

景象匹配制导基准图选定准则研究^{*}

曹 菲, 杨小冈, 缪 栋, 张云鹏

(第二炮兵工程学院 303 教研室, 陕西 西安 710025)

摘 要: 系统地研究了一些图像可匹配性检验参数, 定义了图像的自匹配性能参数, 设计了该参数的计算方法, 进而提出一种新的基准图选定准则。[JP2] 基于理论分析与仿真实验, 指出了常用准则存在的局限性, 说明了本方法的优越性; 通过大量的基准图选定实验, 给出了特定条件下常用准则的门限值, 验证了该准则的有效性及其实用性。[JP]

关键词: 景象匹配; 基准图选定准则; 自匹配; 性能参数

中图法分类号: TP391. 4 文献标识码: A 文章编号: 1001-3695(2005)05-0137-03

Study on Reference Image Selection Roles for Scene Matching Guidance

CAO Fei, YANG Xiao-gang, MIAO Dong, ZHANG Yun-peng

(303 Section, the Second Artillery Engineering College, Xi an Shanxi 710025, China)

Abstract: Several image matching ability verification parameters are systematically studied. Image self-matching performance parameters are defined, and the calculation approach for the parameters is designed, more over, a new RISR is proposed. Based on theoretical analysis and simulation experiments, the limitations of the conventional RISR are pointed out and the advantages of the proposed RISR are indicated. According to massive reference image selection experiments, some thresholds of the conventional in specific condition are given, the practicability and efficiency of the proposed RISR is demonstrated.

Key words: Scene Matching; Reference Image Selection Role (RISR); Self-Matching; Performance Parameter

景象匹配制导是在航天技术、卫星应用技术、传感器技术、计算机技术、图像处理及模式识别的基础上发展起来的一门新技术, 它在飞机辅助导航、远程武器或精确制导武器系统如巡航导弹的末制导、图像目标的搜索与跟踪等军事领域具有重要的应用价值^[1]。景象匹配是指将两幅在不同时间或其他不同的环境条件下拍摄到的图像进行匹配, 以确定两者在位置或属性上的差异。通常将预存于匹配系统中的图像信息称为基准图, 而将系统工作时实时获取的图像称为实时图。在巡航导弹景象匹配末制导中, 基准图是导弹预定飞行航线末制导阶段(标区)的数字地图信息, 它来源于卫星照片或航空照片; 实时图则是当导弹飞经目标区时, 由机载传感器(CCD 像机) 实时获取正下方地面的景象特征。基准图的质量是决定景象匹配精度的重要因素之一。在基准图的制备过程中, 按照一定的要求或准则选取特征明显、信息量大、可匹配性高的数字地图作为制导基准图至关重要^[2]。文献[3] 给出了地形匹配制导基准图选定准则, 其思路对景象匹配制导 RISR 的研究有一定的参考意义; 文献[46] 分别提出了基于图像特征参数及图像自匹配数的景象匹配区选定方法, 重点对参数的定义及其与图像可匹配性的关系进行论述, 但并未给出最终的选定准则。

1 基准图选定准则研究

基准图的选定实质上是通过特定的参数对基准图匹配性能进行检验或分析, 进而选取匹配性能好的景象图(预选基准

图) 作为基准图。

1. 1 常用的可匹配性检验参数

可用于图像匹配性能检验的参数主要有图像方差、相关长度、独立像元数、相关峰特征、自匹配数等^[47]。图像的方差(Variance, Var) 反映了图像诸元素的离散程度和整个图像区域总的起伏程度。如果图像灰度分布是均匀的, 即非起伏的, 则图像方差小, 这样匹配算法就难以找到正确的匹配点。相关长度(Correlation Length) 定义为自相关系数 与二维坐标轴所围成的面积, 记为 L 。相关长度是有方向性的, 对于二维景象图, 一般求取水平和垂直两个方向的相关长度 L_h, L_v , 且认为图像数据中, 凡是行距超过 L_h 或列距超过 L_v 的两个像元是不相关的。对于二维图像, 通常定义独立像元数(Independent Pixel Number, IPN) 为 $IPN = (M/L_h) \times (N/L_v)$, 式中, M, N 分别为图像的行和列的像元数。独立像元数是灰度独立信息源的一种度量, 值越大, 信息量越大, 系统的匹配性能就越好。独立像元数从统计角度反映了实时图内包含的独立景物的多少, 直观而言, 如果实时图内包含有较多的能够明显分辨的景物, 该图匹配概率一般都较高。相关峰特征(Correlation Peak Feature) 与自匹配数(Self-Matching Number, SMN) 都是通过对图像的二维相关性进行检测而定义的, 从一定程度上刻画了预选基准图的全局匹配特性。相关峰越多, 自匹配系数越大, 或是有多个次高峰与最高峰差别较小, 均说明景象图中存在一个或多个相似区域, 用作基准图时越容易出现误匹配, 就不适于作匹配区。

1. 2 基于图像自匹配性能参数的基准图选定准则

以上一节给出的图像匹配性能分析参数作为基准图的选择准则具有一个共同特点: 都是基于对预选基准图自身特征参

数进行统计分析,并没有考虑景象匹配系统的实际工作环境及景象匹配算法的适应性问题。因为景象匹配一般是不同传感器之间的匹配,这样由于传感器类型的不同,图像获取时间、环境的不同,基准图与实时图必然存在一定差异。同时,不同的景象匹配算法对不同特征的基准图具有各自特定的适应性,若单纯地对预选基准图进行参数统计分析,并不能保证制导系统所使用的匹配算法达到较高的匹配概率。基于以上原因,我们提出了基于图像自匹配性能参数的景象匹配区选定准则。

1.2.1 参数概念定义

参照景象匹配算法性能参数的定义^[8,9],图像的自匹配性能参数可分为图像自匹配概率和图像自匹配误差。

(1) 图像自匹配概率(Self-Matching Probability, SMP) 。在预选基准图 X 中截取多个基准子图(最好是所有子图,但这样计算量太大,可以考虑随机选取)作为匹配运算中的实时图,其大小应与实际应用中的实时图一致;利用畸变模型对实时图进行处理,模拟产生噪声、灰度或几何等畸变,由此构成匹配仿真的景象图样本集;利用匹配算法对样本集中的每一个预选基准图 - 实时图对进行匹配仿真运算,记录正确匹配的次數及匹配误差。对任一预选基准图,用其正确匹配次数除以总的匹配次数,便得到匹配概率,定义为该图像的自匹配概率。

(2) 图像自匹配误差(Self-Matching Error, SME) 。依据匹配仿真结果中统计的单次匹配误差求出总的匹配误差,定义为该图像的自匹配误差,通常包括误差均值及误差方差。

基于图像匹配性能参数分析的准则是指:用确定的匹配算法对预选基准图进行匹配仿真实验,统计匹配概率与误差,对这些参数进行分析,进而判断预选基准图的可匹配性,从而选择具有高匹配性的预选基准图作为景象匹配区。

1.2.2 选定准则的实现

在实验室条件下,计算图像的自匹配性能参数的关键在于匹配试验环境的构建,即如何制备出容量大且与实际应用环境比较吻合的景象图样本集。应用传统的仿真匹配实验方法将耗费大量的人力、时间用于景象图样本集的建立及匹配实验的进行,要达到成千上万次匹配实验几乎不太可能,这样严重影响了参数计算的可靠性、可信度。因为从理论上讲,匹配仿真实验进行的次数越多,统计出的图像自匹配性能参数就越可靠、可信。结合实际应用,我们针对预选基准图,设计了两种计算机自动匹配仿真方案^[10],有效地计算出了图像的自匹配性能参数。依据不同的匹配仿真方案,图 1 给出了基于图像自匹配性能参数的景象匹配区选定方法流程。

在图 1 中,畸变模型是依据实际匹配中基准图与实时图的差异而确定的,这与所使用的图像特性有一定关系。目前用于巡航导弹景象匹配系统的主要是光学景象匹配。畸变模型一般包括由于成像时图像曝光不足或过度而引起的灰度畸变、由于云层遮挡或传感器镜头畸变而引起的噪声干扰以及由于图像传感器姿态的变化、地球曲率、地形起伏、摄像机焦距变动引起的几何失真等。图 1(a) 代表对预选基准图整体施加畸变时图像自匹配性能参数的计算流程,当仅考虑全局性的灰度或噪声畸变时,用此方案可大大提高匹配仿真的效率;图 1(b) 是对截取子图施加畸变,可以模拟实时图在获取过程中引入的噪声干扰,包括在灰度上与基准图的差异性以及因几何畸变而导致在坐标上与基准图的不一致。由于是对截取的每一幅基准子图施加畸变,因而仿真的时间较第一种方案长。考虑到图像内

部像素之间的相关性,我们一般是按照一定的步长在预选基准图中进行截取。步长是通过基准图与实时图的大小及总的匹配次数而确定的,根据研究的需求,步长取 1015 个像素较为合适。由图 1 可知,根据不同的预选基准图,可以计算得到不同的匹配性能参数。在相同条件下,计算出的匹配概率越高、匹配误差越小的预选基准图可匹配性越好。

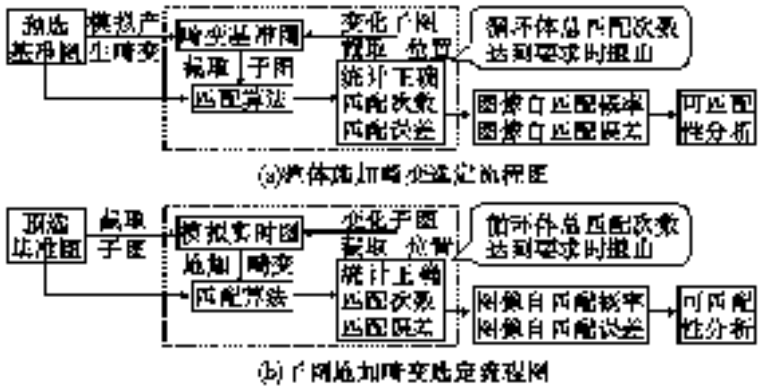


图 1 基准图可匹配性分析流程

2 基准图选定实验与结果分析

图 2 给出了几幅反映不同地貌特征的预选基准图(已按比例缩小),选归一化积相关算法(NPROD) ^[9] 作为匹配仿真的度量算法。对图 2 给出的各预选基准图施加全局性的灰度与噪声畸变(图 3)及局部的几何畸变,考虑到实际中影响较大的是几何旋转畸变,这里几何畸变取顺时针旋转 6°。计算第 1 节给出的各种基准图可匹配性度量参数(表 1)。

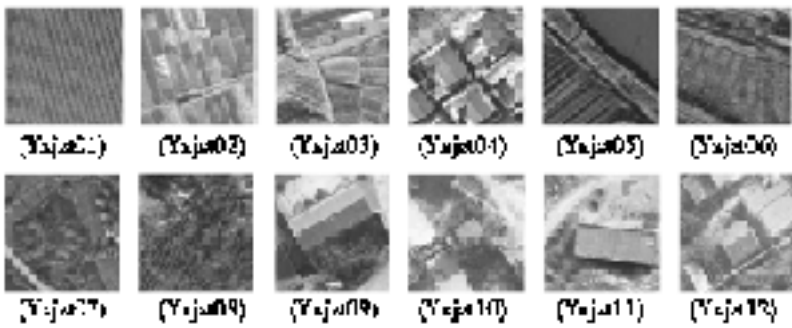


图 2 实验用图

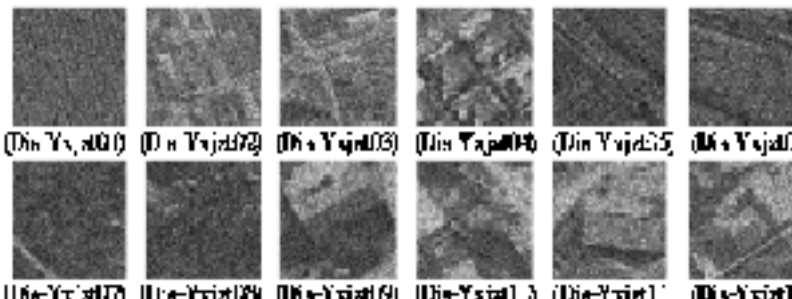


图 3 施加噪声与灰度畸变结果

表 1 参数计算结果

图像名	方差	相关长度(单位:像素)		独立 像元数	自匹 配数	自匹配概率	自匹配误差	
		横向(L_H)	纵向(L_V)				误差均值	误差方差
Yxjz01	169.16241	48.388813	45.432453	11	8186	22.314049	59.496723	2037.8177
Yxjz02	603.02216	37.790791	34.421612	19	828	96.694214	1.6942331	65.724625
Yxjz03	913.09186	33.432228	36.243591	21	38	99.173553	0.78487641	0.53272969
Yxjz04	1682.9733	33.217709	27.503649	28	34	99.173553	1.8882568	157.69923
Yxjz05	429.36395	23.49873	23.673517	46	430	14.049587	68.708649	1787.6743
Yxjz06	464.46039	25.304497	28.88313	35	653	64.462807	16.811949	683.39941
Yxjz07	489.45313	23.450686	25.329002	43	63	61.983471	26.090414	1418.2166
Yxjz08	533.07904	32.131187	26.353729	30	8	70.247932	22.130489	1265.3082
Yxjz09	2445.958	81.727501	65.880646	4	269	59.504131	24.594275	1426.4845
Yxjz10	2054.4485	56.604626	50.468616	8	236	90.909088	7.3551116	687.72888
Yxjz11	1560.3541	54.108589	49.065441	9	829	87.603302	5.0506482	185.93735
Yxjz12	1322.3502	45.609322	45.023384	12	319	98.347107	0.90621114	1.2779553

可以看出,本文提出的方法计算的图像自匹配性能参数可以真实地反映预选基准图的匹配性能。该准则的优点在于它也是对图像二维相关性能的检测,但由于引入了畸变模型,从而使匹配仿真更接近于实际应用背景;同时,用于检测的算法

是选择景象匹配系统中实际选用的匹配算法(其他如 AD, SSAD 以及类似于边缘匹配算法的基于图像特征的匹配算法^[1,9,10]),这样选择的景象匹配区更能体现该算法的适应性,增加了实际匹配的可靠性、可信度。

同时,由表 1 可知,各种参数在一定程度上均可实现对图像的可匹配性进行检验,但由于对图像描述的角度或方法不同,在一些情况下,由于预选基准图内部灰度分布的特殊性,导致对图像可匹配性检验的结果不一致。如预选基准图 Yxjzt05、Yxjzt06、Yxjzt07、Yxjzt08 方差较小,但其独立像元数却较大;而 Yxjzt09、Yxjzt10、Yxjzt11、Yxjzt12 方差较大,但其独立像元数较小。这是由于方差是对图像的整体灰度分布进行描述,而独立像元数是对图像内部像素间的差异度进行描述,因而当图像整体较暗或较亮且动态范围较小时,由于其局部灰度变化比较明显,计算出的方差虽小,但独立像元数也可能较大。同理,也可能产生方差非常大而独立像元素却较小的情况。

图像的自匹配数及自匹配性能参数虽然都是对图像的二维相关性进行描述,但由于自匹配数是完全基于预选基准图的自身灰度特征,它对于图像内局部灰度变化较为敏感。当图像内含有较大的相似块或较多的重复模式时,计算出的自匹配数就非常大,而在一定情况下这恰恰会忽略图像中的某些突出特征不易受灰度或噪声干扰的影响,如预选基准图 Yxjzt02 虽然自匹配数较大,但由于其内部边缘、纹理特征比较明显,对灰度、噪声等畸变干扰具有较强的抑制作用,因而它的自匹配概率很高,自匹配误差也较小。相反,某些预选基准图虽无相似块或重复模式较少且局部灰度变化较为明显,但由于其无突出的特征信息,整体差异性较差,如 Yxjzt08,这样计算出的自匹配数虽然小,但当增加畸变模型时,可能导致计算出的自匹配性能参数较差。在各种选定方案得到的结果不一致时,我们当然更倾向于接受可靠性好、可信度高的选定准则。图像的自匹配性能参数因其考虑到了景象匹配系统的实际工作环境及匹配算法的适应性,因而可作为基准图选定决策的最终依据。

3 结论

依据图像参数计算与分析,结合大量的基准图选定实验,我们可以得出以下结论:

- (1) 预选基准图的方差、相关长度及独立像元数在一定程度上可以对图像的可匹配性进行检测,而很多情况下,由于预选基准图内部灰度分布的特殊性,两者对图像可匹配性检验的结果不一致,因而基于方差的景象匹配区选定准则与基于相关长度(独立像元数)的景象匹配区选定准则只能作为匹配区选定的参考,而不能作为最终的依据。考虑到两者计算较为简单,一般用于减少匹配区的搜索范围,实现景象匹配区的粗略选定。
- (2) 相关峰特征、自匹配数、自匹配性能参数均是对图像的二维相关性进行检测,它们更全面地反映了图像的匹配性能,但其计算量较大,可以考虑在粗选的结果基础上实现匹配区的精确选定。
- (3) 依据大量的匹配区选定实验与分析,结合实际需求,表 2 初步给出了几种选定准则的门限值。

表 2 几种常用选定准则的门限值(图像来源:航空照片)

预选基准图大小	基于图像方差 (Var)	基于相关长度与独立像元数 (IPN)	基于图像自匹配数 (SMN)	基于图像自匹配性能参数 (SMP)
160 ×160	$VarT_0=850$	$IPNT_0=20$	$SMNT_0=50$	$SMP T_0=95\%$
256 ×256	$VarT_0=1500$	$IPNT_0=20$	$SMNT_0=200$	$SMP T_0=95\%$

表 2 中计算自匹配数时,门限 R_0 的取值为 0.99,几何旋转畸变为顺时针旋转 6°。需要指出的是,对于同一准则,若预选基准图大小不同、来源不同(卫星照片或航空照片)、分辨率不同,其门限值可能有一定的差别,如表 2 中图像的方差 Var、图像的独立像元数 IPN、图像的自匹配数 SMN,这是由于图像大小(像素点数目)变化时,按照这些参数的计算思路,其灰度值对参数的影响远远大于图像大小对参数的影响(见各参数的计算公式)。按照表 2 所给出的门限值,图 2 中预选基准图数据在选定准则下的结果如表 3 所示。

表 3 基于不同准则的选定结果

基准图选定准则	选定结果
基于图像方差	<i>Yxjzt03, Yxjzt12, Yxjzt11, Yxjzt04, Yxjzt10, Yxjzt09</i>
基于相关长度与独立像元数	<i>Yxjzt03, Yxjzt04, Yxjzt08, Yxjzt06, Yxjzt07, Yxjzt05</i>
基于图像自匹配数	<i>Yxjzt03, Yxjzt04, Yxjzt08</i>
基于图像自匹配性能参数	<i>Yxjzt02, Yxjzt12, Yxjzt04, Yxjzt03</i>

由表 3 中的数据可知,若综合考虑各选定准则,则最终的结果只有 Yxjzt03、Yxjzt04 满足各准则的条件,如表 3 中斜体所示。这说明用两幅图进行匹配时,若匹配算法是归一化积相关,则可以达到较高的匹配概率及精度,且对灰度、噪声干扰及几何旋转畸变均有一定的抑制作用。利用表 3 中所给出的选定准则的门限值,我们对已有的基准图数据源进行选定实验,获得了满意的选定结果,较好地保证了所选定的基准图具有较高的可匹配性。

- (4) 对于更为细致的门限分类及准则的适应性问题,由于时间及目前研究所使用的图像资源的限制,我们的研究还有待于进一步的深入和完善。
- (5) 考虑到各准则在某些情况下的不一致性,兼顾基准图选定的快速性与有效性,结合前面给出的各准则的门限值,采用粗选与精选相结合的分层选定方案将是以后研究的重点。

参考文献:

[1] in-Shou Tang. The Application of Correlation Matching Technique in Image Guidance[R] . NAIC-ID(RS) T-0382-96.

[2] 杨小冈. 面向景象匹配制导的图像预处理问题研究[D] . 西安: 第二炮兵工程学院, 2002.

[3] 李德华, 杨烂, 胡昌赤. 地形匹配区选择准则研究[J] . 华中理工大学学报, 1996, 24(2) : 7-8.

[4] 刘扬, 赵峰伟, 等. 景象匹配区选择方法研究[J] . 红外与激光工程, 2001, 30(3) : 168-170.

[5] 马龙, 缪栋, 沈绪榜. 基于图像自匹配性的景象匹配区的选定准则[J] . 上海航天, 2001, (1) : 50-54.

[6] 刘扬, 李兵, 等. 基于互相关峰特征的景象匹配性能预测方法[J] . 战术导弹技术, 2001, (3) : 54-57.

[7] 肖轶军, 丁明跃, 周成平. 基于捕获位置分布的导航参考图适配性分析及快速计算[J] . 红外与激光工程, 1999, 28(5) : 26-29.

[8] 陈朝阳, 张桂林, 郑云慧. 影像匹配算法的性能评估方法研究[J] . 红外与激光工程, 1998, 27(3) : 38-41.

[9] Tsai S X. Introduction to the Scene Matching Missile Guidance Technologies[R] . AD-A315 439/0/XAB, 1996.

[10] 杨小冈, 缪栋, 曹菲, 等. 景象匹配制导匹配仿真系统的设计与实现[C] . 2003 年全国系统仿真学术年会论文集, 2003. 446-451.

作者简介:

曹菲(1970-),女,陕西西安人,博士研究生,主要从事自动化测试、精确制导及图像分析等技术研究;杨小冈(1978-),男,陕西蓝田人,博士研究生,研究方向为精确制导及图像处理技术;缪栋(1940-),男,江苏常熟人,教授,博士生导师,从事航天器制导、控制与测试技术的研究。