

DOI: 10.19322/j.cnki.issn.1006-4710.2017.03.016

基于相关面后处理的可能误匹配点剔除方法

符艳军¹, 张晓燕², 刘振霞², 田孝华¹, 吴静¹

(1. 西安培华学院 中兴电信学院, 陕西 西安 710125; 2. 空军工程大学 信息与导航学院, 陕西 西安 710077)

摘要: 在景象匹配过程中, 各种成像畸变使真实匹配位置往往偏离相关面的最大峰值处, 导致传统的“最大峰值决策”匹配算法产生误匹配。本文通过分析成像畸变对相关面的影响及真实匹配位置处相关峰所具有的特征, 提出了一种基于相关面后处理的可靠景象匹配方法。该方法以相关峰的融合特征作为匹配依据, 通过计算相关面上多个局部极大峰融合特征值的差异程度来判断实测图的可匹配性, 放弃易被误匹配的实测图, 保留可信度高的实测图的匹配结果。在红外、可见光、SAR 图像上的仿真结果表明, 所提方法在丢弃少量帧的情况下, 能够剔除传统“最大峰值决策法”的多数误匹配点, 正确匹配概率有了明显的提高。

关键词: 相关面后处理; 误匹配点; 特征融合; 正确匹配概率

中图分类号: TP391.41

文献标志码: A

文章编号: 1006-4710(2017)03-0345-06

Method for discarding the possible mismatched points based on post-processing of correlation plane

FU Yanjun¹, ZHANG Xiaoyan², LIU Zhenxia², TIAN Xiaohua¹, WU Jing¹

(1. ZTE Telecom College, Xi'an Peihua University, Xi'an 710125, China;

2. Information and Navigation College, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China)

Abstract: During the scene matching process, imaging distortion often makes the actual match point deviate from the maximum peak of correlation plane, inducing a mismatch of the traditional decision making method based on maximum peak (“MPDM” for short). By analyzing the influence of image distortion on correlation plane and the peak properties corresponding to the actual match point, we develop an approach to eliminating possible mismatched points based on post-processing of correlation plane. The approach takes the fusion feature of correlation peak as the matching criteria, and evaluates the real-time image ability to obtain correct matching by calculating the fusion feature difference among several local maximum peaks. So we can abandon those liable mismatched real-time images, and preserve the matching results with high reliability. Simulation results which are performed with visible image, infrared image and SAR image show that the approach proposed can eliminate most of the mismatched points produced by the MPDM method with a few frames abandoned. Thus acquisition probability is improved.

Key words: post-processing of correlation plane; mismatched points; feature fusion; acquisition probability

景象匹配过程中, 匹配结果的真实性及匹配精度往往是不可预知的, 而由于成像方式、成像时间以及成像环境的不同, 实测图和机载基准图之间可能存在较大灰度、旋转及尺度差异等, 导致在某种相似性测度下, 实测图可能和基准图中多个不同位置的基准子图相似, 甚至在很多情况下, 真实匹配位置往往不在相关匹配曲面的最大峰值处, 从而使以相关

面最大峰值位置作为匹配位置的传统“最大峰值决策”^[1-3]匹配算法失效。为了剔除可能产生的误匹配点, 提高匹配结果的可信度, 有些学者^[4-7]利用多子区之间的空间关系约束匹配结果以提高匹配结果的可信度。另有不少学者提出采用多幅图像的匹配结果进行综合处理以确定最终的匹配结果^[8-9], 文献^[10-11]则根据飞行过程中姿态机动性能的局限性

收稿日期: 2016-08-17

基金项目: 航空科学基金资助项目(20141996018); 西安培华学院校级课题资助项目(PHKT16012)

作者简介: 符艳军, 女, 讲师, 博士, 研究方向为图像处理、模式识别。E-mail: yanjun-fu@163.com

或所装备的惯性导航系统短时间测量距离的精确性剔除可能的误匹配点,但在实际应用中,此方法只有在飞行航迹近似为直线时的适用性较强^[1]。另外,由于上述方法不是直接利用单幅图像的匹配结果对惯导误差进行修正,而是在多次匹配结果的基础上,通过某种约束关系进行最终定位,这在一定程度上影响了景象匹配系统的实时性。

本文基于单幅图像匹配的相关曲面,从传统的“最大峰值决策法”导致误匹配产生的原因出发,通过对相关面中多个局部极大值所在峰的特征进行分析,提出了以多个峰值特征融合结果作为匹配依据的“峰值特征融合决策法”。实验结果表明,与以相关面主峰位置为匹配位置的“最大峰值决策法”相比,本文所提的“融合决策法”可以有效地剔除“最大峰值决策法”中的错误匹配点,增强了匹配结果的可

信度。

1 图像畸变程度对相关面的影响

通常,在实测图和基准图没有任何差异的情况下,如果基准图中重复模式区域的尺寸远小于实测图尺寸,按照某种相似性度量,在相关面上会出现一个明显的且宽度较窄的主峰,主峰的峰值点即为正确匹配点。但在实测图存在成像畸变的情况下,可能有多个基准子图与实测图的相似性度量值很相近,反映在相关面上就会有多个次高峰与最高峰差别较小,且随着实测图畸变程度的增加,相关面中的次高峰可能转变为最高峰,此时若仍以“最大峰值”作为匹配依据就会导致错误匹配。

图 1 所示为实测图存在不同程度畸变时与基准图匹配的相关面情况。

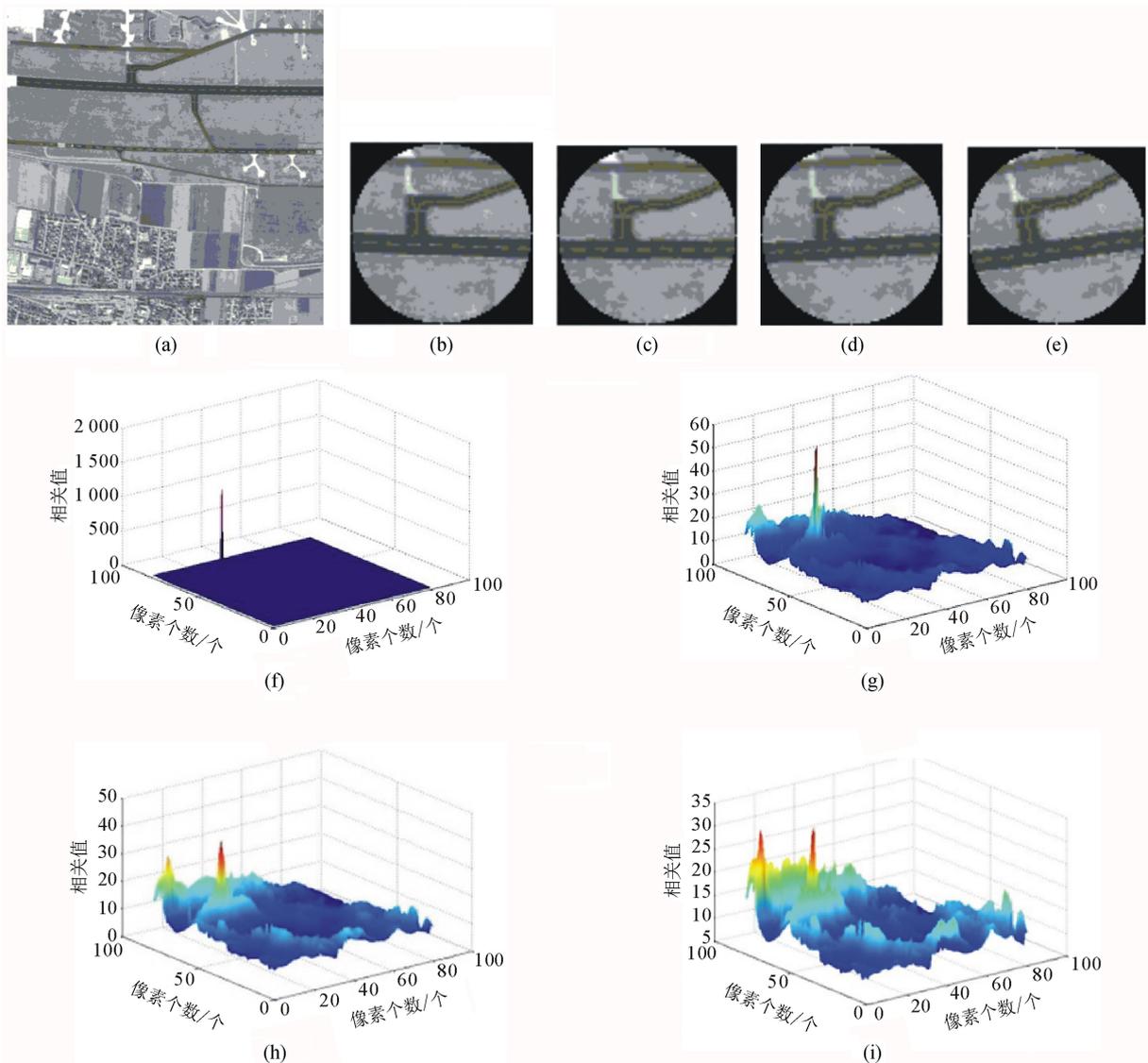


图 1 不同畸变程度下的相关面
Fig. 1 Correlation plane with different levels of image distortion

图 1(a)为基准图,图 1(b)是直接从基准图上截取的实测图,图 1(c)是实测图(a)旋转 2 度、比例变化 1.01 倍后截取的与(a)同心等直径的实测图,图 1(d)是实测图(a)旋转 5 度、比例变化 1.05 倍后截取的与(a)同心等直径的实测图,图 1(e)是实测图(a)旋转 10 度、比例变化 1.1 倍后截取的与(a)同心等直径的实测图。图 1 的(f)、(g)、(h)、(i)分别是实测图(b)、(c)、(d)、(e)在基准图(a)上匹配所得的相关面。从图中可以看出,实测图(b)的整个相关面(f)只有一个很窄很尖的峰,实测图(c)的相关面(g)也只有一个非常明显的主峰,但峰的宽度相比图(f)有所增加。实测图(d)的相关面(h)出现了两个较为明显的局部峰值,但相关面的次高峰与最高峰峰值比仍然较小,而实测图(e)的相关面(i)中,次高峰与原最高主峰在峰值上已经非常接近。

图 1 的仿真实例说明:在实测图没有畸变或畸变程度较小的情况下,“最大峰值决策法”可以找到正确的匹配位置,但随着畸变程度的增加,相关面的最大峰值逐渐减小,而次极大峰的个数及峰值逐渐增加,此时单纯以“峰值”一个特征作为匹配依据会使匹配结果的可信度降低。

2 基于相关面后处理的自适应景象匹配方法

2.1 局部极大峰融合特征提取

2.1.1 真实匹配位置处峰的特征

观察图 1(i),虽然两个局部极大峰的峰值大小非常接近,但真实匹配位置所对应的峰在形状上与其它虚假匹配位置处的峰仍有区别,即真实匹配位置处的峰除了相对高度较高外,其形状相对更窄、更尖。为此,定义峰相对高度 LMR 、8 邻域峰值比 $LNBR$ 、峰尖锐度 $LSoM$ 三个特征量来描述相关面峰的特征。

1) 假设相关面上某个局部极大峰的峰值为 V_{Lmax} , V_{max} 为相关面的全局最大峰值,定义该峰的峰相对高度 LMR 为:

$$LMR = V_{Lmax}/V_{max} \quad (1)$$

2) 设相关面某局部极大峰的峰值为 V_{Lmax} ,在距离峰值点 n 个像素(通常取 $n=5$)的圆周上等间隔选取 8 个点,以 V_{Lngb} 表示 8 个点中的最大值,定义该峰的 8 邻域峰值比(记为 $LNBR$)为:

$$LNBR = V_{Lngb}/V_{Lmax} \quad (2)$$

3) 以局部极大峰最大值点为中心,以 n_1 和 n_2 为半径在相关面上作两个圆(通常取 $n_1=3$, $n_2=9$), $V_{Lcircle}$ 表示半径为 n_1 的圆形区域内的平均值, V_{Lloop} 表示 n_1 和 n_2 之间环形区域内的平均值,定义

该峰尖锐度(记为 $LSoM$)为:

$$LSoM = V_{Lloop}/V_{Lcircle} \quad (3)$$

通常情况下,真实匹配位置所在峰应该具有大的 LMR 值和小的 $LNBR$ 及 $LSoM$ 值。但当实测图存在各种畸变时,真实匹配位置处的峰很难同时满足峰相对高度值最大、8 邻域峰值比及尖锐度又最小的条件,为此,当相关面上出现多个局部极大值相近的峰时,将每个峰的多个特征进行融合,以融合结果作为对该峰总体特征的描述,并以此为基础评估以该峰值点为匹配点的可信程度。

2.1.2 融合公式

考虑到局部极大峰的三个特征 $LNBR$ 、 $LSoM$ 及 LMR 的取值范围都已归一化为 $[0,1]$ 区间,融合时无需再考虑各特征取值范围对融合结果的影响,可直接采用线性融合。

设 ω_1 、 ω_2 和 ω_3 分别为 LMR 、 $LNBR$ 及 $LSoM$ 的影响因子,因为局部极大值所在峰的 $LNBR$ 及 $LSoM$ 值越小,说明该峰越尖锐,该局部极大值所在位置是正确匹配点的可能性会越大,而某个局部极大值所在峰的 LMR 越大,说明该峰的峰值越接近于相关面的全局最高峰值,那么它是正确匹配点的可能性就越大。综上分析,本文设计的融合公式如式(4)所示,融合结果 V_{fusion} 值越小,说明该峰值点是真实匹配点的可能性越大。

$$V_{fusion} = \omega_2 \cdot LNBR + \omega_3 \cdot LSoM - \omega_1 \cdot LMR \quad (4)$$

其中: $\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 = 1$; $\omega_i \in [0,1]$, $i=1,2,3$ 。

2.2 自适应可靠景象匹配方法

由图 1 可以看出,在实测图未发生畸变或只有轻微畸变时,相关面中最大值所在的主峰相对于其它次峰仍很显著,此时以主峰对应位置作为匹配结果仍具有很高的可靠性。随着实测图畸变程度的增加,相关面上主峰不再明显,而会出现多个峰值相近的局部极大峰,此时单纯以峰值大小作为匹配依据很容易导致误匹配。这种情况下,可考察相关面上多个局部极大值所在峰的融合特征,并以融合特征为基础进行匹配决策。为此,本文提出了一种“最大峰值决策法”与“融合特征决策法”相结合的自适应景象匹配方法,其流程如图 2 所示,具体步骤如下。

1) 计算相关面中次高峰与最高峰的峰值比 SMR ,若 $SMR < T$,说明主峰足够显著,直接以主峰的峰值点作为匹配位置,转 5);否则,转 2)。

2) 找出相关面 $Corv$ 中的前 L 个最大局部极值,依式(1)~(3)分别计算所在峰的三个峰值特征,再按照式(4)计算各峰的融合特征,分别记为:

$$V_{\text{fusion}(i)}, i = 1, 2, \dots, L$$

3) 依据式(5)计算各融合特征的最大绝对差值 dis :

$$dis = \max\{|V_{\text{fusion}(i)} - V_{\text{fusion}(j)}| \mid i, j = 1, 2, \dots, L\} \quad (5)$$

4) 若满足 $dis < T_\Delta$, 说明相关面前 L 个峰的融合特征相互很接近, 意味着该帧实测图的匹配结果易受图像畸变的影响, 此时单纯以单帧实测图的匹配结果对飞行器进行定位的可靠性较低, 所以应该放弃本次匹配, 考虑用下一帧实测图重新进行匹配定位, 转 5); 反之, 如果各峰的融合特征中至少有两个峰的融合特征值相差较大, 超过 T_Δ , 则取 $V_{\text{fusion}(1)}, V_{\text{fusion}(2)}, \dots, V_{\text{fusion}(L)}$ 中最小的峰值点作为本次匹配的结果, 转 5)。

5) 结束。

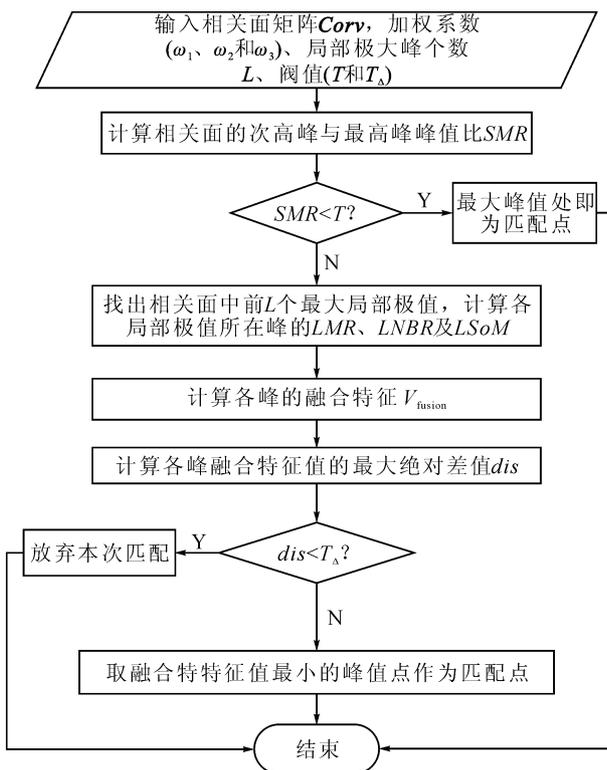


图 2 自适应景象匹配算法流程图

Fig. 2 Flow chart of adaptive scene matching algorithm

3 仿真实验与分析

为了检测本文所提的自适应景象匹配方法在剔除误匹配点方面的有效性, 以自适应极坐标变换匹配算法^[12]为例, 分别应用“最大峰值决策法”和本文图 2 的方法进行匹配实验, 并对实验结果进行比较分析。

3.1 实验参数的选择

1) 阈值 T : 阈值 T 是判断能否直接选用“最大

峰值决策法”的依据。在选择 T 值时, 应在不影响正确匹配概率的前提下使 T 尽可能大。

2) 影响因子 ω_1, ω_2 和 ω_3 : 在相关峰的三个特征量中, 峰相对高度 LMR 在匹配中占主导地位, 这是通过匹配方法进行实测图定位的前提。在描述峰尖锐程度的两个特征量中, 峰的 8 邻域峰值比 $LNBR$ 通常比峰的尖锐度 $LSoM$ 更有效^[13]。因此影响因子 ω_1 取值应最大, ω_2 和 ω_3 应依次减小。

3) 区分度阈值 T_Δ : 区分度阈值 T_Δ 若取得过大, 会有更多的实测图被弃用, 而若 T_Δ 取得过小, 则可能会在相关面上多个峰的峰值特征很接近时仍然进行匹配, 不能对误匹配点进行有效地剔除, 其值选取建立在实验的基础上。

4) 局部极大峰个数 L : 理论上 L 值越大, 匹配结果的可靠性越高, 但所消耗的时间也越多。通过大量的仿真实验, 峰值个数 L 取 3~5 即可, 若再增加 L 值则对匹配结果影响不大, 而实时性却受到一定的影响。

3.2 仿真实例

1) 实验 1: “最大峰值决策法”匹配实验

图 3 所示为实验所用的基准图, 其中(a)为可见光图像, (b)为红外图像, (c)为 SAR 图像。三幅基准图的大小均为 150×150 , 实测图大小均为 70×70 。

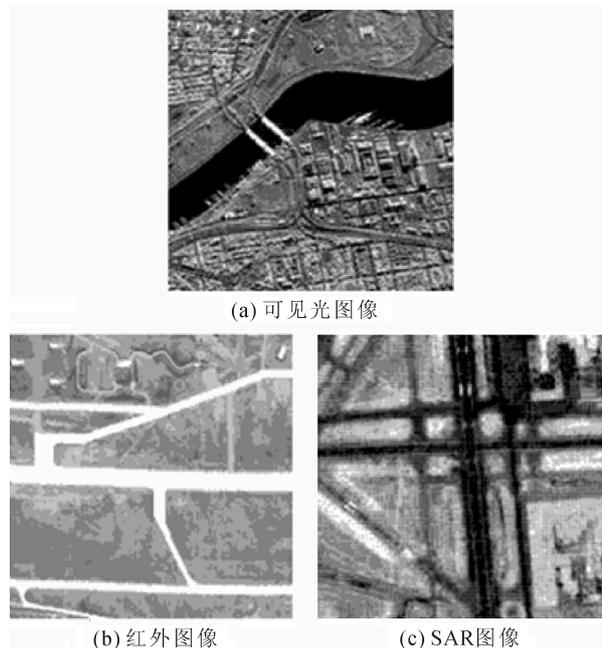


图 3 仿真用基准图

Fig. 3 Reference images for simulation

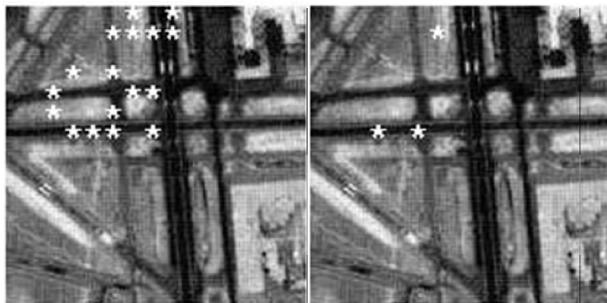
实验时, 从基准图上点(10,10)开始, 每 10 个像素(考虑到图像内部像素之间的相关性, 步长取 10 个像素较为合适)从基准图中截取一幅实测图大小

的基准子图,将该基准子图旋转 10 度,比例放大 1.1 倍(对于中等精度的惯导系统,在没有任何外部修正信息的情况下,其航向偏差将达到 $10^\circ/h$,而气压高度表的精度则相对较高,一般气压高度表的误差对尺度方面的影响仅在正负 1.1 倍左右^[14],本文以此为依据作为实测图可能发生的旋转及尺度变化),再以放大后的基准子图中心为实测图中心,截取与实测图大小相等的子图作为仿真用的实测图。可以算出,对于每幅基准图,共有 64 个实测图参与匹配。在三幅图上的匹配结果如表 1 所示。

表 1 “最大峰值决策法”匹配结果
Tab. 1 Matching results of “MPDM”

基准图	正确匹配数	错误匹配数	正确匹配概率
图 3(a)	47	17	0.734 4
图 3(b)	49	15	0.765 6
图 3(c)	40	24	0.625 0

因篇幅所限,在此只列出图 3 中在基准图(a)上匹配时发生误匹配的实测图的位置及坐标。误匹配实测图左上角点在基准图中的位置如图 4(a)所示(图中的 * 即为实测图左上角点位置),位置坐标分别为:(20, 50)、(20, 60)、(30, 40)、(30, 70)、(40, 70)、(50, 20)、(50, 40)、(50, 60)、(50, 70)、(60, 10)、(60, 20)、(60, 50)、(70, 20)、(70, 50)、(70, 70)、(80, 10)、(80, 20)。



(a) 最大峰值法误匹配位置 (b) 本文方法误匹配位置

图 4 可见光图像误匹配位置

Fig. 4 Mismatch points in visual image

2) 实验 2: 本文方法匹配实验

为与上述“最大峰值决策法”的仿真结果进行直接对比,本次实验采用与实验 1 相同的基准图和实测图,基本匹配算法仍选用自适应极坐标变换,仿真流程如图 2,具体实验参数设置为: $\omega_1 = 0.7$, $\omega_2 = 0.2$, $\omega_3 = 0.1$, 阈值 $T = 0.65$, 区分度阈值 $T_\Delta = 0.08$, 局部极大峰个数 $L = 3$ 。

本次实验的匹配结果如表 2 所示。其中的“相对正确匹配概率”定义为正确匹配次数与不包括弃用次数在内的总匹配次数的比值。

表 2 本文方法匹配结果
Tab. 2 Matching results of our method

基准图	正确匹配数	错误匹配数	弃用的匹配次数	相对正确匹配概率/%
图 3(a)	43	3	18	87.50
图 3(b)	43	5	16	89.58
图 3(c)	56	1	7	98.24

在图 3 基准图(a)的匹配实验中,发生错误匹配的实测图位置如图 4(b)所示(图中的 * 即为实测图左上角点位置),位置坐标分别为:(30, 70)、(50, 70)、(60, 20);弃用的实测图位置包括(20, 50)、(20, 60)、(30, 40)、(40, 10)、(40, 20)、(40, 50)、(40, 70)、(50, 20)、(50, 30)、(50, 60)、(60, 10)、(60, 30)、(60, 50)、(70, 20)、(70, 50)、(70, 70)、(80, 10)、(80, 20)。

通过对两次实验匹配结果进行分析,得到以下结论。

1) 凡本文匹配方法中发生错误匹配的实测图在“最大峰值决策法”中也出现了误匹配,也就是说,本文方法与“最大峰值决策法”相比并未引入新的误匹配点。

2) 本文方法中弃用的实测图中大多数是“最大峰值决策法”中出现误匹配的实测图,只有少数弃用的实测图在“最大峰值决策法”中仍可正确匹配。

3) 还有少数实测图在“最大峰值决策法”中发生误匹配而用本文方法仍可正确匹配。

总之本文方法虽然弃用了少数在“最大峰值决策法”中可以正确匹配的实测图,但剔除了“最大峰值决策法”中的多数误匹配点,同时新增了一些正确匹配点,使算法的相对正确匹配概率有了大幅提升。

4 结 语

在实测图发生畸变时,单纯以相关面最大峰值作为匹配依据常会产生错误的匹配结果,而以峰相对高度、8 邻域峰值比及峰尖锐度 3 个指标的融合结果作为匹配依据,通过引入合适的阈值,弃用那些容易发生误匹配的实测图,可以有效地剔除“最大峰值决策法”中的错误匹配点。将本文匹配算法应用在无人机景象匹配辅助导航系统中,可有效提高匹配算法的可靠性,增强无人机定位结果的可信度。另一方面,因为本文算法是在计算局部极大峰融合特征的基础上作出决策的,匹配算法的计算量有所增加,但整个匹配算法的计算复杂度没有明显增加,对匹配实时性的影响不大。

在对所提匹配方法进行仿真实验时,实验参数

的选择是在定性分析的基础上,通过大量匹配实验选取的。下一步将结合最优化理论与算法,研究各实验参数的最佳选取方案,以进一步提高本文算法的正确匹配概率。

参考文献:

- [1] 李竹林, 张根耀. 一种基于区域特征的景象匹配算法研究 [J]. 计算机应用研究, 2012, 29(9): 3578-3580.
LI Zhulin, ZHANG Genyao. Research of scene matching algorithm based on regions [J]. Application Research of Computers, 2012, 29(9): 3578-3580.
- [2] 刘中杰, 曹云峰, 庄丽葵, 等. 基于控制线方法的机载 SAR 和可见光图像匹配应用研究 [J]. 航空学报, 2013, 34(9): 2194-2201.
LIU Zhongjie, CAO Yunfeng, ZHUANG Likui, et al. Applied research on airborne SAR and optical image registration based on control line method [J]. ACTA Aeronautica ET Astronautica Sinica, 2013, 34(9): 2194-2201.
- [3] 符艳军, 张晓燕, 孙开锋. 一种抗图像模糊的快速景象匹配算法 [J]. 计算机科学, 2013, 40(12): 298-300.
FU Yanjun, ZHANG Xiaoyan, Sun Kaifeng. A fast scene matching algorithm resistant to image blur [J]. Computer Science, 2013, 40(12): 298-300.
- [4] 李天池, 张绍明, 何向晨, 等. 基于位置关系约束的 SAR 图像与光学图像匹配 [J]. 系统工程与电子技术, 2007, 29(6): 878-882.
LI Tianchi, ZHANG Shaoming, HE Xiangchen, et al. Matching SAR image to optical image with spatial relation constrain [J]. Systems Engineering and Electronics, 2007, 29(6): 878-882.
- [5] 张绍明, 陈鹰, 林怡. SAR 图像与光学图像多子区鲁棒匹配算法 [J]. 同济大学学报(自然科学版), 2009, 37(1): 121-125.
ZHANG Shaoming, CHEN Ying, LIN Yi. Robust algorithm of matching SAR Image to optical image using multiple subareas [J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2009, 37(1): 121-125.
- [6] 贾棋, 高新凯, 罗钟铨, 等. 基于几何关系约束的特征点匹配算法 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2015, 27(8): 1388-1397.
JIA Qi, GAO Xinkai, LUO Zhongxuan, et al. Feature points matching based on geometric constraints [J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2015, 27(8): 1388-1397.
- [7] 余建国, 徐仁桐, 陈宁. 基于 ORB 和改进 RANSAC 算法的图像拼接技术 [J]. 江苏科技大学学报(自然科学版), 2015, 29(2): 164-169.
SHE Jianguo, XU Rentong, CHEN Ning. Image stitching technology based on ORB and improved RANSAC algorithm [J]. Journal of Jiangsu University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2015, 29(2): 164-169.
- [8] 邓志鹏, 杨杰, 全勇. 结合特征和时空关联的稳健图像匹配方法 [J]. 红外与毫米波学报, 2003, 22(6): 447-450.
DENG Zhipeng, YANG Jie, QUAN Yong. The robust image registration method by combining feature and spatial-temporal correlation [J]. Journal Infrared Millimeter & Waves. 2003, 22(6): 447-450.
- [9] 王永明. N 帧连续景象匹配一致性决策算法 [J]. 计算机学报, 2005, 28(6): 1032-1035.
WANG Yongming. A consistent decision algorithm for N frames continuous scene matching [J]. Chinese Journal of Computers, 2005, 28(6): 1032-1035.
- [10] 黄锡山, 陈慧津, 陈哲. 景象匹配误匹配点的剔除算法 [J]. 中国图象图形学报 A 辑, 2002, 7(8): 783-787.
HUANG Xishan, CHEN Huijin, CHEN Zhe. Algorithms of eliminating the mismatching points in scene matching guidance system [J]. Journal of Image and Graphics, 2002, 7(8): 783-787.
- [11] 李明星. 景象匹配/惯性组合导航系统算法研究及仿真实现 [D]. 南京: 南京航空航天大学, 2008.
LI Mingxing. Algorithms research and simulation realization for scene matching/inertial integrated navigation system [D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2008.
- [12] 符艳军, 程咏梅, 潘泉, 等. 基于自适应极坐标变换的景象匹配算法 [J]. 西北工业大学学报, 2011, 29(5): 702-708.
FU Yanjun, CHENG Yongmei, PAN Quan, et al. Exploring an effective scene matching algorithm using adaptive polar transform(APT) [J]. Journal of Northwestern Polytechnical University, 2011, 29(5): 702-708.
- [13] 赵锋伟. 景象匹配算法、性能评估及其应用 [D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2002.
ZHAO Fengwei. Scene matching algorithms, performance evaluations and their application [D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2002.
- [14] 刘建业, 冷雪飞, 熊智, 等. 惯性组合导航系统的实时多级景象匹配算法 [J]. 航空学报, 2007, 28(6): 1401-1407.
LIU Jianye, LENG Xuefei, XIONG Zhi, et al. Real-time multi-level scene matching algorithm for inertial integrated navigation system [J]. Acta Aeronautica ET Astronautica Sinica [J]. 2007, 28(6): 1401-1407.

(责任编辑 王绪迪)