

相位相关法实现图像拼接的仿真与优化

方俊伟 翟超 金熠

(中国科学技术大学精密机械与精密仪器系 安徽 合肥 230027)

摘要 相位相关算法是目前应用最广泛的图像匹配算法之一,基于频域分析快速实现包含平移、旋转、缩放关系的图像之间的自动拼接。对该算法作了全面细致的仿真实验,总结了纯平移图像匹配的各方面特性,提出对旋转图像按照一定规则进行极坐标变换,使旋转放缩量具备平移特性,降低了噪音影响,大大提高了算法的可行性。

关键词 相位相关 图像拼接 图像匹配 仿真

SIMULATION AND OPTIMIZATION OF PHASE CORRELATION ALGORITHM IN IMAGE MOSAICS

Fang Junwei Zhai Chao Jin Yi

(Department of Precision Machinery and Precision Instrumentation, University of Science and Technology of China, Hefei 230027, Anhui, China)

Abstract Phase Correlation Algorithm (PCA) is widely used as image matching method. Based on analyses of frequency spectrum, PCA automatically stitches images with relationships of shift, rotation and zoom. The course of PCA is simulated, and the character of PCA for shifted images is deduced. Furthermore, the particular rules for polar coordinate transform of rotated and zoomed images are advanced, making noise depressed and the feasibility of the algorithm greatly increased.

Keywords Phase correlation algorithm Image mosaics Image matching Simulation

0 引言

图像拼接在基于数字图像的绘制、测量、视频检索、景物匹配等领域有着广泛的应用,其关键技术在于图像匹配过程。相位相关算法是一种基于频谱分析的对齐方法,具有场景无关性、受几何失真影响小、噪音容忍度高、优化结果允许在恶劣条件下只作为匹配参考等优点。

1 相位相关法原理

设两幅离散图像 $f_1(x, y)$ 和 $f_2(x', y')$ 之间有坐标转换关系如下:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_0 & \sin\theta_0 \\ -\sin\theta_0 & \cos\theta_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \end{bmatrix}$$

其中 θ_0 表示旋转量, (x_0, y_0) 表示平移量。两者均作傅立叶变换得:

$$F_2(\zeta, \eta) = F_1(\zeta \cos\theta_0 + \eta \sin\theta_0, -\zeta \sin\theta_0 + \eta \cos\theta_0) e^{-j[\zeta \cos\theta_0 + \eta \sin\theta_0]x_0 + [-\zeta \sin\theta_0 + \eta \cos\theta_0]y_0}$$

可见,空域中的平移在频域中只反映在相位变化,空域中的旋转量可由频谱的幅度确定,如果将频谱幅度图像(以下直接称为频谱)从笛卡尔坐标系 $y-x$ 极坐标化成 $\rho-\theta$ 图,即:

$$\text{mod}(F_2(\zeta, \eta)) \rightarrow P_{\text{mod } 2}(\rho, \theta)$$

$$\text{mod}(F_1(\zeta, \eta)) \rightarrow P_{\text{mod } 1}(\rho, \theta - \theta_0)$$

其中 $\rho = \sqrt{\zeta^2 + \eta^2}$, $\theta = \arctan(\zeta/\eta)$ 。

则频谱的旋转量转化为 θ 坐标方向的平移量,频谱的放缩量转化为 ρ 坐标方向的平移量。对于放缩图像,设源图放缩率

为 τ ,则频谱图中放缩量为 $1/\tau$,极坐标图中 $1/\tau$ 同样可由 ρ 方向偏移像素量计算得到。故纯平移相位相关检测即可求解纯平移量 (x_0, y_0) 、旋转量 θ_0 和放缩量 τ ,设图像 $f_1(x, y)$ 和 $f_2(x, y)$ 平移相关: $f_1(x, y) = f_2(x - x_0, y - y_0)$, 则有:

$$\frac{F_1(\zeta, \eta) F_2^*(\zeta, \eta)}{|F_1(\zeta, \eta) F_2^*(\zeta, \eta)|} = e^{-j(\zeta x_0 + \eta y_0)} \xrightarrow{\text{反傅立叶变换}} \delta(x - x_0, y - y_0)$$

2 算法仿真与优化分析

2.1 纯平移图像-相位相关法检测的仿真及分析

利用 MATLAB 图像处理工具,纯平移图像的仿真过程如下:从图像源(2500×350 像素)中,随机截取出 5000 对重叠率在 50% 左右的 64×64 像素的图像,用相位相关法检测平移量,统计准确率及精确度,结果如表 1 所示。图 1 为一对匹配图像(300×300)及其相关图像,最大脉冲位置(113, 26)与实际偏移量一致。

由表 1 可见,对于纯平移对齐情况,相位相关算法检测效果突出,准确率相当高,精确解的误差一般也在几个像素的级别上,完全失效的情况很罕见。实验还发现:

(1) 不同的图像源,最大脉冲大小和脉冲平面平均值均有较大变化,这表明,采用脉冲峰值与相关平面平均值的比值作为检测的区分度,比应用脉冲大小作为区分度要稳定。

(2) 采用 sobel, canny, robert 等算法提取图像边缘信息,将

收稿日期:2006-04-01。方俊伟,硕士生,主研领域:光机电一体化。

灰度图像转化为二值图像,再作相位相关检测,处理速度加快。但是,由于边缘检测算法的稳定性问题,当对齐图像之间的照度差别较大时,可能会引起基于轮廓的相位相关算法失效。因此,须预先加入照度检测和偏移范围限制,并进行后续处理,如多脉冲偏移位置候选法,文献[3]提出将候选偏移位置重合区域进一步作相位相关检测所得结果作为最终判据。

(3) 纯平移的相位相关检测对旋转非常敏感。当图像间存在有旋转量时,相关峰值迅速衰减。例如,图1图像源截取的256×256匹配图像,只有旋转角度在0.5度以内时可以保证匹配的有效性,超过1度时,算法完全失效。

表1 纯平移图像的相位相关检测的统计分析

平面所有脉冲均值	最大脉冲均值	第二大脉冲均值	准确检测次数	准确率
0.022612	0.393964	0.197250	4902	98.04%
完全失效次数	完全失效数	完全失效偏差均值	一个单位偏差的检测次数	
24	0.48%	(12.17,4.83)	74	

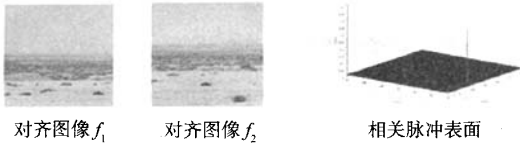


图1 纯平移图像的相位相关检测

2.2 平移旋转图像-相位相关法检测的仿真及优化分析

2.2.1 极坐标化的相位相关匹配检测

传统的穷举法,存在计算量大、精度差等缺点。相位相关检测法,将源图像频谱幅度极坐标化,以笛卡尔坐标表示源图像各个方位能量信号,再作纯平移的相位相关检测求解旋转量。仿真中采用算法逻辑生成的图形图像作为主要图像源,如图2所示,分别对齐图像及相应频谱和极坐标图,旋转角度为30度,平移量(55,20)。

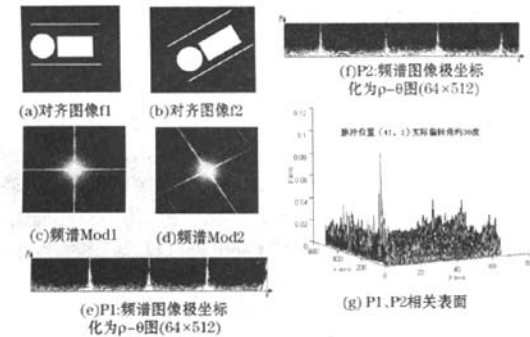


图2

2.2.2 频谱图极坐标化过程的优化

(1) 当极坐标图尺寸设置为 $m \times n$ 时,360度由作为 θ 轴的 n 个像素刻画,每个像素等效于 $\Delta\theta = (360/n)$ 度。由此,当细分时,可以提高检测的分辨率,但是计算量变大。考虑到图像主要存在旋转而无放缩,将极坐标图设置为 64×512 像素,频谱长度量只作64细分,而角度量作512细分。

(2) 由于频谱图像呈方形,极坐标化时,在45度、135

度、225度、315度角域比其他角域的频谱多,对后续纯平移相关检测引入干扰,故极坐标映射时,长度量限制在频谱图像短边长的一半,这样转入极坐标图的频谱在360度范围内长度一致。

(3) 坐标映射先从极坐标图均匀取点,根据其在笛卡尔坐标中对应映射的灰度值(采用 x,y 轴双线性插值获得)采样赋值,而不直接从笛卡尔坐标中取点赋到极坐标中。一方面排除直接赋值可能出现的重复赋值;另一方面,由于图像经FFT变换及中心化,能量集中在原点邻域,采样赋值减低了完全映射引起的误差。

2.2.3 仿真结果及分析

实验发现:

(1) 一般情况下,逻辑生成的二值图形图像的旋转检测有效性高于实拍图像。采用随机生成 50×50 个像素的多边形、圆形等单个二值几何形状和图1中的实拍图像,有效率分别为95.72%和87.56%。

(2) 重叠率对检测的有效性影响很大,呈正相关。对于图1中的实拍图像,重叠率与有效率的关系如表2所示。

表2 旋转图像相位相关检测有效率与重叠率的关系

重叠率	80%	60%	40%	20%
有效率	88.65%	87.56%	75.34%	0%

以上主要由图像内容不同导致的空间频率差异引起,如图3所示依次为原图、频域幅图和极坐标图,(c)组的空间频谱成分有很大噪音。为此,需要加入必要的辅助检测。例如,截取极坐标图的局部作相关检测;或者,由预知的旋转范围,对相关脉冲作筛选和候选;建立评价函数,如灰度绝对差之和,以等步长平移极坐标图,逐步求精,作为参考平移量。

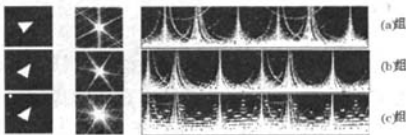


图3 图像内容不同引起的频谱差异

3 结论

本文利用MATLAB丰富的图像处理函数库,对相位相关法检测纯平移图像对齐匹配和平移旋转图像对齐匹配进行了仿真,全面分析和评价了纯平移图像检测的各方面性质,证明其具有高准确度和高精度度,同时,在具体实现上,分析和优化了平移旋转图像的相位相关检测,提高了匹配的有效率,为工程实现基于相位相关法的图像拼接提供了良好的参考。

参考文献

[1] Kuglin C D, Hines D C. The phase correlation image alignment method [A]. In: IEEE International Conference on Cybernetics and Society [C]. New York, 1975:163-165.

[2] Castro E DE, Morandi C ORANDI. Registration of translated and rotated images using finite Fourier transforms [J]. IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence, 1987, 9(4): 700-703.

[3] 张世阳, 王俊杰, 等. 一种快速全景图像拼接技术. 计算机应用与软件, 2004, 21(3): 77-79.