

基于子图灰度比较的匹配模板选取算法

洪寒冰

(北京遥感设备研究所,北京 100854)

摘要:为降低图像匹配模板选取算法的时间复杂度,提出一种基于子图灰度比较编码的图像匹配模板选取算法。首先将子图等分为 2×2 子块,以子图及邻近区域的 4×4 子块的灰度比较关系为子图赋予一个编码;其次在所有子图编码中选取重复次数最少的编码对应的一个子图或若干个子图中图像方差最大者作为匹配模板。算法复杂度分析和仿真实验结果表明,该匹配模板选取算法在保证了一定的有效性的前提下,其时间复杂度优于若干常用匹配模板选取准则。

关键词:图像匹配;模板选取;灰度比较编码;时间复杂度

中图分类号:TP391 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2011.10.024

Image matching template selection algorithm based on sub-image gray scale comparison

HONG Han-bing

(Beijing Institute of Remote Sensing Equipment, Beijing 100854, China)

Abstract: In order to reduce the time of matching template selection, a novel algorithm based on sub-image coding by comparison of gray scale is presented. Firstly, every sub-image was divided into 2×2 blocks equally. Then, by comparing the gray scale of the 4×4 blocks including the sub-image and its neighborhood, an 80-bits-binary-code is given to this sub-image. The next step is to find out the least repeated code and chose the obverse sub-image or the sub-images with the highest image variance as the image matching template. Verified by time analyses and simulation experiments, the aforementioned algorithm has less time complexity than several commonly used algorithms.

Key words: image matching; template selection; coding by comparison of gray scale; time complexity

1 引言

图像匹配技术在导航、遥感、交通、医药等领域有着广泛的应用前景^[1-3]。图像匹配导航是指将两幅在不同时间拍摄到的图像进行匹配,通过计算图像的位置差异得到系统实时位置信息,从而进行导航的技术。通常将预存于系统中的图像信息称为基准图,而将系统实时获取的图像称为实时图^[4]。基准图的质量是决定图像匹配导航效果的重要因素之一,按照一定的要求或准则选取特征明显、信息量大、可匹配性高的照片作为基准

图至关重要^[5]。

对于常用的归一化互相关系数匹配算法或序贯相似性检测(SSDA)等优化算法,匹配算法的复杂度只与基准图的像元数相关^[6]。为控制算法的复杂度,保证匹配系统的实时性,需要从基准图中截取一定尺寸的子图作为匹配模板,对基准图的要求同样适用于匹配模板。目前匹配模板的选取多数由人工

作者简介:洪寒冰(1979-),男,工程师,硕士研究生,主要研究方向为图像匹配算法。E-mail:wittenfeld@vip.163.com

收稿日期:2011-03-19;修订日期:2011-06-07

完成,难以满足实际导航任务需要,研究匹配模板选取算法有助于提高图像匹配的实时性与准确性,具有重要的工程价值^[7]。

针对匹配模板选取准则,国内外的研究者做了大量工作,提出了一些实用的方法,常用的方法是根据子图的图像方差、相关长度、独立像元数、重复模式、自匹配系数等参数中的一个或数个作为匹配模板选取的准则,下面首先介绍这些常用的选取准则。

2 常用匹配模板选取准则

2.1 基于图像方差的选取准则

图像方差是图像各像素点的灰度相对于图像灰度均值的离散程度。若将实时图视为叠加了噪声的基准图,则实时图的信噪比可表示为基准图图像方差与叠加噪声方差之比,匹配模板的图像方差越大,则信噪比越高,相应的匹配概率也就越大,这是基于图像方差的选取准则的理论依据。

2.2 基于独立像元数的选取准则

独立像元数是一个估计值,它的定义建立在相关长度概念的基础上,相关长度的定义是自相关系数下降到 $1/e = 0.368$ 时的位移增量,认为图像上相隔相关长度的两个元素相互独立,则可将独立像元数定义为图像总长度与相关长度的比值。为提高独立像元数估计的准确度,本文采用文献[8]中的算法,在各行、列分别计算相关长度,使用相关长度的均值估计独立像元数。

独立像元数从统计角度反映了图像内包含的独立物体的多少,直观而言,如果匹配模板内包含有较多的能够明显分辨的物体,该模板匹配概率一般较高^[1],这是基于独立像元数的选取准则的理论依据。

2.3 基于自匹配系数的选取准则

为了引出自匹配系数,首先定义自匹配。对于基准图 X 与子图 $X(u, \nu)$,使用公式:

$$R_{pq}(u, \nu) = \frac{\sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} X(u+i, \nu+j) X(p+i, q+j)}{\sqrt{\sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} X^2(u+i, \nu+j)} \sqrt{\sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} X^2(p+i, q+j)}} \quad (1)$$

计算子图 $X(u, \nu)$ 与基准图任意位置 (p, q) 的归一化相关系数 $R_{pq}(u, \nu)$ 。当 $R_{pq}(u, \nu)$ 大于门限值 R_{th} 时,定义子图 $X(u, \nu)$ 与基准图在点 (p, q) 自匹配。定义总自匹配点数为子图 $X(u, \nu)$ 的自匹配系数 $Sel(u, \nu)$ 。

自匹配系数 Sel 从一定程度上刻画了预选子图

与基准图的全局二维相关特性,它在本质上与图像重复模式的内涵是一致的^[9],其值越大,用作匹配模板时越容易出现误匹配。因此,在基准图中选取自匹配系数最小的子图作为匹配模板,可减小误匹配概率。

2.4 几种准则的缺点

基于图像方差的选取准则反映的是子图区域的整体统计特征,对于图像细节没有反映,进行选取时通常会选择对比度强烈但景物较少的水岸、堤坝、高速公路等区域,误匹配的可能性大,匹配效果较差。

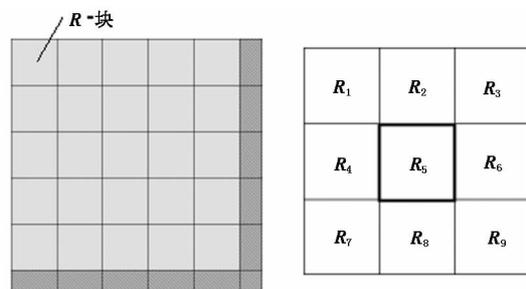
基于独立像元数的选取准则能够在一定程度上反映子图区域的直观特征,选择景物数量多的匹配模板有利于降低误匹配率。但当基准图的对比较低,匹配模板的尺度较小时,可能出现相关长度大于模板尺度,导致独立像元数计算失败的情况。此外,以上两种选取准则都只考虑了子图区域的局部特征,没有反映基准图的全局特征,当基准图有明显重复模式时易导致误匹配。

基于自匹配系数的选取准则实质上是将基准图当作实时图,模拟实际的相关匹配过程,由于与匹配算法结合紧密,模板选取的效果较好,特别是能够有效的降低误匹配率。但由于每一个子图都要进行全局的相关运算,算法的时间复杂度很大,效率不高。即使利用某些准则进行子图的预筛选,算法的时间复杂度仍然显著高于另两种准则。

3 基于子图灰度比较的选取算法

3.1 子图灰度比较编码

文献[10]提出了一种基于图像灰度值的编码表示方法,具体方法是:将图像分割为一定大小的子块,称为 R -块,计算每个 R -块的像素灰度之和。对于任一非边缘的 R -块,对其与邻近的 8 个 R -块按总灰度值进行排序,显然共有 $9! = 362880$ 种可能的顺序,每种顺序可对应唯一的 20 位二进制码,称为 R -块的局部灰度特征码。如图 1 所示。



(a) 图像分块

(b) R_5 及其邻近块

图 1 图像灰度编码

这种编码方法具有时间复杂度小、反映了邻近子图相互关系等优点。其主要的不足是：对图像预先分块，使模板无法在图像上逐点移动，相当于大大降低了图像分辨率；分块后可能使图像边缘残留（如图 1(a) 中的阴影部分）；编码对 R -块内部结构没有反映等。针对该编码方法的不足，本文对该方法进行改进，将图像分块细化，并使编码逐点化，提出了一种新的子图灰度比较编码的方法如下：

将子图 $X_{m \times n}(u, v)$ 等分为 2×2 个 $(m/2) \times (n/2)$ 子块（当 m 或 n 为奇数时，子块间有一行或列重合，不影响结果），并向子图的邻域扩张相应的一个子块，形成包含 4×4 个子块的区域，在此区域中共有 4 个包含 3×3 个子块的子区（记为 D ），每一个都包含原 $m \times n$ 子图，如图 2 所示。每个子区按前述方法获得 20 位局部灰度特征码，对 4 个子区的局部灰度特征码进行拼接，子图 $X_{m \times n}(u, v)$ 即可获得一个表征了其邻近区域的灰度分布特征的 80 位二进制编码。

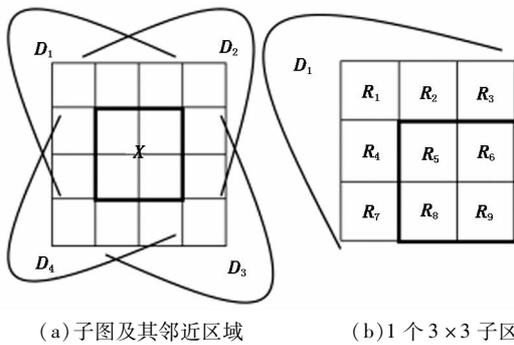


图 2 子图及其邻近区域的子块划分

3.2 模板选取准则和算法

基于子图灰度比较编码，本文提出了一种快速的匹配模板选取算法。对于给定基准图，除了靠近边缘的区域外，每一个子图 $X_{m \times n}(u, v)$ 都能够按上述方法获得一个编码。在所有编码中找出重复次数最少的编码对应的子图，作为选取的匹配模板，当相应子图有多个时，以图像方差准则进行二次筛选，取其中方差最大的子图作为匹配模板。模板选取算法的结构如图 3 所示。

这种模板选取准则的依据是：子图灰度比较编码反映了子图邻近区域的灰度变化趋势，是对图像内容的一种概括。由于真实景物的相关性，相似子图往往具有相似的邻近区域，本准则将邻近区域

相似子图排除，可以降低误匹配率。特别是匹配模板的尺寸较小时，由于子图灰度比较编码反映的图像内容更详细，本准则的效果更好。

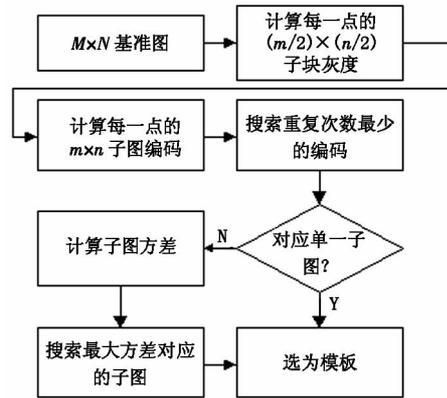


图 3 模板选取算法结构

3.3 算法的时间复杂度分析

假定需要从边长为 L 的基准图中选取边长为 l 的匹配模板，对比本文准则和 3 种常用准则的时间复杂度，结果如表 1 所示。

表 1 时间复杂度比较

	准则	乘法运算	加法运算	比较运算
子图局部	方差	$O(l^2)$	$O(l^2)$	-
	独立像元数	$O(l^3)$	$O(l^4)$	$O(l)$
	自匹配系数	$O(L^2 l^2)$	$O(L^2 l^2)$	$O(L^2)$
	本文准则	-	$O(l^2)$	-
图像全局	方差	$O(L^2 l^2)$	$O(L^2 l^2)$	$O(L^2)$
	独立像元数	$O(L^2 l^3)$	$O(L^2 l^3)$	$O(L^4 l)$
	自匹配系数	$O(L^4 l^2)$	$O(L^4 l^2)$	$O(L^4)$
	本文准则	$-^{(1)}$	$O(L^2 l^2)$	$O(L^5)$

注：(1) 由于可能需要二次筛选，实际的乘法运算数量会有所增加，但仍远少于方差准则。

从表 1 可见，本文准则所需的乘法运算远少于其他准则，由于乘法运算是影响算法时间复杂度的主要因素，该算法在时间复杂度上优于其他常用算法。

4 实验结果及分析

4.1 实验结果示例

为验证本文准则的有效性，选择若干真实卫星照片进行仿真实验，实验条件为： $L = 200, l = 16$ ，并以模板的自匹配系数 ($R_m = 0.98$) 作为模板选取效果的评价标准。实验结果示例如图 4、图 5 所示。实验结果如表 2 所示。

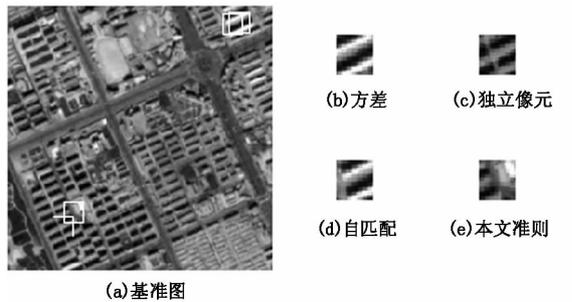


图4 模板选取实验 I

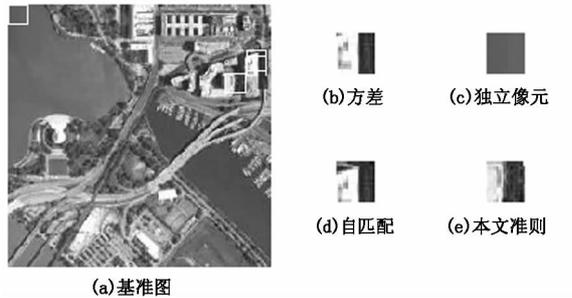


图5 模板选取实验 II

表2 实验结果

	准则	方差	独立像元	自匹配	本文准则
I	Sel	3	2	1	1
	耗时/s	49	511	17012	37
II	Sel	7	7848	1	3
	耗时/s	55	532	12974	34

注:仿真环境:MATLAB7.0, Windows xp, P4 2.8 G, 256 MB。实际耗时与系统后台软件运行情况有关,仅作为参考。

4.2 结果分析

以 $Sel \leq 5$ 作为模板选取成功的判断标准,对所有仿真实验的结果统计如表3所示。

表3 模板选取成功率

准则	方差	独立像元	自匹配	本文准则
成功率/%	58	65 ⁽¹⁾	100	73

注:(1)在独立像元数计算不成功的情况下选取(1,1)为匹配模板,仍有可能匹配成功,因此模板选取成功率高于独立像元数计算成功率。

从仿真实验的结果分析,按灰度比较准则选取匹配模板的算法运行时间最短。模板选取的效果优于方差准则。当独立像元数计算能够成功时,独立像元数准则的模板选取效果优于本文算法,但在实验条件下,有约42%的实验出现了独立像元数计算失败的情况,总体结果仍是本文准则较优。

4.3 本文准则的局限性

由于灰度比较编码只反映了子块灰度的相对关系,而对灰度差异程度没有体现,在处理总体对比度

较低的图像时,往往会忽视图像中的高对比度区域而选择景物不明显的子图作为匹配模板,影响匹配效果。

为克服这一局限性,在实际应用中需要为本文准则附加一定的限制条件。例如使用方差准则先对子图进行预筛选,排除信息量过低的子图,再利用本文准则从中选取匹配模板,可以有效地提高本文算法对不同图像的适应性。

5 结论

针对图像匹配对于匹配模板的要求,本文提出一种基于子图灰度比较编码的匹配模板选取准则,通过对子图像素灰度的求和、比较运算来估计子图间的相似性。仿真实验证明该准则能够在显著减小匹配模板选取算法时间复杂度的同时保证一定的模板选取效果,在对算法实时性要求较高的系统中有一定的应用价值。

参考文献:

- [1] Wang Gang, Duan Xiaojun, Wang Zhengming. Research on acquisition probability and matching precision of scene matching systems based on area correlation of the image [J]. Journal of Astronautics, 2009, 30(3): 1237 - 1242, 1286. (in Chinese)
王刚,段晓君,王正明. 基于图像区域相关的景象匹配概率与精度研究[J]. 宇航学报, 2009, 30(3): 1237 - 1242, 1286.
- [2] Ji Hua, Han Guangliang, Chen Xiaolin, et al. Study on scene matching algorithm based on MSA histogram [J]. Laser & Infrared, 2009, 39(7): 788 - 792. (in Chinese)
纪华,韩广良,陈小林,等. 基于MSA直方图的景象匹配算法研究[J]. 激光与红外, 2009, 39(7): 788 - 792.
- [3] Zeng Jing, Huang Zili, Wang Xuemei, et al. Research of target's angle and scale detection based on correlation matching algorithm [J]. Laser & Infrared, 2010, 40(3): 319 - 324. (in Chinese)
曾晶,黄自力,王雪梅,等. 基于相关匹配算法的目标角度和尺度检测研究[J]. 激光与红外, 2010, 40(3): 319 - 324.
- [4] Cao Fei, Yang Xiaogang, Miao Dong, et al. Study on reference image selection roles for scene matching guidance [J]. Application Research of Computers, 2005, (5): 137 - 139. (in Chinese)
曹菲,杨小冈,缪栋,等. 景象匹配制导基准图选定准则研究[J]. 计算机应用研究, 2005, (5): 137 - 139.

- [5] Yang Xiaogang. Research on problem of image pre-processing in scene matching guidance[D]. Xi'an: The Second Artillery Engineering College, 2002. (in Chinese)
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.
- [6] Barnea E I, Silverman H F. A class of algorithms for fast digital image registration[J]. IEEE Transactions on Computers, 1972, C-21 (Feb): 179-186.
- [7] Yang Zhaohui, Chen Yingying. Support vector machine for scene matching area selection[J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2009, 37 (5): 690-695. (in Chinese)
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.
- [8] Wang Gang, Ni Wei, Duan Xiaojun, et al. A method for precision analysis of scene matching based on independent pixel calculation[J]. Journal of Astronautics, 2007, 28 (6): 1698-1703. (in Chinese)
王刚, 倪伟, 段晓君, 等. 基于独立像元数计算的景象匹配精度分析方法[J]. 宇航学报, 2007, 28 (6): 1698-1703.
- [9] Li Xuhui, Li Junshan, Jiao Kang. On a selection criterion of scene matching field based on edge density and self-matching coefficient[J]. Electronics Optics & Control, 2007, 14(5): 82-85. (in Chinese)
李旭辉, 李俊山, 焦康. 一种基于边缘密度与自匹配系数的匹配区选取准则[J]. 电光与控制, 2007, 14(5): 82-85.
- [10] Li Qiang, Zhang Bo. A fast matching algorithm based on image gray value[J]. Journal of Software, 2006, 17(2): 216-222. (in Chinese)
李强, 张钹. 一种基于图像灰度的快速匹配算法[J]. 软件学报, 2006, 17(2): 216-222.