

文章编号: 1001-3806(2014)01-0030-05

基于优先度排序的 3 维数据缺失快速插补法

熊润华, 张启灿*

(四川大学 光电科学技术系, 成都 610064)

摘要: 为了快速准确地对 3 维光学测量的缺失数据进行插值, 以利于后期对比研究, 提出了基于优先度排序的 3 维数据缺失快速插补估算方法, 并把该算法用于插补模拟实验数据以及 20 帧振动扬声器测试数据的验证。结果表明, 与其它常用缺失数据插补方法相比, 该方法运算速度快、插补效果好, 有利于处理 3 维测量结果的多帧和大量的数据。

关键词: 信息光学; 3 维面形测量; 优先度; 数据插补

中图分类号: 0438 文献标志码: A doi:10.7510/jgjs.issn.1001-3806.2014.01.007

Estimation method of fast interpolation of 3-D data based on priority

XIONG Runhua, ZHANG Qican

(Department of Opto-electronics, Sichuan University, Chengdu 610064, China)

Abstract: In order to interpolate these missing data of 3-D measurement quickly and accurately and achieve further comparison study, the estimation method of fast interpolation of 3-D data based on priority was proposed. This algorithm was used to interpolate both the data of simulation experiment and twenty frames vibrating speaker. Compared with other common interpolation algorithm, this new algorithm is time-saving and its result is much better. It can be used to handle large amounts of data of 3-D shape measurement.

Key words: information optics; 3-D measurement; priority; interpolation data

引 言

在现代测量方法中, 3 维面形光学测量方法以其特有的众多优良特性, 被广泛地应用于众多行业中。现有的方法包含莫尔条纹法 (Moiré technique, MT)^[1]、傅里叶变换轮廓术 (Fourier transformation profilometry, FTP)^[2-3]、相位测量轮廓术 (phase-measuring profilometry, PMP)^[4-5]、调制度测量轮廓术 (modulation measurement profilometry, MMP)^[6]、空间相位检测 (spatial phase detection, SPD)^[7] 和光学三角测量法^[8-9] 等。就其本质而言, 都是通过分析受物体表面面形调制的光场, 解调出物体的高度信息。用基于条纹投影的 3 维面形光学测量方法对静态物体进行 3 维测量时, 如果待测量物体面形比较

复杂, 则会出现采样不足或阴影现象, 导致相位信息中出现极点^[10], 进而使得局部数据缺失。在采用多角度测量方式重建物体 3 维面形时, 通常需在物体表面附加标记点处通过辅助匹配来完成拼接^[11]。由于附加了标记点, 无法同时得到标记点覆盖处的物体相位信息, 因此也会导致标记点覆盖区域数据的缺失。动态过程 3 维面形重建方法以 FTP 为基础, 通过结构光照明和高帧频的 CCD 摄像机快速获取^[12] 动态过程中的一系列变形条纹图, 再经过傅里叶变换、频谱滤波、逆傅里叶变换、3 维相位展开等处理^[13] 后得到一系列重建的 3 维面形。一般情况下, 需用高帧频成像设备沿时间轴采样量化, 用重建的多帧 3 维数据结果表征不同瞬间的 3 维面形, 为了将此动态过程集中对比分析, 就需要将多帧 3 维数据统一映射到同一坐标系内。在映射的过程中, 由于物体的运动变化会导致不同坐标系向最终坐标系统一映射时, 一些点上没有数据值。如何快速和准确地插补, 还原出这些缺失值点的 3 维坐标信息是本文中研究的主要问题。国内外在图像处理方面常用的插补方法有: 邻域均值法、邻域加权平均

基金项目: 教育部新世纪优秀人才支持计划资助项目 (NCET-11-0357)

作者简介: 熊润华 (1987-), 女, 硕士研究生, 现主要研究光信息处理及 3 维传感技术。

* 通讯联系人。E-mail: zqc@scu.edu.cn

收稿日期: 2013-04-01; 收到修改稿日期: 2013-05-10

5 邻域,采用前文提到的梯度和权重相结合的估算方法进行计算,计算结束后将这个位置的 mask 值赋 1,表示此位置已经插补完成,然后再处理下一个待插补点。当优先度为 1 的数据都计算结束后,开始计算优先度为 2 的数据,直到计算全部完成,本文中只需将优先度不大于 3 的数据全部计算完毕。

2 新算法的模拟实验分析

实验数据为生成的 peaks 函数,人为对其随机删除一些有效值点,形成一个带有缺失值点的 3 维面形分布,如图 5a 所示;数据缺失区域见图 5b;对此图像前期进行优先度判断,后期梯度权重相结合估算法进行插补运算,如图 5c 所示;用八方向梯度估算和加权平均算法处理图 5a,分别得到插补效果图如图 5d 和图 5e 所示;3 种估算算法的 2 维误差

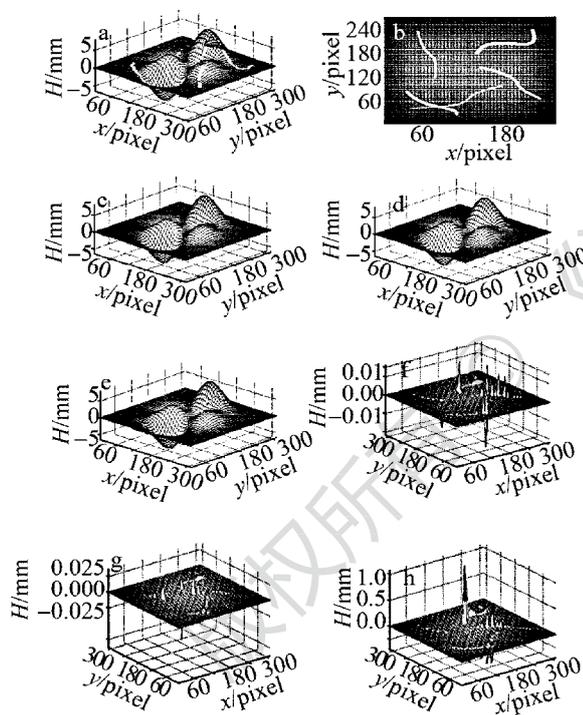


Fig. 5 Interpolation of simulation experiment data

a—3-D shape with missing data b—missing data regions c—result by priority algorithm d—result by gradient estimate algorithm e—result by weighted average algorithm f—interpolation error of weighted average algorithm g—interpolation error of gradient algorithm h—interpolation error of weighted average algorithm

Table1 The standard deviation and the computation time

interpolation algorithm	standard deviation/mm	computation time/s
proposed algorithm	4.22×10^{-6}	0.30
gradient estimate algorithm	9.93×10^{-6}	0.41
weighted average algorithm	1.78×10^{-4}	0.43

图分别见图 5f、图 5g 和图 5h。几种估算算法的插补标准差和运算时间如表 1 所示。由图 5 和表 1 可知,无论是插补结果的标准差,还是运行时间上,基于优先度排序的梯度权重相结合估算法都要优于单独的加权平均法和八方向梯度估算法。图中, H 表示高度。

3 对动态 3 维测量多帧数据的插补分析

使用液晶显示数字投影仪,投影正弦光栅周期为 2.4mm,高速 CMOS 相机 (Photonfocus MV2-D12 80-640-CL 镜头焦距为 50mm,系统测量精度为 $20\mu\text{m}$),图像采集卡采集图像的速度为 200frame/s,被捕获的图像的分辨率为 1280 像素 \times 1024 像素。对重建的振动扬声器 20 帧 3 维面形数据进行插补,矩阵大小为 531 \times 521 点阵 (每点阵对应统一坐标的 x - y 面内间隔为 0.2mm),几种算法在插补每一个点

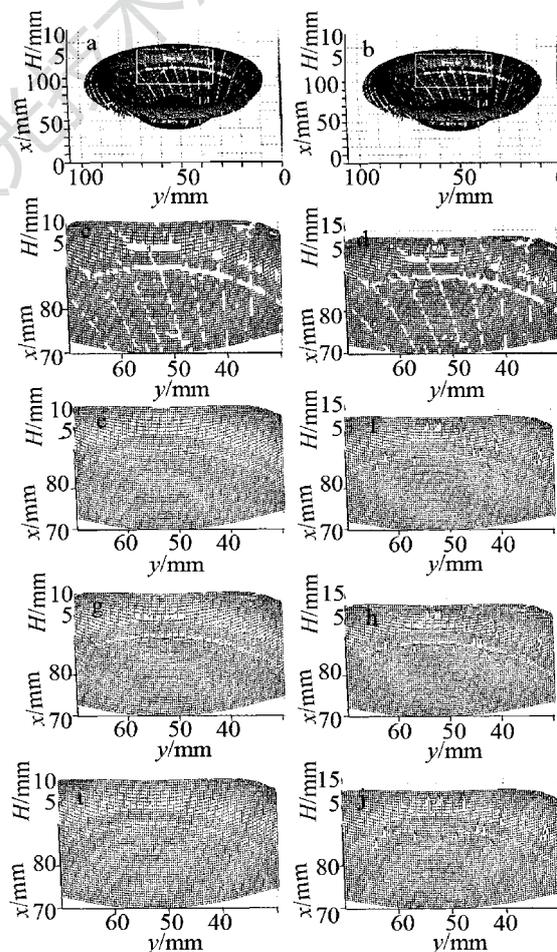


Fig. 6 Interpolation results

a, b—the 1st, 14th frame interpolation data c, d—the 1st, 14th frame interpolation data (line box) e, f—the new algorithm (1st, 14th) g, h—the weighted average algorithm (1st, 14th) i, j—gradient estimate algorithm (1st, 14th)

时所考虑的邻域范围同为 5×5 点阵。分别用本文中基于优先度排序的权重梯度估算法、加权平均法和八方向梯度估算法进行插补,分析比较插补效果以及插补时间。图 6a 和图 6b 分别为第 1 帧、第 14 帧的原始数据,线框部分缺失数据比较多,容易出现插补误差,可以用于分析比较几种算法在误差比较大时的插补效果;图 6c 和图 6d 为放大的线框区域;图 6e 和图 6f 为本文中算法插补后效果;图 6g 和图 6h 为邻域加权平均算法插补后效果;图 6i 和图 6j 为八方向梯度算法插补后的效果。从图 6 可以看出,即使是在插补误差比较大的情况下本文中基于优先度排序,并且权重梯度相结合的估算新算法插补出的数据更为连续光滑。表 2 为 3 种算法对 20 帧扬声器数据处理的插补时间,从表 2 中可以看出,邻域加权平均算法和八方向梯度估算法的插补时间是新算法插补时间的 2 倍。对以上各帧的插补可以看出,新算法能对扬声器进行很好的插补,而且插补速度明显优于其它算法。

Table 2 The computation time

interpolation algorithm(5×5 window)	computation time (20frame/s)
proposed algorithm	19.43
gradient estimate algorithm	37.87
weighted average algorithm	39.97

4 结 论

在 3 维面形测量中,针对缺失数据的处理,提出了前期优先度排序,后期权重和梯度相结合估算的新算法。用模拟实验数据和 20 帧扬声器振动数据验证了该方法可以快速、准确地插补出这些缺失数据。新算法在保证数据质量的前提下提高了处理速度,不仅便于静态 3 维面形缺失数据的插补,而且利于动态测量中的多帧、大量数据的插补处理。

参 考 文 献

[1] TAKASAKI H. Generation of surface contours by Moire pattern [J]. Applied Optics, 1970, 9(4):942-947.

[2] SU X Y, LI J, GUO L R. An improved Fourier transform profilometry[J]. Proceedings of SPIE, 1988, 0954:32-35.
 [3] TAKEDA M, MUTOH K. Fourier transform profilometry for the auto measurement of 3-D object shapes [J]. Applied Optics, 1983, 22(24):3977-3982.
 [4] SRINIVASAN V, LIU H C, HALIOUA M. Automated phase measuring profilometry of 3-D diffuse object [J]. Applied Optics, 1984, 23(18):3105-3108.
 [5] SU X Y, ZHOU W S, Von BALLY C, et al. Automated phase-measuring profilometry using defocused projection of a Ronchi grating [J]. Optics Communications, 1992, 94(6):561-573.
 [6] SU L K, SU X Y, LI W S. Application of modulation measurement profilometry to objects with surface holes [J]. Applied Optics, 1999, 38(7):1153-1158.
 [7] TOYOOKA S, IWASA Y. Automatic profilometry of 3-D diffuse objects by spatial phase detection [J]. Applied Optics, 1986, 25(10):3012-3018.
 [8] CHENG X X, SU X Y, GOU L R. Automatic measurement method for 360° profilometry of 3-D diffuse objects [J]. Applied Optics, 1991, 30(10):1274-1278.
 [9] LUO X H, JU Y, WANG X, et al. 3-D foot profile measurement through light section method [J]. Laser Technology, 2001, 25(4):308-311 (in Chinese).
 [10] GOLDSTEIN R M, ZEBKER H A, WERNER C L. Satellite radar interferometry: two dimensional phase unwrapping [J]. Radio Science, 1988, 23(4):713-720.
 [11] MA Y B, ZHONG Y X, DAI X L. A method for 3-D scanning and reconstruction based on coded points [J]. Optical Technique, 2006, 32(6):865-868 (in Chinese).
 [12] XIAO Y S, SU X Y, ZHANG Q C, et al. 3-D surface shape restoration for the breaking surface of dynamic process [J]. Laser Technology, 2006, 30(3):258-261 (in Chinese).
 [13] WU Ch C, SU X Y. Dynamic 3-D shape detected [J]. Journal of Optoelectronics & Laser, 1996, 7(5):273-278 (in Chinese).
 [14] RAFAEL C G, RICHARD E W. Digital image processing [M]. 2nd ed. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2003: 91-95 (in Chinese).
 [15] QIAN K. A simple phase unwrapping approach based on filtering by windowed Fourier transform: the phase near edges [J]. Optics & Laser Technology, 2007, 39(7):1364-1369.
 [16] HOU Zh L, ZHANG Q C, SU X Y. A novel missing phase interpolation algorithm for the branch cut and the marked point [J]. Optical Technique, 2009, 34(7):502-505 (in Chinese).