

空域和频域相结合的景象匹配算法

高世海 戴文刚 田 仲

(第二炮兵工程学院 101 教研室, 西安 710025)

摘要 针对数字景象匹配中采用单一算法所存在的问题, 提出了采用归一化积相关和相位相关二者结合的复合匹配算法, 实现了优势互补, 有效地提高了数字景象匹配的概率和精度. 为了进一步改善匹配性能, 还运用侧抑制竞争技术提取图象边缘, 采用适当降低分辨率的策略来提高运算速度, 使其更接近实际工程应用. 仿真证明, 该方案较为成功.

关键词 景象匹配 归一化积相关 相位相关 侧抑制竞争

中图分类号: TP751.1 **文献标识码:** B **文章编号:** 1006-8961(2000)04-0345-04

Hybrid Image Registration Algorithm of Space Domain and Frequency Domain

GAO Shi-hai, DAI Wen-gang, TIAN Zhong

(101 Section, The Second Artillery Institute of Engineering College, Xi'an 710025)

Abstract To resolve the problems existed in unitary algorithm for digital image registration, a hybrid algorithm combining unitized product and phase correlations is put forward. It upgrades the registration probability efficiently. To improve probability and speed of registration more, side-constraint-competition is used to constraint the edge of image in the paper, and reduction of resolution is taken to decrease calculation scale and increase speed of registration. Simulation shows that the algorithm is successful and practical.

Keywords Image registration, Unitized product correlation, Phase correlation, Side-constraint-competition

0 引言

数字景象匹配系统可辅助提高惯导系统的制导精度. 该系统是依靠机载摄像机实时拍摄地面的景物图象, 生成实时图, 并同预先由侦察卫星(或无人机)拍摄处理并存储在机载计算机里的地面景物参考图象进行匹配, 实时确定飞行器的精确位置, 为惯导系统提供纠偏信号, 来进行精确定位. 因此, 图象匹配概率和定位精度是景象匹配最重要的技术指标. 但是, 由于飞行中机载摄像机实时拍摄的地面景物图象与机上计算机所存储的参考图象存在如下差异^[1]:

(1) 参考图和实时图可能来自不同的传感器, 而不同的成像机理, 将会导致实时图象与参考图象产生差异.

(2) 即使是同类传感器所拍摄的景物图象, 由

于环境和成像条件差异, 如参考图和实时图拍摄的季节、天候、时间等自然条件变化及传感器噪声和拍摄的视角、距离不同, 也会引起图象变化.

(3) 目标的复杂性及各种干扰因素的影响.

以上差异, 将会导致图象透视失真, 旋转失真、比例失真、平移失真, 甚至局部灰度反转等. 因此, 采用常规单一算法进行景象匹配, 不仅运算量大、匹配概率低, 而且对计算机的要求也高. 本文采用空域归一化积相关和频域相位相关相结合的两级复合匹配算法, 较好地解决了这一问题.

1 图象的预处理

图象边缘是图象中相对稳定的信息, 它受外界条件的影晌相对较小. 为了提高图象的匹配概率, 首先应对实时图象边缘进行增强. 由于基于侧抑制竞

争原理的图象边缘特征提取方法,模型简单,便于实时提取边缘,而且,提取的图象边缘不变形,克服了一些常规方法存在的不足.为此,本文采用基于侧抑制竞争的方法来提取图象边缘.

该方法首先需建立图象网络结构,使每个象素与它周围的八个象素相联系,再计算该象素的抑制竞争系数.其象素抑制竞争系数可由下式计算^[2]:

$$q[i][j] = p[i][j] - \alpha \times \left| \sum_{m=-1}^1 \sum_{n=-1}^1 p[i+m][j+n] - p[i][j] \right| \quad (1)$$

式中, $p[i][j]$ 是点 (i, j) 的灰度值; $q[i][j]$ 是点 (i, j) 的抑制竞争系数; α 是侧抑制系数.通常 α 取值为 $0.125 < \alpha < 0.150$, 本文选 $\alpha = 0.133$. 将 α 值代入下式, 提取图象边缘特征:

$$p[i][j] = \begin{cases} 255 & q[i][j] \geq 0 \\ 0 & q[i][j] < 0 \end{cases} \quad (2)$$

式中, $p[i][j]$ 是竞争后 (i, j) 点的灰度值, “255” 表示边缘, “0” 表示非边缘. 竞争胜利时, $q[i][j] \geq 0$; 失败时, $q[i][j] < 0$. 在实际匹配中, 需将图象边缘的灰度设置为 0, 非边缘部分则保持不变, 这样可以提高归一化相关的信噪比, 从而提高匹配概率.

2 归一化积相关匹配算法

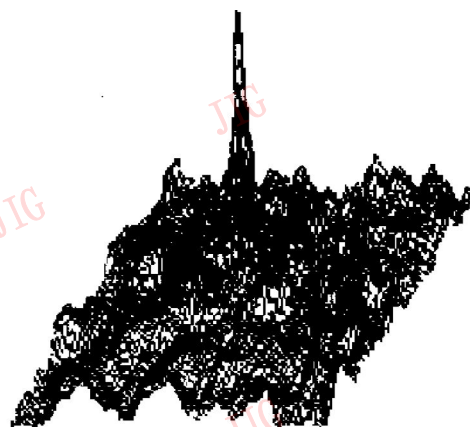
归一化积相关匹配算法是一种空域法算法, 它具有算法实现简单、抗白噪声干扰能力强等优点, 但其性能与信噪比及实时图的大小等因素密切相关. 一般来说, 信噪比越高, 正确匹配概率越高, 定位精度越高; 在搜索区大小一定的情况下, 实时图越大, 定位精度和匹配概率越高. 设存储在机载计算机中的原始参考图的大小为 $M \times N$, 实时图的大小为 $m \times n$, 并假定 $m < M, n < N$, 则该算法的度量函数定义为^[3]

$$\rho(u, v) = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X(i+u, j+v)Y(i, j)}{\sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X^2(i+u, j+v)} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n Y^2(i, j)}} \quad (3)$$

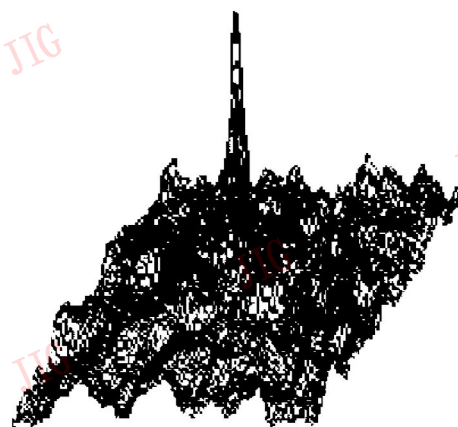
式中, $\rho(u, v)$ 是度量函数位置偏移为 (u, v) 时的匹配度量值, 并且有 $0 \leq |u| \leq M - m, 0 \leq |v| \leq N - n$; $Y(i, j)$ 为实时图数据; $X(i+u, j+v)$ 为任意一个和实时图偏移了 (u, v) 基准子图的数据.

图 1 给出了两幅景物图象的归一化积相关平面, 参考图的大小为 256×256 象素, 实时图的大小

为 64×64 象素. 图 1(a) 是未经边缘增强的相关平面, 图 1(b) 是经边缘增强的相关平面.



(a) 信噪比: SNR= 11.966



(b) 信噪比: SNR= 13.550

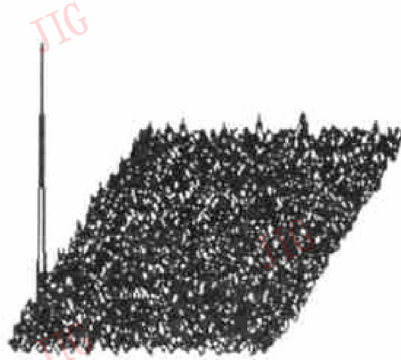
图 1 两幅景物图象的归一化积相关平面

通过两幅景物图象的归一化积相关平面峰值检测, 可以求出图 2 的匹配结果, 图 2(a) 的匹配结果是 $(71, 163)$, 其中图 2(b) 的匹配结果是 $(71, 140)$. 经验证, 图 2(a) 的检测结果是错误的, 而图 2(b) 的匹配结果是正确的. 可见, 信噪比对该算法的影响之大.



(a)

(b)



(c)

图 2 两幅图象及其相位相关平面

3 相位相关匹配算法

相位相关技术是一种非线性、基于傅氏功率谱的频域相关技术,由于采用该方法只取互功率谱中的相位信息,因而减少了对图象内容的依赖性,而且所获得的相关峰尖锐突出,因此,位移检测范围较大,有很高的匹配精度.另外,相位相关技术对图象灰度依赖较小,具有一定抗干扰能力,已成为一种重要的频域匹配方法.

设 $r(x, y)$ 为参考图象, $s(x, y)$ 为仅存在位移变化的实测图象,其位移值为 (x_0, y_0) , $R(u, v)$ 和 $S(u, v)$ 分别为 $r(x, y)$ 和 $s(x, y)$ 的傅氏变换,*为共轭符号,则有^[4]

$$s(x, y) = r(x - x_0, y - y_0)$$

$$\frac{S(u, v)}{R(u, v)} = \frac{R(u, v)^* \times S(u, v)}{|R(u, v)^* \times S(u, v)|} = \exp(-j2\pi(ux_0 + vy_0)) \quad (4)$$

现以一实例说明匹配原理:

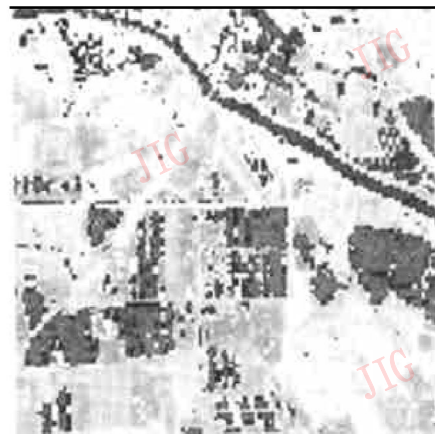
在图2中,图2(a)和图2(b)是从同一幅航片中截取的两块大小为 64×64 象素区域,图2(b)的图象相对于图2(a)有一定的位移,图2(c)是两幅图象的相位相关平面.图2(c)中峰值所在的位置即为图2(b)相对于图2(a)的位移.可见,该方法可以实现两幅景物图象相对位置的位移检测.

4 复合匹配算法

为了降低多种景象特征及外界条件的影响,改善图象的匹配性能,本文将以上两种算法复合,分别用于粗匹配和精匹配,从而实现了优势互补.



(a) 航片



(b) 模拟卫片

图3 模拟参考图与实时图

4.1 粗匹配

粗匹配仅用于粗略地估计实时图与参考图之间匹配点的位置,因而匹配速度是主要的,精度要求可适当降低,故本文采用了归一化积(Nprod)相关算法.首先,将参考图和实时图同时降低一倍分辨率,再进行归一化积相关,然后在相关平面上,搜索出所有的局部峰值,再将这些局部峰值进行排序,若最大的与次大的局部峰值相差较大,则判定粗匹配点在最大峰值处.否则,在参考图中每一个局部峰值处取出一个与实时图大小相同的区域,将这样的区域与实时图进行相位相关,若在某峰值点处所取出的区域与实时图的相关信噪比最大,则选择该点为粗匹配点.

4.2 精匹配

由于粗匹配中计算出来的匹配点只是粗略的,为了将精匹配点找出来,就在参考图中的粗匹配点处取一个与实时图大小相同的区域,用相位相关匹配算法计算出实时图象对于该区域的位移,然后与粗匹配点在参考图中的位置相加,即可得到精匹配点的位置,从而实现了精确定位.

5 匹配仿真及结论

为了检验本算法的匹配效果,笔者在“奔腾”233 PC机上,用Visual C++ 5.0 for Windows 95环境进行仿真.为方便起见,首先选取大小为 256×256 象素、256灰度级的航片(图3(a)),将其分辨率降低一倍,再加上方差为36的高斯噪声,进行 3×3 模板的加权平均,制成模拟卫片,作为参考图(图3(b));然后,在航片中,随意截取一个大小 64×64 象素为的区域作为实时图,将实时图和参考图分别按平均

表1 仿真结果

匹配算法	匹配概率 (%)	X 方向匹配误差的均值	Y 方向匹配误差的均值	X 方向匹配误差的方差	Y 方向匹配误差的方差	时间(s)
MAD	71	5.76	5.34	993.217 54	963.372 86	24
NPROD	80	- 5.33	- 4.61	854.547 77	764.386 49	45
本文算法	98	- 0.32	0.48	12.452 46	39.866 54	5

绝对差算法(MAD)、归一化积相关算法(NPROD)和本文提出的算法进行匹配仿真,各进行100次,取均值,其计算结果如表1.

取100幅图象采用同法进行仿真,其结果与表1基本吻合.

从结果可以看出,本文所提出的方法有很高的匹配概率和匹配精度,匹配速度也较通常算法有很大提高.如果将算法中傅氏变换的运算采用专门的集成电路芯片实现,则运算速度还会进一步提高,有望满足系统的实时性要求.可见,该算法具有较好的应用前景.

参 考 文 献

- 1 张桂林,徐捷,邓云慧. 频域相关技术在图象匹配中的应用. 模式识别与人工智能(PR&AD), 1997, 10(1): 87~ 92.
- 2 何世春. 侧抑制竞争网络的理论与应用研究[博士论文]. 西安: 西北工业大学, 1994. 9
- 3 苏康,关世义. 一种实用的归一化互相关景象匹配算法. 宇航学报, 1997, 18(3): 1~ 7.
- 4 Kuglin C D, Blumenthal A F, Pearson J J. Map-matching techniques for terminal guidance using Fourier phase information. SPIE Digital Processing of Aerial Images. 1979. 186: 21~ 22.



高世海 教授, 1964年毕业于炮兵技术学院自动控制专业, 发表学术论文54篇, 获国家、军队科技进步和教学成果奖多项. 主要研究方向为组合制导、自动化计量测试、图象图形处理等.



戴文刚 硕士, 1996年毕业于炮兵工程学院自动控制专业, 1999年3月获信号与信息处理专业工学硕士学位. 主要研究方向是精确制导技术、图象图形处理. 已发表学术论文4篇.



田仲 1996年毕业于炮兵工程学院计算机专业, 为该校信号与信息处理专业硕士研究生. 主要研究方向是精确制导技术、图象图形处理. 已发表学术论文3篇.