

景象匹配区选取方法研究

刘中华^{1 2 3}, 王 晖¹, 陈宝国¹

(1. 空空导弹研究院, 河南 洛阳 471009;

2. 河南科技大学 电子信息工程学院, 河南 洛阳 471003;

3. 西安电子科技大学 陕西 西安 710000)

摘 要: 景象匹配定位是精确制导的重要技术, 随着武器系统日益精确化, 影响匹配制导精度的匹配区选择得到了广泛的关注。基于景象信息量、稳定性和区域唯一性对景象特征指标进行了分析研究, 讨论了各特征参数对匹配性能的影响; 给出了由粗到细的分层选取方案, 并对特征指标进行了量化; 提出了一种由粗到细的分层多尺度匹配区选取方法。实验结果表明该方法具有较大的抗鲁棒性, 能够在复杂基准图上有效地选取满足要求的景象匹配区。

关键词: 匹配区选取; 多尺度匹配区选取; 熵; 边缘密度

中图分类号: TP301

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2013)12-0128-06

doi: 10.3969/j.issn.1673-629X.2013.12.031

Research on Selection for Scene Matching Area

LIU Zhong-hua^{1 2 3}, WANG Hui¹, CHEN Bao-guo¹

(1. China Airborne Missile Academy, Luoyang 471009, China;

2. College of Electronic Information Engineering, Henan University of Science and Technology,

Luoyang 471003, China;

3. Xidian University, Xi'an 710000, China)

Abstract: Scene matching location is an important technique in precision control and guide system. The suitability of the scene matching area is very important in scene matching of the navigation of unmanned vehicle. Make a further study for the scene feature index based on scene information, stability and similarity, and systematically study the parameters which can affect the ability of scene matching. The coarse-to-fine scheme is given, and the feature index is quantified. A hierarchical and multi-scale selection method of matching area is proposed. The experimental results show that this method holds the capability of flexibility and selects the matching areas from complex reference image to satisfy the requirements of the system.

Key words: scene matching selection; multi-scale selection rule of scene matching area; entropy; edge density

0 引言

景象匹配定位系统的功能就是利用地物景象为惯导系统提供精确定位信息, 修正其经过长时间飞行所累积的误差, 引导飞行器到达预定目标。该系统的基本工作方式就是: 在飞行的过程中, 弹载相机实时拍摄的图像在一个已经预先得到的基准图上从左到右、从上到下依次搜索, 然后依据所选算法计算的结果, 确定最优匹配位置, 以产生把飞行器引向目标的控制指令^[1-2]。景象匹配是根据图像匹配技术来对导弹等飞行器精确定位的一种辅助导航技术, 由于其具有自主性强、末制导精度高, 且与航程无关等优势, 致使在导

航中有着非常广泛的应用。景象匹配区选取的准则是: 在预定飞行航迹上, 依据一定的准则或要求选取特征明显、信息量大、适配性好的区域作为匹配区。景象匹配区在景象匹配中占据重要地位, 不仅在景象匹配导航系统中起着关键作用, 并且也是景象匹配导航系统启动的先决条件, 匹配区选取的好坏直接关系到系统的整体匹配性能^[3-5]。

景象匹配区目前主要是依靠人工选取。然而, 人工选取匹配区工作量大, 速度慢, 尤其易受操作人的经验、专业等因素的影响, 一般不易找出客观的、满足要求的匹配区。近年来, 国内外学者围绕这个问题进行

收稿日期: 2013-02-28

修回日期: 2013-06-04

网络出版时间: 2013-09-29

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31201801); 河南省科技基金项目(102300410113); 空空导弹研究院创新基金

作者简介: 刘中华(1975-), 男, 博士后, 研究方向为图像处理、模式识别、精确制导。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20130929.1522.017.html>

了研究。文献[6]通过对图像统计特征指标的研究,提出了匹配区的选取准则。文献[7]从信息论的角度提出了基于信息熵的匹配区选取方法。在文献[8-9]中,作者在景象匹配区选取中把支持向量机方法引入到所提方法中,为匹配区的选取提供一种新的思路。文献[10]从匹配区的信息量、匹配区的稳定性以及匹配区内的重复模式三个方面提出了一种实用的匹配区选取方法。文献[11]针对实时图和基准图是异源的情况下,提出了一种基于图像边缘相似性特征的景象匹配区粗选加精选的选取准则。文献[12-14]对关于图像特征指标对景象匹配成功的概率和精度进行了评估。文献[14-17]是通过灰度方差、能量、相关长度、边缘密度、相关曲面、稳定性、自匹配系数等来选取图像匹配区。在这些文献所提的方法中,通常对匹配区的选取问题仅选取一个或几个图像特征指标进行分析,有的文献虽然对图像特征指标进行了分析,但没有给出量化的指标;有的文献没有对匹配区选取的全过程进行综合考虑;有的文献仅仅考虑在某一尺度上的匹配性能,从而导致了所选取的匹配区在某一尺度的图像上能够较好地匹配,而在其他不同尺度的同一幅图像上的匹配就不能满足要求。

基于以上分析,文中提出了一种基于多尺度的匹配区选取方法。首先通过全面详细地分析图像特征指标,选取稳定、有效的图像特征作为衡量匹配区的指标;其次,给出了由粗到细的景象匹配区选取方案,并给出了定量指标;第三,提出了多尺度的匹配区选取方法。实验结果表明,文中建议方法所选取的匹配区具有较高的鲁棒性,能够满足适配性要求。

1 图像特征指标的选取

景象适配性分析的定义是:对于给出的一块景象区域,根据对匹配定位系统性能的要求,事先对景象匹配系统中的景象匹配定位性能进行分析、评估,判断该区域是否能够作为景象匹配区。从图像的信息量、稳定性和自相似性三方面由粗到细地分析景象适配性。首先,景象匹配区要有足够的信息才能够匹配定位,这是选取的最基本要求。假如选择的景象匹配区是单一纹理的景象区域,如平坦的地面或沙漠地带,景象匹配辅助导航系统在这样的区域上很难准确定位。其次,在景象匹配过程中,由于获取两个匹配图像的成像方法、季节、光线强弱、时间等因素的不同,使得地面景象变化引起实时图和基准图间的差异是无法人为控制的。假若在匹配区中没有稳定、不变的地物,很可能造成匹配失败。因此,在图像中应选取一些地面景物相对稳定、不变的区域作为匹配区,确保实时图中的地面景象与基准图中的对应景象基本不变或变化不大。第

三,由于图像子块自相似性而致使匹配的相关曲面上有多个相关峰值存在,这也会对最后的匹配结果产生极大影响。因此,从匹配区的信息量、匹配区的稳定性以及匹配区的唯一性对匹配区选取准则进行了深入分析研究。

1.1 匹配区的信息量

可以采用图像方差、信息熵、独立像元数、边缘密度、累加梯度等来描述图像的信息量。

1) 图像方差。

图像方差通常是指图像的灰度方差,它是指图像中各像素点的灰度值相对于其灰度均值的偏离程度,反映了图像灰度整体的起伏变化程度。对于实时图和基准图来说,方差反映了景物图像围绕其灰度均值变化的平均动态范围。方差大,则表示以均值为中心的图像灰度波动就会较大,预示着其信息量也会较大。图像方差的定义为:

$$\text{Var} = \sqrt{\frac{1}{mn-1} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (f(i,j) - \bar{f})^2} \quad (1)$$

其中 f 表示一幅图像; \bar{f} 为图像的灰度均值; m 、 n 分别为图像的行、列像元数。

方差能够非常直观地对图像的信息含量进行反映,假若图像上的景物分布是均匀的,即地物特征差异不明显或地形起伏平缓,则图像方差小,说明图像的匹配性能差。

2) 相关长度与独立像元数。

图像相关长度是基于图像的灰度特征计算得到的,其能较好地描述图像内部灰度的相关性,其值由自相关系数确定。图像自相关系数定义为:

$$\rho(i) = \frac{\sum_{x=1}^{M_p} [S_p(x+i) - \overline{S_p(x+i)}] \times [S_p(x) - \overline{S_p(x)}]}{\sqrt{\sum_{x=1}^{M_p} [S_p(x+i) - \overline{S_p(x+i)}]^2} \sqrt{\sum_{x=1}^{M_p} [S_p(x) - \overline{S_p(x)}]^2}} \quad (2)$$

其中 M_p 表示图像扫描方向上的搜索宽度; $S_p(x)$ 是图像以 $(x, 0)$ 作为起点的扫描范围。图像的相关长度定义为当图像自相关系数 $\rho(i) = 1/e = 0.368$ 时所对应的位移增量 i 的值,并认为两个像元只要相隔长度为相关长度时就不相关。

独立像元数的定义是:

$$N = \frac{N_x}{L_x} \times \frac{N_y}{L_y} \quad (3)$$

其中 N_y 、 N_x 表示灰度图像在纵向和横向上的像元个数; L_y 、 L_x 分别表示相对于纵向和横向上的相关长度。

从统计角度上,独立像元数反映出实时图内所包

含的独立景物的多少,其值越大,就表明图像中独立景物多,其匹配成功的概率就会较高。

3) 信息熵^[7]。

根据 Shannon 信息论的定义,信息熵是影像不确定性的一种度量。例如,具有复杂景观的影像比均值影像具有更高的不确定性。信息熵计算公式为:

$$H_f = - \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N P_{ij} \log_2 P_{ij} \quad (4)$$

其中, M 、 N 分别为图像的行、列像元数; P_{ij} 是不同的灰度值在整个图像中出现的概率。

式(4)定义的图像熵是一种灰度特征的统计形式,反映了图像中平均信息量的多少。

4) 边缘密度。

边缘密度是判定图像中边缘特征分布是否密集的一个指标。例如,一幅图像中相对突出的边缘区,其边缘密度值较大;对于平滑区,边缘密度值较小,一个区域边缘数量的多少一定程度反映了该区域信息量的多少。因此,可用其代表影像的信息量。边缘密度(Edge Density Value, EDV) 定义为:

$$EDV = \frac{\sum \text{edge}}{m \times n} \quad (5)$$

其中, edge 指图像中的边缘数目。由实验可知,边缘密度相对正确地反映出了图像中信息量的多少。

从上面分析可知,对匹配区信息量的几个衡量指标中大部分是相一致的,不过也有些指标相差比较大,甚至是相反的,因此仅选取一个指标难以正确确定图像信息量的大小。由于图像方差和边缘密度相对其他几个指标来说,方法简单,且计算量相对较小,因此选取图像方差和边缘密度来联合衡量匹配区信息量的多少。

1.2 匹配区的稳定性

经过第一层的匹配区信息量的筛选所得到的满足要求的匹配区拥有丰富的信息,但这不足以说明所得到的匹配区就肯定能够满足景象匹配的要求。这是由于基准图和实时图可能是在不同时间、季节拍摄的,所选的匹配区应该包含稳定的地物,这样它才不会随着外界因素的变化而变化。稳定地物一般灰度变化比较大,而不稳定景物灰度变化平缓。匹配区稳定性可通过下面两种方法进行判断。

1) Frieden 灰度熵。

Frieden 灰度熵描述了图像灰度值的分布信息,当图像连续、清晰时,图像的信息量多,这时图像的 Frieden 熵小,当图像模糊不连续时图像的 Frieden 熵就大。因此它能够表示图像的清晰连续程度,其定义为:

$$H(f) = \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} p_{ij} e^{1-p_{ij}} \quad (6)$$

其中 f 表示大小是 $M \times N$ 的图像; $p_{ij} = f(i, j) / \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} f(i, j)$, $f(i, j) \geq 0$ 。

2) 边缘连续性。

人造目标通常具有完整的边缘,而自然景物经常具有细小、散布的边缘,因此边缘连续性能够在一定程度上反映该区域稳定景物的大小。边缘连续性 C 定义如下:

$$F(i, j) = E(i, j) \otimes \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$T(i, j) = \begin{cases} 1 & \text{if } E(i, j) = 1, F(i, j) > 3 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

$$C = \frac{\sum T(i, j)}{\sum E(i, j)} \quad (9)$$

其中 E 表示用 Canny 算子提取出来的二值边缘图像, \otimes 表示卷积运算。边缘连续性能够很好地度量图像边缘的完整性和连续性,其取值范围在 0 和 1 之间,其值接近 0 时表明图像中包含的边缘较少并且不完整,其值接近 1 时表明图像中包含的边缘较多并且完整。

由上面分析可知, Frieden 灰度熵和边缘连续性都能够较真实地反映出图中各子图是否包含稳定的地物,但是通过大量实验发现,当图像模糊不清楚时用 Frieden 灰度熵衡量要比用边缘连续性衡量效果好,因此,选取 Frieden 灰度熵来衡量匹配区稳定性。

1.3 匹配区的唯一性

由前面两层筛选出来的满足要求的匹配区具有丰富的信息且包含稳定的地物,其匹配成功率相对就较高,不过,假若在准图中包括两个或多个和匹配区非常相似的模式,就有可能造成错误匹配。重复模式的多少是衡量匹配区品质好坏的重要指标,因此,还要考虑重复模式,也就是说地物的唯一性问题。相关面就可以分析图像的匹配区唯一性,其是依据匹配图像每一位置的相似性测度来判断其是否包括重复模式,其定义为:

$$N_{\text{prod}} = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} (X - \bar{x})(Y - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} (X - \bar{x})^2 \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} (Y - \bar{y})^2}} \quad (10)$$

通常相关面表现为高低起伏分布,相关峰表示为局部最大值区域,其中,最高峰为相关峰中的最高峰值,其他的称为次高峰。如果最高峰与一个或多个次高峰差别比较小,表示在基准图中有一个或多个相似区域,从而增加了误匹配,降低了匹配的可信度。在相关峰中定义主次峰值比和邻域峰值比^[18],其具体定义

如下:

1) 主次峰值比。

$$SMR = V_{sub} / V_{max} \quad (11)$$

其中, V_{sub} 表示相关面上次最高峰对应的峰值; V_{max} 表示相关面上最高峰对应的峰值, 它表征的是次高峰对应的图像区域与实时图的相似程度。

2) 邻域峰值比。

$$NMR = V_{ngb} / V_{max} \quad (12)$$

其中, V_{ngb} 表示相关面上最高峰周围 8 邻域中最大值, 该值越小, 说明相关峰越尖锐。

通过大量的实验验证, 选取主次峰值比和最高峰 8 邻域峰值比来衡量匹配区的唯一性。

1.4 匹配区选择方案

通过上面对图像各个指标的分析研究以及大量的实验验证, 在基准图中选取与实时图大小相同的子图像, 计算其方差、边缘密度、Frieden 灰度熵、主次峰值比、最高峰 8 邻域峰值比, 保留满足所有指标的图像块, 下面给出了每个指标的阈值。

1) 方差。

$$Var \geq 25$$

2) 边缘密度。

$$D > 0.12$$

3) Frieden 灰度熵。

$$H < 15$$

4) 次高峰与最高峰之比。

$$SMR < 0.9$$

5) 最高峰 8 邻域峰值比。

$$NMR < 0.9$$

1.5 多尺度景象匹配区选取方法

为了增加景象匹配区选取方案的鲁棒性, 提出了多尺度景象匹配区选取方法。具体过程是: 在基于多种不同比例尺的基准图像上选取匹配区, 而实时图大小保持不变, 如果在不同比例尺下都可以得到满足要求的相同的匹配区, 其一定具有较强的鲁棒性。多尺度景象匹配区选取的算法是:

步骤 1: 获取具有比例尺为 i 的基准图像;

步骤 2: 从基准图中依次截取与实时图大小相等的子图像, 然后进行以下判断:

●如果方差不小于 25, 则进入下一步, 否则返回到第 2 步取下一个子图;

●如果边缘密度介于 0.12 和 0.165 之间, 则进入下一步, 否则返回到第 2 步取下一个子图;

●如果 Frieden 灰度熵小于 15, 则进入下一步, 否则返回到第 2 步取下一个子图;

●如果次高峰与最高峰之比小于 0.9, 则进入下一步, 否则返回到第 2 步取下一个子图;

●如果最高峰 8 邻域峰值比小于 0.9, 则进入下一步, 否则返回到第 2 步取下一个子图。

步骤 3: 对所有比例尺的基准图像都满足的匹配区即为所求得的匹配适配区。

2 实验验证与分析

2.1 匹配区选择仿真实验

根据景象目标建模的匹配区选择方案, 选择了几幅卫星图片作为基准图进行实验验证, 假定实时图大小是 32×32 像素, 从卫星图片中得到的匹配区选择结果如图 1 所示, 其中星号点表示所选择匹配区对应的中心点。

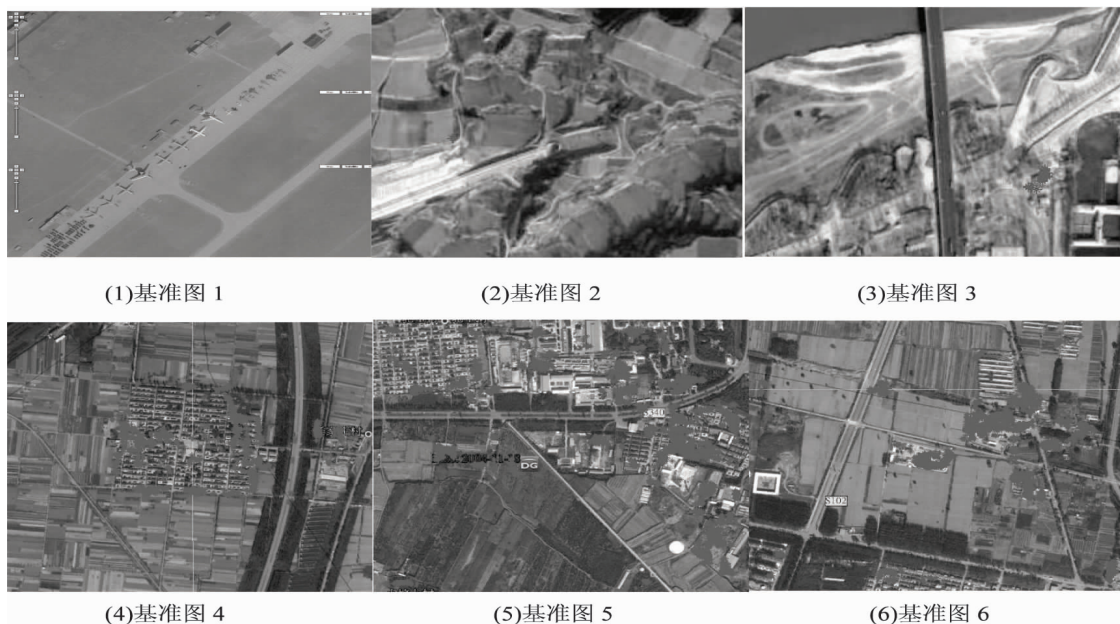


图 1 匹配区选择结果

由基准图像中匹配区的选择结果可知,根据景象匹配区选取准则所选的匹配区大都是信息丰富且包含稳定地物的特征丰富的地方。

2.2 多尺度匹配区选择仿真实验

根据多尺度景象匹配区选择算法,选择了几幅卫

星图片作为基准图且每幅图像有两种不同的比例尺(实时图大小仍是 32×32 像素),多尺度匹配区选择结果如图 2 所示。

其中星号点表示所选择匹配区对应的中心点。



图 2 多尺度匹配区选择结果

从所建议方法的选择结果可知,其选中的匹配区更为稳定,鲁棒性更强。

2.3 匹配区的检验

为了检验所选取的匹配区品质的好坏,分别以上面实验图像为基准图,从上面实验所选取的匹配区中随机选取几幅为模板图像,使用两种方法来检验所选取匹配区的鲁棒性,一是对模板图像添加了高斯噪声作为实时图,二是对模板图像添加不同的光照作为实时图。

(1) 图像噪声的仿真。

为匹配区添加均值是 0,方差 σ 为 0.01、0.05、0.1、0.15、0.2 的随机噪声产生的模拟实时图如图 3 所示,表 1 显示了匹配结果。

表 1 匹配区检验实验结果

基准图	畸变值	实时图	匹配位置	实际位置	是否匹配
图 1(1)	0.01	图 3(a1)	(231 297)	(231 297)	是
	0.05	图 3(a2)	(231 297)		是
	0.1	图 3(a3)	(231 297)		是
	0.15	图 3(a4)	(231 297)		是
	0.2	图 3(a5)	(231 297)		是
图 1(2)	0.01	图 3(b1)	(110 55)	(110 55)	是
	0.05	图 3(b2)	(110 55)		是
	0.1	图 3(b3)	(110 55)		是
	0.15	图 3(b4)	(110 55)		是
	0.2	图 3(b5)	(110 55)		是
图 1(3)	0.01	图 3(c1)	(160 231)	(160 231)	是
	0.5	图 3(c2)	(160 231)		是
	0.1	图 3(c3)	(160 231)		是
	0.15	图 3(c4)	(160 231)		是
	0.2	图 3(c5)	(160 231)		是

(2) 光照强度变化的仿真。

拍摄基准图与实时图的时间、天气的不同,都会造成光照强度的变化,表现为在基准图与实时图灰度值的变化。为模板图像添加不同的光照来模拟模板图像与基准图像灰度的差异。不同光照的实时图如图 4 所示,表 2 显示了匹配结果。

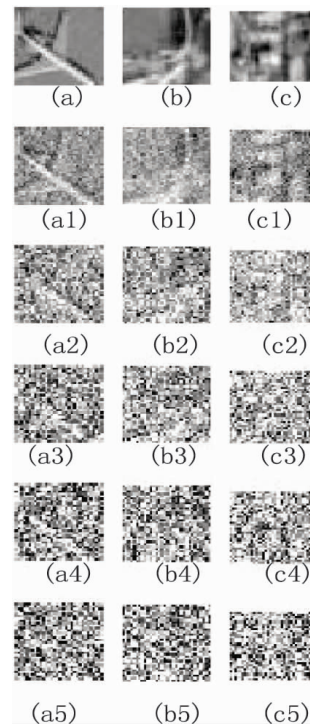


图 3 添加噪声的仿真用实时图

2.4 实验结果分析

从仿真结果可以看出,添加噪声后利用各种相似性度量匹配结果的误差都为 0,即使噪声添加到使图像人眼都分辨不出来,匹配误差仍然为 0,而光照强度的变化对匹配结果也没有影响,说明了所建议方法提

取的匹配区具有较强的鲁棒性。

表 2 匹配区检验实验结果

基准图	实时图	匹配位置	实际位置	是否匹配
图 1(4)	图 4(a1)	(119 ,306)	(119 ,306)	是
	图 4(a2)	(119 ,306)		是
	图 4(a3)	(119 ,306)		是
图 1(5)	图 4(b1)	(405 ,484)	(405 ,484)	是
	图 4(b2)	(405 ,484)		是
	图 4(b3)	(405 ,484)		是
图 1(6)	图 4(c1)	(110 ,171)	(110 ,171)	是
	图 4(c2)	(110 ,171)		是
	图 4(c3)	(110 ,171)		是

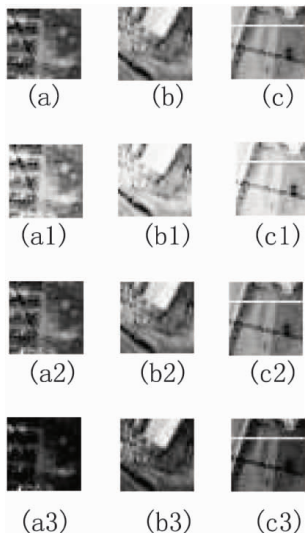


图 4 光照强度变化的仿真用实时图

3 结束语

依据景象匹配处理系统的要求 ,对图像统计特征、景象类型与匹配性能的关系进行了详细的研究 ,文中基于景象匹配区选取准则提出了一种多尺度景象匹配区选取方法。大量的实验表明了所提算法的实用性和可行性 ,为科学规划飞行器航线 ,实施目标有效的打击提供了保证。如果瞄准点所在的匹配区不满足匹配区选取方案 ,就不能对目标区进行有效的打击 ,对于这个问题 ,将是下一步研究的方向。

参考文献:

[1] Zhang Feizhou ,Zhang Ting ,Wan Chenxiu. Application of image matching technology based on sar image to integrated navigation system[C]//Proc of IEEE international conference on geoscience and remote sensing. [s. l.]: [s. n.],2005: 3952

3955.
[2] 李耀军 ,潘 泉 ,沈 贺 ,等. 无人机景象匹配辅助导航仿真系统设计与实现 [J]. 火力与指挥控制 2011 36(7) : 114 – 118.
[3] 符艳军 ,程咏梅 ,潘 泉 ,等. 快速的自适应景象匹配算法 [J]. 中国图象图形学报 2011 16(9) : 1637 – 1642.
[4] Wang L ,Zhao L. Research on selection rule of scene matching area [C]//Proc of the 7th world congress on intelligent control and automation. Yantai ,China: Elsevier Press 2008.
[5] 谭志园 ,孙继银 ,王 忠 ,等. 景象匹配算法研究进展与展望 [J]. 计算机技术与发展 2012 22(9) : 66 – 70.
[6] 秦 琴 ,宋绍京 ,冯荣达. 基于 TAPF 算法的匹配区选择方法研究 [J]. 半导体光电 2010 31(4) : 644 – 647.
[7] 张晓晨 ,付梦印. 基于信息熵的景象匹配区选取方法 [J]. 系统工程与电子技术 2011 33(5) : 1089 – 1093.
[8] Inglada J. Automatic recognition of man – made objects in high resolution optical remote sensing images by SVM classification of geometric image features [J]. Journal of photogrammetry and remote sensing 2007 62(3) : 236 – 248.
[9] 杨朝辉 ,陈映鹰. 基于支持向量机的景象匹配区选择方法 [J]. 同济大学学报(自然科学版) ,2009 37(5) : 690 – 695.
[10] 付文兴 ,王建民 ,金善良. 一种实用的景象匹配区选择方法 [J]. 宇航学报 2003 24(4) : 348 – 353.
[11] 孙卜郊 ,刘 扬 ,朱恒伟 ,等. 异类图匹配方法研究 [J]. 红外与激光工程 2008 37(Sup) : 646 – 650.
[12] Paclik P ,Novovicna J ,Duin R P W. A trainable similarity measure for image classification [C]//Proc of 18th international conference on pattern recognition. Hong Kong: Elsevier Press 2006: 391 – 394.
[13] 张国忠 ,沈林成 ,常文森 ,等. 互相关景象匹配系统的正确匹配概率研究 [J]. 宇航学报 2002 23(1) : 30 – 33.
[14] Mikolajczyk K ,Schmid C. A performance evaluation of local descriptors [J]. IEEE trans on pattern analysis and machine intelligence 2005 27(10) : 1615 – 1629.
[15] Wang S H ,Billinghurst M ,Kim W. Local descriptor by Zernike moments for real – time keypoint matching [C]//Proceedings of the international congress on image and signal processing (CISP2008) . Sanya ,China: Elsevier Press 2008: 781 – 785.
[16] 杨小冈 ,曹 菲 ,黄先祥 ,等. 景象匹配仿真中基准图的制备方法研究 [J]. 系统仿真学报 2010 22(4) : 850 – 852.
[17] Revaud J ,Lavou G ,Baskurt A. Improving Zernike moments comparison for optimal similarity and rotation angle retrieval [J]. IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence 2009 31(4) : 627 – 636.
[18] 王 莉 ,赵 龙. 基于模糊推理的景象匹配区选取方法 [J]. 中国惯性技术学报 2008 16(5) : 599 – 603.