



文章编号:1006-7329(2003)04-0114-07

已知有效点数的点特征松弛匹配

桑 军¹, 李宗志², 朱晓红²

(1.重庆大学 软件学院,重庆 400044;2.重庆大学 计算机学院,重庆 400044)

摘要:研究了已知特征点集合中有效点数的先验知识时,对基本点特征松弛匹配算法的改进,包括松弛过程中初始匹配度量值的计算公式与松弛迭代公式,及确定对应点对的技术,以提高匹配性能。采用针对模拟图像及实际卫片航片图像对的实验,比较了两种方法的性能,验证了改进算法的正确性和有效性。

关键词:松弛匹配;点特征;有效点数

中图分类号:TP391

文献标识码:A

Point Pattern Relaxation Matching with Known Number of Effective Points

SANG Jun¹, LI Zong-zhi², ZHU Xiao-hong²

(1. Faculty of Software Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, P. R. China; 2. College of Computer Science and Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, P. R. China)

Abstract: In case that the number of effective feature points is known, the original point pattern relaxation - matching algorithm is improved, including the computation of the initial support (merit value) and the iterative equation of relaxation matching. A better matching performance is obtained. Experimental results with large simulated images are given to compare the performance of the original method and algorithm proposed in this paper. The correctness and validity of the improved algorithm are verified.

Keywords: relaxation matching; point patterns; number of effective points

图像匹配在配准、导航、变化检测及立体映射等应用中是一项极其重要的技术。通常图像匹配方法可分为基于灰度的匹配算法与基于特征的匹配算法两大类。由于基于灰度的匹配算法需要检验两幅图像中所有对应象素灰度的相似程度或差异程度,因此其匹配运算量随图像大小的增加而增加,而若采用基于特征点的匹配算法,则匹配运算量仅与特征点的个数有关,从而可以大大提高匹配速度,并且基于特征点的匹配算法还具有一定的克服图像几何失真的能力。

文献[1~4]对基于特征点的各种匹配算法进行了较为全面的分析,其中一种典型的算法是基于松弛标记的匹配方法^[5]。该算法的基本思想是:给定两特征点集, $P = \{P_1, P_2, \dots, P_m\}$ 及 $Q = \{Q_1, Q_2, \dots, Q_n\}$, 对每一可能的 P_i 与 Q_j 映射点对,根据它将 P 中的其余点映射到 Q 时的吻合度,

* 收稿日期:2003-04-12

作者简介:桑 军(1968-),男,重庆人,讲师,博士生,主要从事计算机信息安全、数字水印、图像处理研究。

确定一个相似性测度值,并通过其余映射点对相似性测度值的作用,对该相似性测度值进行迭代,直至对每一 P_i 除最可能的映射点对以外其余所有映射点对的相似性测度值均小于一个预先给定的门限。但该算法没有考虑关于特征点集合的任何先验信息,因此当发生丢失点特征、出现虚假点特征等不利情况时,容易导致错误匹配。事实上,如果我们能获得有关点集 P 与 Q 之间关系的某些先验知识,并将这些先验知识融合到匹配算法中,则可有效地改进匹配性能。本文中我们研究了给定有效点数时,对基本点特征松弛匹配算法的改进。所谓有效点数,是指在点集 P 中存在对应点的点集 Q 中的点。

1 基本点特征松弛匹配算法

设有两特征点集 $P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$ 及 $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$, 其中 P 为 Q 的某一子集经过平移及较小的比例与旋转变换后,再迭加一定的随机游动误差而得到的点集。基本点特征松弛匹配算法的基本思想及处理方法如下:

对每一点对 (p_i, q_j) , 定义两特征点集间的相对偏移。令 $\delta_{ij}(h, k)$ 为当 p_i 与 q_j 配对时 p_h 与 q_k 间的距离。即:

$$\delta_{ij}(h, k) = \|(p_h - p_i) - (q_k - q_j)\| \quad (1)$$

假如 $|\delta_{ij}(h, k)|$ 为零,则表示 q_k 相对于 q_j 等同于 p_h 相对于 p_i , 因此点对 (p_h, q_k) 应当给予 (p_i, q_j) 以最大的支持。随着 $|\delta_{ij}(h, k)|$ 的增加,其支持度应减小。于是,令 (p_h, q_k) 对 (p_i, q_j) 的支持度为:

$$\phi(|\delta_{ij}(h, k)|) = \frac{1}{1 + |\delta_{ij}(h, k)|^2} \quad (2)$$

若要求当 p_i 与 q_j 配对时, p_h 仅与一个 q_k 相配对,即与 p_h 相联系的、对 (p_i, q_j) 的支持度最大的 q_k 相配对,则可得如下支持度表达式:

$$\max_{k \neq j} \phi(|\delta_{ij}(h, k)|) \quad (3)$$

为了得到 (p_i, q_j) 的初始支持度,我们取所有 p_h 之和的平均:

$$s^0(p_i, q_j) = \frac{1}{m - 1} \sum_{h \neq i} \max_{k \neq j} \phi(|\delta_{ij}(h, k)|) \quad (4)$$

在计算 $s^0(p_i, q_j)$ 时,我们平等地看待每一个点对 (p_h, q_k) , 因为在无其它先验知识的条件下,任意两个点均可以配对。但是,在第 r 次迭代 ($r > 0$) 时, (p_h, q_k) 对 (p_i, q_j) 的支持度不仅依赖于 p_h 和 q_k 间的位置差别,而且也依赖于它们的 $s^{r-1}(p_h, q_k)$ 值,即允许局部支持度的反馈。这两个因素可以不同的方式结合在一起,这里,我们取它们中的最小值,因此有:

$$s^r(p_i, q_j) = \frac{1}{m - 1} \sum_{h \neq i} \max_{k \neq j} \min[s^{r-1}(p_h, q_k), \phi(|\delta_{ij}(h, k)|)] \quad (5)$$

该迭代一直进行到当 $d_r = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n [s^r(p_i, q_j) - s^{r-1}(p_i, q_j)] < \epsilon$ 时终止,这里 ϵ 为一个预先设定的极小正数(如 0.000 001)。

虽然基本点特征松弛匹配算法没有考虑比例与旋转失真的影响,但文献[5]已经表明基本点特征松弛匹配算法具有一定的抗比例与旋转变化的能力,因此允许 P 相对于 Q 的某一子集存在一个较小的比例与旋转变化的能力。

2 已知有效点数的点特征松弛匹配

设点集 P 中的有效点数为 m_1 ($m_1 \leq m$), 则在点集 P 中有 $(m - m_1)$ 个虚假特征点, 当 p_i 与 q_j

为正确匹配点对时,这 $(m - m_1)$ 个虚假特征点对 (p_i, q_j) 的支持度将明显低于其他特征点对 (p_i, q_j) 的支持度,因为它们不在点集 Q 中不存在对应点。若 m_1 未知,在计算 (p_i, q_j) 的匹配度量值时,必须考虑虚假特征点的影响,这将极大地降低 (p_i, q_j) 的匹配度量值,可能导致错误匹配。但若 m_1 已知,则在计算 (p_i, q_j) 的初始匹配度量值时,可排除虚假特征点的影响,而仅考虑有效点的作用,于是得如下计算 (p_i, q_j) 初始匹配度量值的修正公式:

$$s^0(p_i, q_j) = \frac{1}{m_1 - 1} \sum_{k=1}^{m_1-1} OS^k(A_{ij}) \quad (6)$$

其中 A_{ij} 为与 p_i, q_j 有关的集合,定义为

$$A_{ij} = \{ \max_{k \neq j} \{ | \delta_{ij}(h, k) | \} \mid h = 1, 2, \dots, m, h \neq i \} \quad (7)$$

而 $OS^k(A_{ij})$ 表示 A_{ij} 中第 k 大的元素。这里仅使用 A_{ij} 中最大的 $(m_1 - 1)$ 个元素,是因为在计算 P 中点对 (p_i, q_j) 的支持度时,不考虑点 p_i 本身,这时 P 中仅有 $(m_1 - 1)$ 个有效点(因已假定点 p_i 为一个有效点)。同时修正松弛迭代公式为:

$$s^r(p_i, q_j) = \frac{1}{m_1 - 1} \sum_{k=1}^{m_1-1} OS^k(B_{ij}) \quad (8)$$

这里集合 B_{ij} 为

$$B_{ij} = \{ \max_{k \neq j} \min [s^{r-1}(p_h, q_k), \{ | \delta_{ij}(h, k) | \}] \mid h = 1, 2, \dots, m, h \neq i \} \quad (9)$$

当匹配度量矩阵 $s^r(p_i, q_j)$ 的变化小于预先设定的门限 ϵ 后,迭代结束,此时得到了最终的匹配度量矩阵 $s^r(p_i, q_j)$ 。

当从 $s^r(p_i, q_j)$ 中获得对应点关系时,我们仍然使用了有效点数的信息。

设由 $s^r(p_i, q_j)$ 可得 p_i 的对应点为 q_{i1} ,二者间的匹配度量值为 $s^r(p_i, q_{i1})$,则有:

$$s(p_i, q_{i1}) = \max_{1 \leq k \leq n} s(p_i, q_k) \quad (10)$$

对 P 中的所有点,可得 m 个匹配度量值,构成集合 C :

$$C = \{ s(p_i, q_{i1}) \mid i = 1, 2, \dots, m \}$$

与 C 中最大的 m 个匹配度量值相对应的点对,即为最终的对应点关系。根据对应点关系,就可估计出 P 相对于 Q 存在的平移变化。

3 实验结果

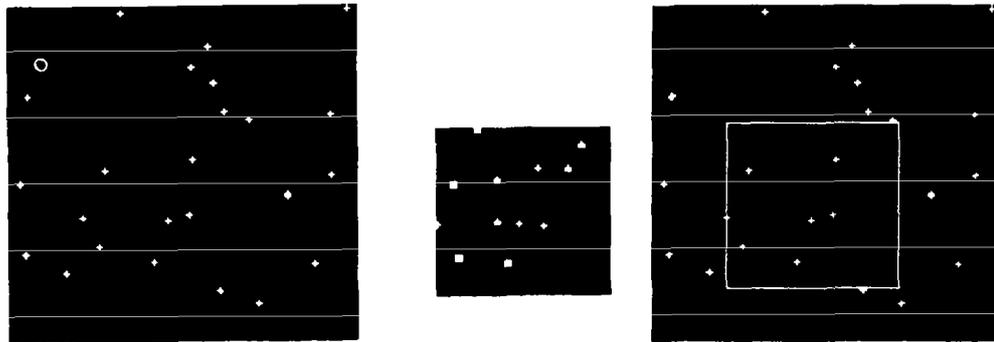
3.1 模拟实验

根据上述算法,我们针对模拟图像进行了大量的实验。实验中,点集 P 中的特征点 p_0, p_4, p_8 为丢失的点特征,而特征点 $p_1, p_5, p_6, p_9, p_{10}$ 为虚假点特征。所有的实验均仅考虑存在点特征位置偏移、丢失点特征及出现虚假点特征的情况,不涉及比例与旋转失真。

3.1.1 单次匹配结果

图1至图4为基本点特征松弛匹配法与已知有效点数时的改进算法的一个比较实验。图1为实验用参考图、实时图及实时图在参考图中的正确匹配位置示意图,其中■表示 P 中丢失的特征点,而●表示 P 中出现的虚假特征点。图2、图3分别显示了参考图、实时图中特征点的位置及序号,图3中标记为“O”的点表示 P 中丢失的特征点,标记为“X”的点表示 P 中出现的虚假特征点,而括号内的数字为该特征点在参考图中对应点的序号。注意图2中没有序号为3、7、8、24、25的特征点,这是因为它们对应着 P 中的虚假特征点,在松弛匹配过程中不参与计算。同样地, P 中丢失的、序号为0、4、8的特征点(见图3)也不参与松弛匹配计算。图4(a)、(b)分别为根据两种算法的匹配结果所确定的实时图在参考图中的匹配位置示意图。实验使用的参数为:比例因子为1.0,旋转因子为 0° ,即不存在比例与旋转变换,平移因子为(44, 27),最大点特征随机位置偏移量为3个象

素。采用基本点特征松弛匹配法估计的平移因子为(64,20),采用已知有效点数时的改进算法估计的平移因子为(44,28)。显然后者是正确的,而前者不正确。



a)点集 Q b)点集 P c)正确匹配结果

图1 实验1原始图像

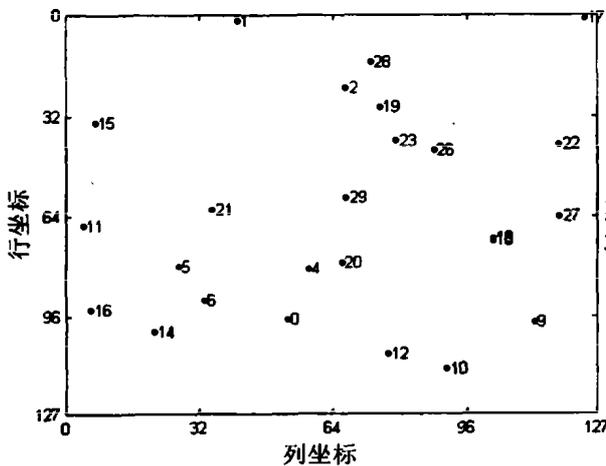


图2 实验1中点集的各特征点位置及序号示意图

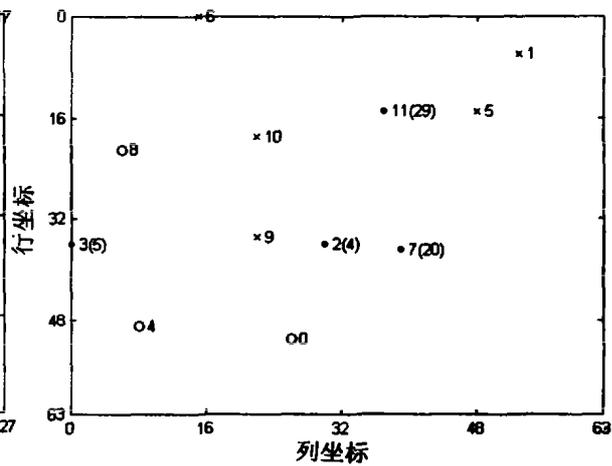
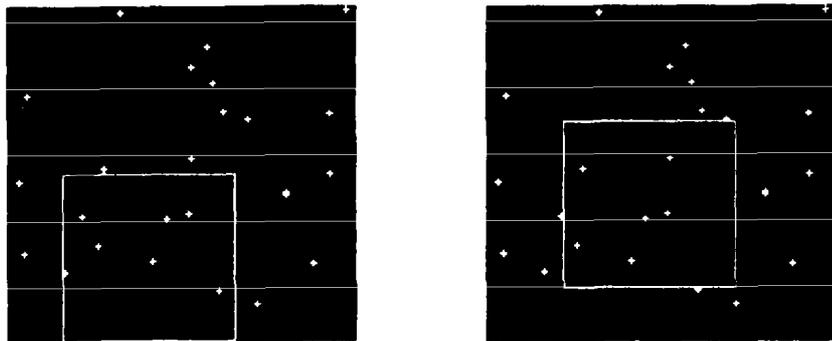


图3 实验1中点集的各特征点位置及序号示意图



a)基本点特征松弛匹配法匹配结果 b)已知有效点数时的改进算法匹配结果

图4 实验1结果图像

表1及表2分别给出了采用基本点特征松弛匹配算法和已知有效点数时的改进算法获得的最终点对应关系及相应的匹配度量值列表,其中“——”表示P中相应点为虚假特征点,其在点集Q中不存在对应点,因此不考虑其点对应关系的正确性。可以看出,采用基本点特征松弛匹配算法,仅得到了1对正确匹配点对,即 p_7 与 q_{20} 。而采用已知有效点数时的改进算法,得到了4对正确匹配点对,考虑到P中其余5个点均为虚假点,在Q中并不存在对应点,因此可以说采用已知有效点数时的改进算法得到的正确匹配点对已经是最佳的匹配结果。进一步观察表2,可知4对正确匹配点对的最终匹配度量值也是最大的(见表中的粗体数字),因此当利用有效点数信息获得对应点

关系时,可以确保提取这4对正确匹配点对,从而估计出点集 P 与 Q 之间正确的平移参数。

表1 采用基本点特征松弛匹配算法获得的最终点对应关系及相应匹配度量值结果列表(针对实验1图像)

P 中点序号	对应的 Q 中点序号	最终对应点特征匹配度量值	点对应关系是否正确
1	18	0.009 9	—
2	0	0.018 1	F
3	14	0.019 8	F
5	20	0.019 7	—
6	21	0.019 7	—
7	20	0.015 9	T
9	6	0.010 1	—
10	5	0.009 6	—
11	4	0.019 6	F

表2 采用已知有效点数时的改进算法获得的最终点对应关系及相应匹配度量值结果列表(针对实验1图像)

P 中点序号	对应的 Q 中点序号	最终对应点特征匹配度量值	点对应关系是否正确
1	22	0.027 6	—
2	4	0.101 8	T
3	5	0.100 8	T
5	20	0.080 2	—
6	21	0.075 7	—
7	20	0.099 5	T
9	6	0.025 8	—
10	19	0.026 8	—
11	29	0.096 2	T

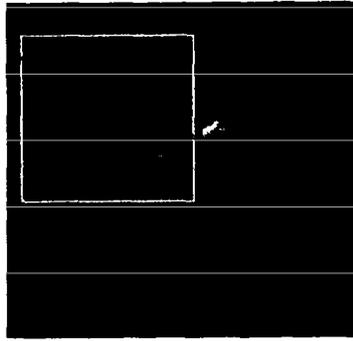
3.1.2 大规模匹配结果

为了验证本文算法的有效性,我们还进行了大规模匹配实验,共完成100次匹配实验,各次实验的最大点特征随机位置偏移量为3个像素。采用基本点特征松弛匹配法的正确匹配概率为57%,而采用已知有效点数时的改进算法的正确匹配概率为73%。显然,当使用了关于有效点数的先验知识时,匹配概率有所提高。

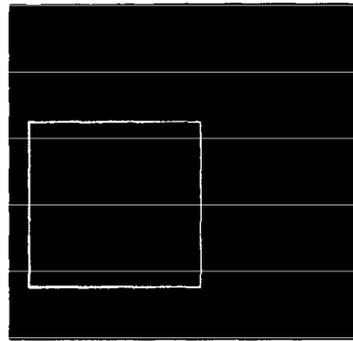
3.2 实际图像实验

在实际情况下,由于特征提取的误差,丢失点特征及出现虚假点特征常常是不可避免的,而在已知有效点数的前提下,采用本文的方法就可有效地克服丢失点特征及出现虚假点特征,特别是虚假点特征的影响。为此,我们针对实际卫片与航片图像对进行了匹配实验。本文选择了感兴趣点检测算子^[6]用于提取图像中的点特征,在该算子中,根据兴趣值公式,将计算出的兴趣值大于给定的经验阈值 T 的点作为候选点,而选取候选点中在一定范围 $W \times W$ 内具有最大兴趣值的点作为特征点。

图5至图9为针对实际卫片与航片图像对的一个实验。图5为实验用原始参考图、实时图及实时图在参考图中的正确匹配位置示意图。图6为原始参考图、实时图的感兴趣点特征检测结果,其中■表示实时图中丢失的特征点,而▲表示实时图中出现的虚假特征点,检测参考图中的感兴趣点时经验阈值 T 选为500, W 为15,而检测实时图中的感兴趣点时经验阈值 T 选为2500, W 为9。对参考图和实时图采用不同的 T 与 W 主要是考虑到卫片相对于航片更为模糊,因此其兴趣值更小,使用了较小的 T ,同时为了避免在参考图中产生过多的虚假感兴趣点,而使用了较大的 W 。图7、图8分别显示了参考图、实时图中特征点的位置及序号。图9(a)、(b)分别为根据基本点特征松弛匹配法及已知有效点数时的改进算法的匹配结果所确定的实时图在参考图中的匹配位置示意图。实验中我们设最大点特征随机位置偏移量为4个像素,而实时图相对于参考图的正确偏移量为(44,7),采用基本点特征松弛匹配法估计的平移因子为(12,5),而采用已知有效点数时的改进算法估计的平移因子为(44,7)。显然基本点特征松弛匹配法没有获得正确的匹配结果,而改进方法实现了正确匹配。



a) 基本点特征松弛匹配法匹配结果



b) 已知有效点数时的改进算法匹配结果

图9 实验2结果图像

征对匹配性能的影响极大,因此在特征提取过程中应尽量减少虚假点特征的引入。

参考文献:

- [1] Skea, D., I. Barrodale. Sonar image matching, Contractors Report 90 - 02, Defence Research Establishment Pacific[R], Victoria, B. C, 1990.
- [2] Skea, D., I. Barrodale. Control point matching study, Contractors Report 91 - 11, Defence Research Establishment Pacific [R], Victoria, B. C, 1991.
- [3] Skea, D., I. Barrodale. Improved algorithms for control point matching, Contractors Report 92 - 01, Defence Research Establishment Pacific[R], Victoria, B. C, 1992.
- [4] Skea, D., R. Kurwahara, R. Poecker. A control point matching algorithm[J]. Pattern Recognition, 1993, 26(2): 269 - 276.
- [5] Ranade, S., A. Rosenfeld. Point pattern matching by relaxation[J]. Pattern Recognition, 1980, 12(4): 269 - 275, 1980.
- [6] Moravec H. P. Towards automatic visual obstacle avoidance[A]. Proceedings of the 5th International Joint Conference on Artificial Intelligence[C]. Cambridge, Massachusetts, 1977.

· 启 事 ·

本刊已加入超星数字图书馆,本刊论文作者将免费成为超星数字图书馆个人会员,由超星数字图书馆发给读书卡。如作者不同意将文章编入数字图书馆,请来稿时声明,本刊将作适当处理。

重庆建筑大学学报编辑部