angle p_k^B p_j^{p_i^A} p_{k-1}^B \right| \right) \quad (6)$$

1.3 距离和角度的最大绝对差约束

用指定步长 λ 对 p_i^A 在 I_B 上的核线进行等距抽样, 将核线分成等距的线段, 线段的端点称为核线节点(如图 3 中“十”和“×”所示); 然后, 按定义 3 和定义 4, 分别计算 p_i^A 与核线节点的距离和角度最大绝对差, 并按距离和角度的最大绝对差值从小到大进行排序, 分别取前 N 个节点 (N 一般取 3 个, 如图 3 中左端 3 个和右端 3 个“×”标识), 并以其中最两端的 2 个节点 P_1^J 和 P_2^J 构造线段。考虑到核线几何约束的精度, 如图 3 所示将此线段沿 2 个方向分别拓宽 Δ , 得到 p_i^A 在 I_B 上的搜索域。

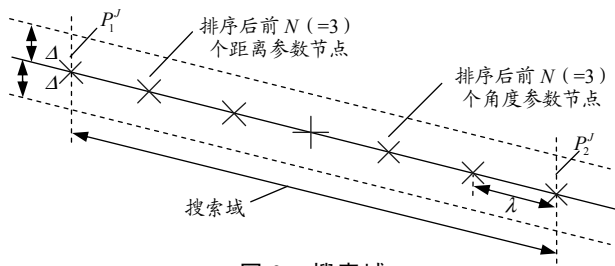


图3 搜索域

其中, 步长 λ 由下式计算:

$$\lambda = l / (2 \times N - 1) \quad (7)$$

与文献[7,9]的方法不同, 笔者仅对采样得到的核线节点进行距离和角度的参数计算, 对于搜索域内可能的匹配点数量较多的情形, 能明显地缩减计算量。

2 同名像点的快速匹配流程

具体的匹配流程如图4。

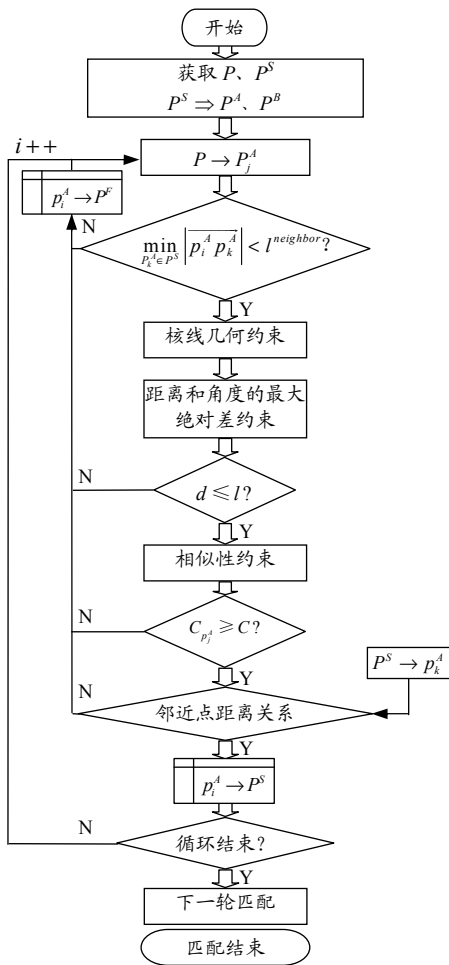


图4 快速匹配流程

先选取与某一个已知同名像点 p_k^A 最近邻的待匹配点 p_i^A 开始匹配, 以确保匹配的正确性。在匹配

过程中, 将未成功匹配的 p_i^A 加入集合 P^F , 将成功匹配的 p_i^A 加入集合 P^S 。

首先, 利用编码号实现同名编码元的准确匹配, 将其加入 P^S , 并精确计算外方位元素^[10]; 按式 (3) 或式 (4) 计算 l , 按式 (7) 计算 λ ; 从 P^S 中选取 NN 对编码元以得到 P^A, P^B 。对于给定的 p_i^A 若

$$\min_{P_k^A \in P^S} |p_i^A p_k^A| < l^{neighbor} \quad (8)$$

式中: $l^{neighbor}$ 为邻近点距离阈值, 则进行核线几何约束; 再进行距离和角度的最大绝对差约束得到匹配搜索域和 d ; 匹配正确性判断准则中, 如果满足 $d \leq l$, 则进行下一步的相似性约束, 如果满足 $C_{p_i^A} \geq C$, 由邻近点距离关系再一次验证其正确性, 若通过验证则加入 P^S , 否则将 p_i^A 加入 P^F 并等待下一轮重新匹配。新一轮匹配时, p_i^A 从 P^F 读入, 若匹配成功, 则将 p_i^A 从 P^F 移入 P^S , 直到 P^F 为空或者减少到某限定数量, 匹配结束。

3 实验

采用文献[10]的方法得到外方位元素, 待匹配特征点为采用网格 Harris 算法提取的角点^[2,8]。

实验 1, 水轮机叶片的同名点匹配图像(局部)如图 5(a)和图 5(b), 图像分辨率为 3872×2592 。图 5(a)中白色小“十”标示为网格 Harris 算法提取的角点, 网格大小为 70 像素; 匹配结果如图 5(b), 其中白色小“十”标示为匹配得到同名像点。

在图 5 中不同方位选取角点, 分别统计它们在传统法(通过阈值设定将满足阈值的像点加入搜索域)和笔者所提方法(距离和角度的最大绝对差约束)的约束下, 需要进行角度距离计算和相似性计算的像点总数, 如表 1。由表 1 可见, 相对于传统法, 采用笔者所提方法的计算量明显大幅减少。

表1 计算量对比

角点方位	角点编号	角度距离计算		相似性计算	
		传统法	本文法	传统法	本文法
左上	32	12 963	521	1 783	203
左下	135	13 333	697	813	118
右上	55	12 963	520	441	153
右下	147	12 963	630	472	168
中间	110	12 963	568	324	163

实验 2, 某平尾颤振风洞实验模型的同名点匹配图像(局部)如图 6(a)和图 6(b), 图像分辨率为

2 352×1 728; Harris 角点提取网格大小为 25 像素。首轮匹配过程中, 由于机翼和地面存在明显高程突变, 当初始已知编码元均位于地面时, 机翼上(位于不同高程)的待匹配点搜索域容易出现一些偏移(即偏移后的即搜索域中可能不包含正确的同名像点), 出现误匹配点(如图 1 所示)的灰度互相关系数同样满足正确性判断准则的情形, 但可以基于机翼上的已知编码元, 通过邻近点距离关系的进一步验证, 剔除此类误匹配, 并在第 2 轮匹配时基于机翼上已正确匹配的同名像对和机翼上的编码元进行距离和角度的最大绝对差约束, 进而通过邻近点距离关系验证, 就能成功匹配机翼上剩余的未匹配点。最终得到的具有较高正确率的匹配结果, 如图 6(b)。

统计 2 次实验的匹配率评价如表 2, 其中有效角点不包含物体边缘上不可靠的角点(基于灰度互相关系数的相似性约束失效)和其同名像点超出图像边界的角点。

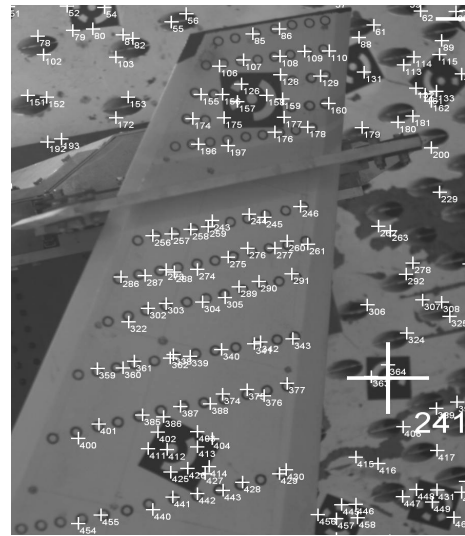


(a) 左图及 Harris 角点

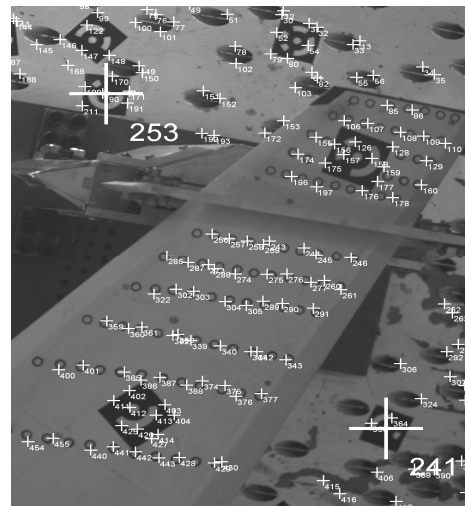


(b) 匹配结果

图 5 实验 1 匹配结果



(a) 左图及 Harris 角点



(b) 匹配结果

图 6 实验 2 匹配结果

表 2 匹配率评价

实验	有效角点数	匹配数	匹配率/%	误匹配	误匹配率/%
1	145	145	100	0	0
2	361	360	99.7	0	0

4 结论

笔者建立了一种多视角中的同名像点快速匹配方法, 对于图像上某待匹配点, 在另一幅图像中由核线几何约束结合距离和角度的最大绝对差约束, 快速确定搜索域, 最后基于相似性约束及匹配准确度准则得到其正确的对应同名像点。实验结果证明: 该方法有效地缩减了计算量, 提出的匹配准确度准则确保匹配出准确结果。工程实例表明: 该方法技术正确, 有实用价值。