

三维测量中基于脊波变换的图像预处理及拐点检测*

龙兴明, 郭世刚

(重庆师范大学 物理学与信息技术学院, 重庆 400047)

摘要 图像预处理及拐点检测研究是基于计算机技术三维测量研究的重要内容之一。提出基于傅立叶变换去模糊并结合有限离散脊波变换实现去噪的图像预处理方法, 并在此基础上利用拐角测度法实现拐点检测。通过仿真实验把建议的算法同常用预处理后的典型检测算法作深入的比较研究, 结果表明该算法具有较高的鲁棒性、较小的误判率以及丢失率等优点。

关键词 三维测量; 脊波变换; 图像预处理; 拐点检测

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1672-6693(2007)02-0046-04

A Study of Preprocessing and Corner Detection in 3D Measurement Based on Ridgelet Transform

LONG Xing-ming, GUO Shi-gang

(College of Physics and Information Technology, Chongqing Normal University, Chongqing 400047, China)

Abstract : Image preprocessing and corner detection are of importance in 3-dimension measurement based on PC technology. A novel image preprocessing method by combining the deconvolution based on Fourier transform with the white Gaussian denoising method based on finite ridgelet transform is proposed, and then a corner detector is gotten according to the values of cornerness. The simulations are made between the suggested method and classic method, which show the suggested method is robust and accurate.

Key words : 3-dimension measurement; ridgelet transform; image preprocessing; corner detector

基于计算机技术的三维测量中,由 CCD 实际获得的二维图像往往要受到外界噪声干扰以及光学系统的孔径限制,因此从二维图像获取拐点信息时需要对其进行去噪及去模糊处理^[1]。近年来,出现了大量的关于图像去噪及去模糊处理算法^[2-5],如基于 POCS 的迭代算法、基于混合高斯模型的概率统计方法以及基于频域变换的傅立叶小波直接方法等。作为决定了三维测量精度的拐角检测算法主要分为两类^[6-7]:第一类是先对图像进行分割并对分割图像边缘进行表示,然后把检测边缘的极大曲率点作为拐角点;第二类方法是在灰度图上直接进行拐角测度(Cornerness)计算的检测算法,如 Kitchen、Rosenfeld 和 Harris 算子。但是,基于模糊降质图像的拐角检测是一个较难的问题,模糊、噪声和不必要细节的存

在很大程度上干扰了经典算法的性能。笔者首先提出了基于有限离散脊波变换的图像预处理方法,然后根据拐角测度获得所需定标模板拐角的检测。假定三维测量中记录图像是真实图像通过了一个卷积加性高斯噪声的相机模型后获得的降质图像,即记录图像 y 是理想定标图像 x 与相机等效传递函数 h 相卷积并受到外界加性高斯噪声干扰后获得,表示为 $y = h \otimes x + n$ 。在此模型下,首先考察基于傅立叶变换实现反卷运算并结合有限离散脊波变换进行去噪的预处理方法,然后把改善的记录图像进行拐点检测实验,最后通过仿真实验从鲁棒性、误判率以及丢失率等方面把建议的算法同常用的预处理后的典型检测算法作深入的比较研究。

* 收稿日期 2006-03-31 修回日期 2007-03-01

资助项目:重庆师范大学科研基金(No. XLY010)

作者简介:龙兴明(1976-)男,四川绵竹人,讲师,硕士,研究方向为图像处理及计算机应用。

1 脊波分析简介

1998 年 E. J. Candes 提出了^[8-9]对包含奇异直线的图像具有 m 项最优近似表示的脊波变换理论,并给出了广义的进行稳定级数展开的框架,并指出脊波变换对奇异直线图像的 m 项最优近似表示 f_m^{MR} 的均方误差为 m^{-2} ,这优于傅立叶变换的 m 项最优近似均方误差 ($m^{-1/2}$) 以及正交小波变换 m 的项最优近似均方误差 (m^{-1})。

1.1 连续脊波变换定义

可积函数 $f(x, y)$ 的连续脊波变换定义为 $CRT(f; a, b, \theta) = \int_{\mathbb{R}^2} \Psi_{a,b,\theta}(x, y) f(x, y) dx dy$ 其中 $\Psi_{a,b,\theta}(x, y) = a^{-1/2} \Psi(\frac{x \cos \theta + y \sin \theta - b}{a})$ 为脊波函数的方向,参数 a, b 分别为脊波函数的位置和尺度参数,这里的函数 $\Psi(x)$ 为类似一维小波定义,即满足 $\int |\hat{\Psi}(\xi)|^2 / |\xi|^2 d\xi < \infty$ 。脊波函数的收敛域为 $\{x, |x \cos \theta + y \sin \theta - b| < a\}$ 并且在脊波函数方向 θ 的垂直方向上为类小波函数 $\Psi(x)$ 在 $x \cos \theta + y \sin \theta = c$ 的线上脊波函数为常数 如图 1(a) 为 'db7' 类小波函数 $\Psi(x)$ 并利用参数 $a = 2, b = 1, \theta = 5\pi/6$ 获得的脊波函数 $\Psi_{a,b,\theta}(x, y)$ 如图 1(b)。

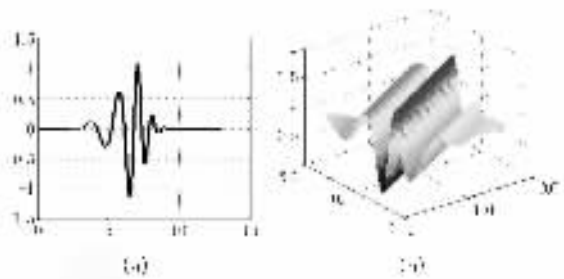


图 1 脊函数图

1.2 有限离散脊波变换(FRAT)

根据连续脊波变换定义知,脊波变换可以通过 Randon 变换域中的一维小波变换获得。本质上讲,脊波变换利用 Randon 变换把直线奇异性转变为适合一维小波检测的点奇异性,然后利用一维小波分析检测该奇异点。因此,有限离散脊波变换可以首先通过 M. N. Do 提出的有限离散 Randon 变换,然后在 Randon 变换域中进行离散的一维小波变换获得。M. N. Do 提出,有限离散 Randon 正变换定义为某一线集合上的像素累和;有限离散 Randon 逆变换定义为通过给定点处的所有 Randon 系数之和,并且利用 F. Matus 提出的最优内存分配算法具有 $O(p^2 \log p^2)$

的计算量。在有限栅格 Z_p^2 上,对实函数 $f[i, j]$ 的 FRAT 定义为

$$r_k[l] = FRAT(f; k, l) = \frac{1}{\sqrt{P}} \sum_{(i,j) \in L_{k,l}} f[i, j]$$

这里 $L_{k,l}$ 表示有限栅格 Z_p^2 上构成线的像素,即

$$L_{k,l} = \begin{cases} \{(i, j) : j = ki + l \pmod{p}, i \in Z_p\} & 0 \leq k < p \\ \{(l, j) : j \in Z_p\} & k = p \end{cases}$$

其中 $Z_p = \{0, 1, \dots, p-1\}, Z_p^* = \{0, 1, \dots, p\}, k \in Z_p^*, l \in Z_p$ 分别表示线的斜率以及切距,当 $k = p$ 时表示垂直线。因此,对于 Z_p^2 上的有限栅格共有 $p(p+1)$ 条直线并且每条直线上有 p 个点。由于上述的 $L_{k,l}$ 的定义进行了模 p 操作,因此这些线的集合表现出边缘“包裹效果”的周期化效果,可以采用组最优排列的有限离散 Randon 变换进行克服。

2 基于脊波变换预处理及拐点检测算法

2.1 基于脊波变换的图像预处理算法

基于脊波变换的图像预处理算法可通过以下两个阶段。

第一阶段,傅立叶域中的 Wiener 逆滤波。其频域响应为 $G(f) = \frac{1}{H(f)} (\frac{|H(f)|^2 P_x(f)}{|H(f)|^2 P_x(f) + \sigma^2})$, 其中 $H(f)$ 为系统传递函数 h 的傅立叶变换, $P_x(f)$ 为信号 x 的功率谱密度。因此,对降质校的记录定标图像 y 进行平稳 Wiener 逆滤波后有

$$\hat{y} = IFFT\{FFT(y)G(f)\} = G^{wf}x + G^{wf}n$$

这里, $IFFT$ 与 FFT 分别表示快速傅立叶逆变换与正变换; $G^{wf}x$ 与 $G^{wf}n$ 分别为平稳逆滤波后的保留图像成份与泄露噪声部分。

第二阶段,有限离散脊波域中的去噪。根据第二部分有限脊波变换理论,在有限离散脊波变换域中对经过平稳 Wiener 逆滤波后的 \hat{y} 图像进行泄露噪声部分 $G^{wf}n$ 的去除似乎更为合理。首先对平稳 Wiener 逆滤波后的图像 \hat{y} 进行有限离散脊波正变换,然后在脊波空间中根据脊波系数的大小排序并保留少量比例能量较大的脊波系数,最后对处理后的脊波系数进行有限离散脊波逆变换,从而获得预处理后的图像。

2.2 拐点检测

经过脊波变换预处理后的图像,计算基于一阶导数的拐角测度,选取大于某个阈值并且保留在某个区域内唯一最大拐角测度值为所求的目标拐角检测点。具体为,1)利用 x, y 方向的微分算子对重构图像的灰度函数再进行求导,获得 f_x^2, f_y^2 , 以及 $f_x f_y$;

2) 计算每个像素的拐角测度 C , $C = \frac{f_x^2 f_y^2 - f_x f_y}{f_x^2 + f_y^2}$;

3) 去除低于某个阈值的候选拐角, 并且只保留在某个区域内最大拐角测度值, 则该值所在位置为所求目标拐角点。

3 仿真实验及结果

假定实际的相机记录定标图像为理想的“方格”定标模板图像经过了照相机等效传递函数 h (等效于半径为 7 个单位像素的圆形冲击函数) 受到白高斯噪声干扰后获得^[10-11]。以下分别考察建议的相机定标图像预处理方法对降质记录图像的恢复效果、噪声的敏感度以及经过预处理后的图像对拐角检测算子性能的影响。

首先, 利用建议的基于脊波变换的预处理方法, 对记录定标模板图像(模糊信噪比(BSNR)等于 1dB)进行预处理, 见图 2(b)。其中在有限离散脊波变换域去噪过程中, 保留 5% 的较大能量系数, 令其余系数为 0, 恢复的结果如图 2(c), 理想的结果如图 2(a)。可见该算法在视觉效果以及 ISNR/SNR 都有所提高。最后, 利用经典 Harris 拐角检测算子对直接获得的记录定标图像、经典的 Wiener 预处理以及建议预处理的图像进行拐角提取, 结果如图 2(a)、2(b)和 2(c)。可见建议的预处理方法有利于提高拐角检测精度。

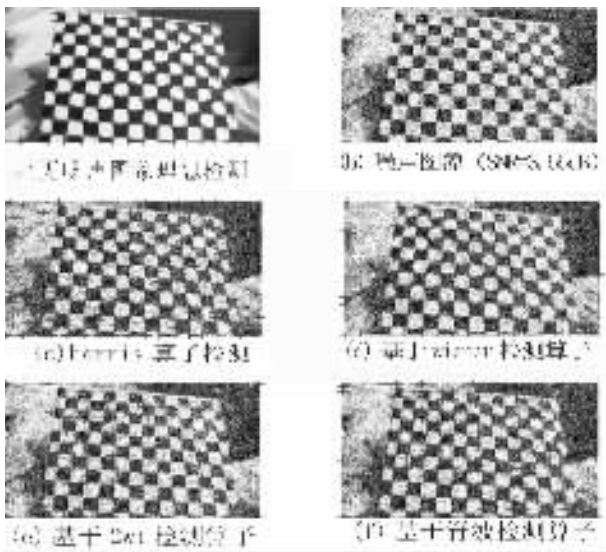


图 2 图像预处理与拐角检测图

其次, 通过改变模糊信噪比, 可获得建议预处理算法随模糊信噪比(BSNR)的变化对提升信噪比(ISNR)以及信噪比(SNR)的影响。由图 3 可知, 建议的算法具有较好的鲁棒性。

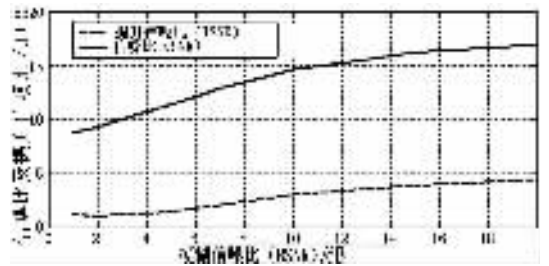


图 3 建议预处理算法鲁棒性能图

另外, 把建议的算法同常用的典型检测算法作比较研究, 包括 Harris 算子、Wiener 预处理后 Harris 算子、基于正交小波预处理后 Harris 算子。仿真结果如图 4 所示 (a)为无噪声情况下 Harris 算子检测的结果 (c)为利用 Harris 算子直接对噪声图像 (SNR=3.55 dB)检测的结果 (d)、(e)分别为经过 Wiener 以及正交小波去噪后的 Harris 算子仿真结果 (f)为建议的拐角检测算法结果。其中, 微分算子大小取为 3×3 , 预定阈值为重构图象最大灰度值的 0.15 倍且在大小为 11×11 圆域内只保留一个最大候选拐角。

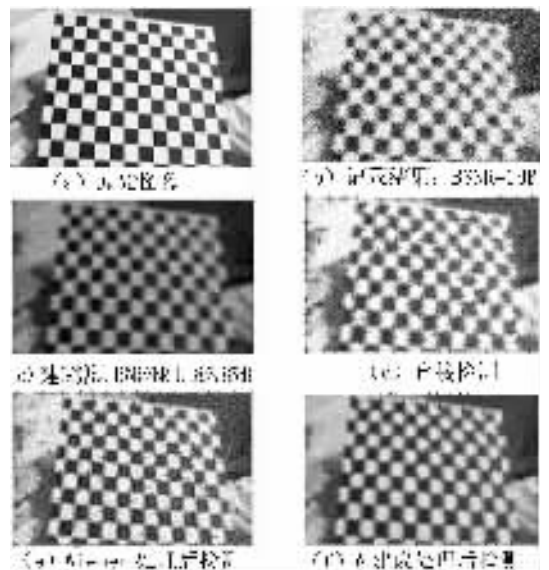


图 4 建议算法与常用算法比较图

最后, 分别考察在 3 种不同信噪比条件下, 建议算法同其它的 3 种算法在检测点数、丢失点数以及误判点数等技术指标方面的对比。表 1 为各种检测算法同无噪声情况下利用 Harris 算子、Wiener 预处理后 Harris 算子、基于正交小波预处理后 Harris 算子以及建议算子检测结果比较, 发现建议算法比 Harris、Wiener 以及正交小波去噪后的 Harris 算法具有较好的鲁棒性以及检测精度。

表1 建议检测算子与其它的检测算子比较表

检测算法	Harris 算子			Harris 算子			Harris 算子			Harris 算子		
	检测 点数	检测 点数	检测 点数	检测 点数	丢失 点数	误判 点数	检测 点数	丢失 点数	误判 点数	检测 点数	丢失 点数	误判 点数
SNR/dB												
∞	140	140	140	140	46	0	140	4	0	140	4	0
6.43	126	126	126	126	55	0	95	49	3	131	13	3
3.55	109	109	109	109	60	0	58	86	14	129	15	5

4 结论

提出了一种基于脊波变换的三维测量中图像预处理方法以及拐点检测算法。仿真实验表明建议算法克服了一般基于拐角度方法对噪声的敏感性,提高了拐角检测的鲁棒性,同时通过把建议的算法与常用预处理后的典型检测算法作深入的比较研究,结果表明该算法具有较小的误判率以及丢失率。

参考文献:

- [1] 高文,陈熙霖. 计算机视觉——算法与系统原理(第一版) [M]. 北京:清华大学出版社,1999.
- [2] 龙兴明,周静,马燕. 基于复数小波的图像恢复算法研究 [J]. 信息与控制,2004,4(33):408-412.
- [3] SANCHEZ-AVILA C. Wavelet Domain Signal Deconvolution with Singularity-preserving Regularization [J]. Mathematics and Computers in Simulation,2003,61(3):165-176.
- [4] CROUSE M. Wavelet-based Statistical Signal Processing Using Didden Markov Models [J]. IEEE Trans Signal Processing,1998,46(4):886-902.

- [5] NEELAMANI R. Inverse Problems in Image Processing [D]. Houston:Rice University,2003.
- [6] ZHENG Z Q. Analysis of Gray Level Corner Detection [J]. Pattern Recognition Letters,1999(20):149-162.
- [7] SEBE N, LEW M S. Comparing Salient Point Detectors [J]. Pattern Recognition Letters,2003(24):89-96.
- [8] DO M N, VETTERLI M. The Finite Ridgelet Transform for Image Representation [J]. IEEE Trans on Image Processing,2003,12(1):16-28.
- [9] CANDES E J. Ridgelet: Theory and Application [D]. CA: Stanford University,1998.
- [10] 龙兴明. 基于傅立叶-小波 HMT 方法的卫星图像恢复 [J]. 重庆师范大学学报(自然科学版),2005,22(3):80-82.
- [11] 李征,杨舰,琚生根,等. 基于核心密度估计的动态目标分割改进模型 [J]. 四川大学学报(自然科学版),2006,43(5):1007-1013.

(责任编辑 欧红叶)