

组合光栅中条纹图像二值化算法的研究*

陈鉴富, 叶飞跃

(江苏技术师范学院 计算机科学与技术, 江苏 常州 213001)

摘要: 针对三维测量中条纹图像序列的特点, 对固定阈值、准自适应阈值和自适应阈值的二值化方法进行深入分析和对比研究, 提出了利用图像差影实现时域二值化的算法。实验数据表明, 时域二值化方法具有较好的抗干扰能力。

关键词: 二值化; 邻域平均; 阈值; 时域二值化

中图分类号: TP391

文献标识码: A

Algorithm research of binaryzation of stripe image in combinatorial grating

CHEN Jian Fu, YE Fei Yue

(Department of Computer Science & Engineering, Jiangsu Teachers University of Technology, Changzhou 213001, China)

Abstract: Based on analysis and comparative study in binaryzation of fixed threshold, semi-adaptive threshold and auto-adaptive threshold, the time-binaryzation algorithm is proposed. The subtraction algorithm of image is carried out with the view of stripe image sequence characteristics in 3D measuring. The experiment results show that the time-binaryzation is better anti-interference capability than fusion method.

Key words: binaryzation; neighborhood average; threshold; time-binaryzation

随着复杂曲面广泛应用于航空、航天、汽车及造船工业, 人们对复杂曲面测量的需求越来越多^[1-3]。高效率、高精度、高自动化的复杂曲面三维测量技术成为一个研究热点, 基于组合光栅投影的三维曲面测量技术也成为其中一个研究分支。

组合光栅投影^[4]法是先将被测物体表面分成若干个区域, 然后再投影正弦条纹。计算机通过摄像机获取相应条纹图像序列, 计算出物体表面的相位, 再由相位轮廓法^[5-7]或立体视觉测量法得到物体表面的三维坐标信息。

测量时, 组合光栅的二进制编码条纹的边界和正弦条纹的边界必须吻合^[8]。所以二进制编码条纹的二值化在测量中占有十分重要的地位, 直接影响相位的展开。在工程测量中获得的条纹图像噪比低, 且不为常数, 这就给条纹区域定界和自动计数造成很大困扰, 甚至可能严重影响测量精度。

国内外学者提出了许多二值化方法, 大多数都是对灰度图像直接进行处理, 即先把灰度图像利用阈值分

割转化为二值图像, 没有考虑像素之间的关系^[9-10]。由于条纹图像受到噪声和被测物体灰度的影响, 无论哪种方法, 都不能很好地选择恰当的阈值, 将拍摄的图像准确二值化。鉴于这一点, 本文根据条纹图像序列的特点, 提出了时域二值化方法。实验证明, 该方法可取得很好的效果。

1 基本二值化方法

通过图像分割操作, 将具有灰度变化图像变换成只有黑白 2 个灰度级图像的过程称为二值化。二值化方法的好坏直接影响到图像处理性能, 即使是对同一幅图像进行处理, 不同二值化方法也会产生不同的二值化处理结果。传统的二值化方法的关键是阈值的选择与确定。其中二值化阈值可以被看作是式(1)形式函数 T 的一种操作:

$$T = T[x, y, p(x, y), f(x, y)] \quad (1)$$

其中 $f(x, y)$ 是原图像中点 (x, y) 的灰度级, $p(x, y)$ 表示与这个点有关的性质, 如以 (x, y) 为中心的邻域的平均值。

经过阈值处理后的图像 $g(x, y)$ 定义如式(2)所示。

* 基金项目: 江苏省常州市“831 工程”基金(KYZ06002)资助课题

$$g(x,y)=\begin{cases} 1 & f(x,y)>T \\ 0 & f(x,y)\leq T \end{cases} \quad (2)$$

其中标记 1 (或其他任何合适的灰度级) 表示目标子图像, 标记 0 (或其他任何没有被标记的子图像) 表示背景子图像。根据图像的内容、需要提取的内容与背景之间的关系, 传统二值化的阈值分为固定阈值、准自适应阈值及自适应阈值。

1.1 固定阈值法

固定阈值是指在整个图像的二值化过程中只使用一个阈值。它是根据像素的灰度值是大于还是小于该阈值, 将图像的像素逐个地标记成物体和背景。由此可见, 阈值选择的准确性直接影响二值化的精度及图像描述分析的正确性。针对阈值的选择, 国内外专家学者提出了很多方法, 主要有模态法、迭代法、类间方差法^[11]、最佳直方图熵法^[12]、二维最大熵法^[13]、模糊法、共生矩阵法及区域生长法等。经典的阈值选取以灰度直方图为处理对象。

以直方图视觉检测为基础的阈值是通过一种试探性的方法确定的。在实际分割过程中, 往往需要能够自动地获取阈值, 可采用下面的算法获得固定阈值 T ;

- (1) 给 T 选取一个初始的估计值;
- (2) 用初始估计值 T 分割图像, 生成所有灰度值大于 T 的像素集 G_1 和所有灰度小于或等于 T 的像素集 G_2 ;
- (3) 对区域 G_1 和 G_2 中所有像素计算均值 μ_1 和 μ_2 ;
- (4) 计算新的阈值 $T: T=(\mu_1+\mu_2)/2$;
- (5) 重复步骤(2)~(4), 直到相邻 2 次迭代所得到的 T 值之差小于预定义的 T_0 ;

1.2 准自适应阈值法

对于用单一阈值无法有效分割的直方图, 处理方法是将图像进一步细分为子图像, 并对不同的子图像使用不同的阈值。子图像的阈值 T_i 可以取其内部像素灰度的最大值 $f_{\max}(x,y)$ 和最小值 $f_{\min}(x,y)$ 的均值, 如式(3)所示。

$$T_i=[f_{\max}(x,y)+f_{\min}(x,y)]/2 \quad (3)$$

这种方法的关键问题是图像细分, 可以用如下的步骤实现: 首先将图像分成一系列相互之间有 50% 重叠的子图像, 并计算每个子图像的直方图; 然后检测各个子图像的直方图是否为双峰, 如果是, 则确定一个阈值, 否则不处理; 再根据直方图为双峰的子图像得到的阈值通过插值得到所有子图像的阈值; 最后根据子图像的阈值再次通过插值得到所有像素的阈值, 并进行二值化。

1.3 自适应阈值法

当图像中有阴影、光照不均匀、对比度不同、突发噪声和背景灰度变化时, 如果只用一个固定的全局阈值对整个图像进行二值化, 则不能兼顾图像各处的情况, 使

二值化效果受到影响^[14-15]。解决方法是利用与坐标相关的一组阈值来对图像进行二值化。这种与坐标相关的阈值称为动态阈值。自适应阈值算法的时间和空间复杂性比较大, 抗噪声能力强, 对一些固定阈值不易分割的图像能较好地二值化。

组合光栅中的二进制编码条纹是一组图像序列, 二值化过程中只需要分离出投影的明暗条纹。当被测对象的色彩较暗、高反光或者是光照不均匀时, 采用基本二值化方法处理, 就很难得到准确的阈值分割结果, 从而导致物体编码缺失严重^[16], 不能很好地滤除被测量物体和背景干扰, 给条纹编码区域的边界定位带来困难。

2 时域二值化

时域二值化就是比较同一场景在不同时刻拍摄的图像, 根据比较结果确定图像中投影条纹的变化情况, 区分背景和前景。这种二值化提供了图像之间的差异信息, 能消除图像中的噪声和不变化的背景。针对组合光栅中编码条纹图像采集时变化的特点, 时域二值化描述如下:

采集 3 幅图像, 其中无投影的图像定义为暗场, 用 $f_{\min}(x,y)$ 表示; 无条纹图案的白光投影的图像定义为亮场, 用 $f_{\max}(x,y)$ 表示; 有条纹图案投影的图像定义为 $f(x,y)$, 二值化后的图像定义为 $g(x,y)$ 。则有:

$$g(x,y)=\begin{cases} 1 & |f_{\max}(x,y)-f(x,y)|<|f(x,y)-f_{\min}(x,y)| \\ 0 & |f_{\max}(x,y)-f(x,y)|\geq|f(x,y)-f_{\min}(x,y)| \end{cases} \quad (4)$$

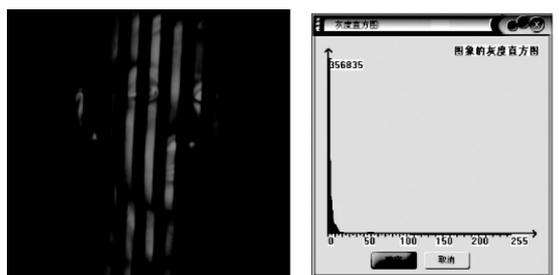
算法实现过程为:

- (1) 差影运算。首先将亮场图像减去条纹图像, 再将条纹图像减去暗场图像, 然后再进行比较;
- (2) 比较差值。若 $|f_{\max}(x,y)-f(x,y)|>|f(x,y)-f_{\min}(x,y)|$, 则将相应的值置为 0; 反之, 相应的值置为 1。
- (3) 若 $|f_{\max}(x,y)-f(x,y)|$ 和 $|f(x,y)-f_{\min}(x,y)|$ 比较接近, 则置为无效点;
- (4) 对二值化图像进行滤波, 将区域内部的奇异点滤除。

3 实验结果与分析

实验系统主要包括主控计算机、DLP 投影仪、CCD 摄像机等。空间二进制编码条纹光栅和正弦光栅由计算机产生, 可以方便地选择光栅周期和编码帧数。由摄像机实现图像的非电量到电量的转换, CCD 物理大小为 $6.4 \text{ mm} \times 4.8 \text{ mm}$, 图像的分辨率是 768×576 , 256 级灰度。计算机通过 DH-QP300 图像采集卡实现图像数字化、视频显示和图像处理。

空间二进制编码条纹采用格雷编码方法, 拍摄到的第 6 帧图像如图 1(a) 所示。由图 1(a) 可见, 在拍摄环境亮度和投影亮度都比较暗的情况下, 图像总体灰度比较低, 在直方图上体现为单峰状态, 如图 1(b) 所示。



(a) 第 6 帧图像 (b) 第 6 帧图像的直方图
图 1 条纹图像及直方图

图 2 给出了几种二值化方法的结果,其中(a)为取直方图第一个转折点的灰度为阈值, $T=7$ 的固定阈值二值化;(b)为取直方图第二个转折点的灰度为阈值, $T=17$ 的固定阈值二值化;(c)为自适应二值化;(d)为时域二值化;(e)为增强对比度后的图像;(f)为对比度增强后自适应二值化。

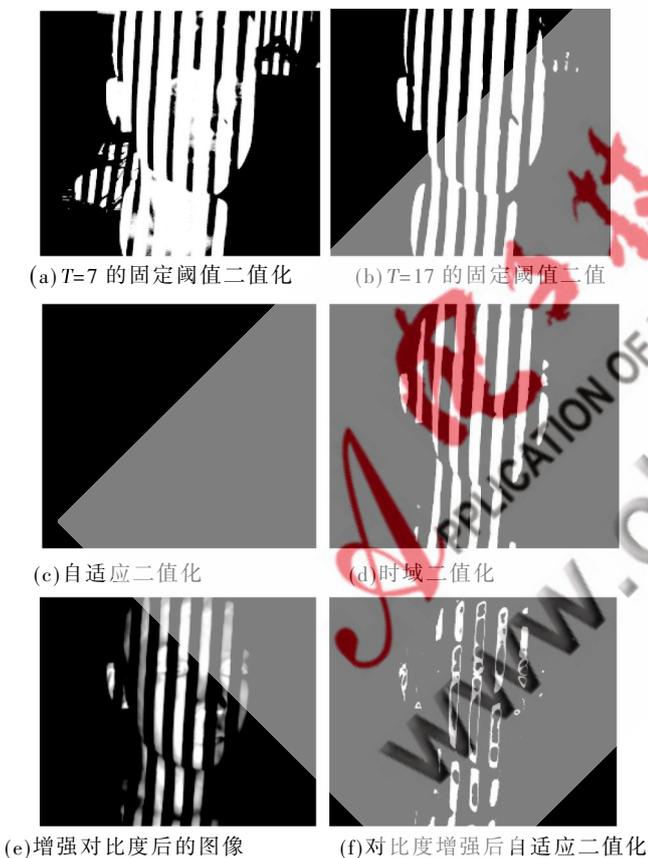


图 2 二值化方法比较

固定阈值法的二值化是采用经典的直方图确定阈值。通过多次测量,条纹投影图较暗时的直方图与图 1 (b)相似,表现为单峰状态,确定二值化的阈值只能采用转折法。当直方图出现多次转折点时,不同的阈值二值化后的精度和效果有明显的不同,而且在深度急剧变化的地方(如图中脸到脖子的区域)发生严重的二值化误

差。图 2(c)和图 2(f)是采用 OpenCV 中自适应阈值函数 (cvAdaptiveThreshold) 进行二值化的结果。从自适应阈值二值化结果看,当条纹图像的对比度比较小的情况下,很难将投影的条纹检测出来;在增强条纹图像的对比度后,自适应阈值法能将灰度梯度变化比较大的轮廓与背景分离,但在条纹内部灰度变化比较小的部分形成空洞现象。由此可见,简单地使用固定阈值法或自适应阈值法对带有编码条纹的图像进行二值化处理,得到的效果均比较差。

本文在上述研究的基础上,结合图像的差影运算,提出了时域二值化的方法。图 2(d)就是采用时域二值化的方法的效果,它对于脸部到脖子的深度变化和凹形聚光区域的二值化也能得到较好的效果。

条纹图像的时域二值化是根据图像中背景和被测量的对象不变这一特征,通过对 2 帧图像做差分运算可有效地检测出投影光强变化的信息。

设投影后的图像可以用式(5)描述。

$$F(x,y)=T(x,y)+B(x,y) \quad (5)$$

式中, $T(x,y)$ 为光栅投影图像, $B(x,y)$ 为背景和测量对象图像。

经过 2 帧图像的差分运算,可以得出运算后图像 $M(x,y)$ 为:

$$M(x,y)=T^*(x,y)+\Delta^*(x,y) \quad (6)$$

式中 $T^*(x,y)$ 和 $\Delta^*(x,y)$ 分别是差分运算后的光栅投影图像和背景残余图像。

由式(6)可以得出,图像经过差分运算后,能有效地滤除背景和测量对象的干扰,很好地保留了光栅投影图像,使得光栅条纹明暗差明显增强。在 $M(x,y)$ 上进行图像二值化,就可以消除测量对象和背景的干扰,提高条纹图像二值化效果。

图像预处理的质量直接影响组合光栅的相位解码和相位展开,在三维测量系统中起着极其重要的作用。本文根据编码光栅条纹和正弦移相条纹的特点,首先分析了传统的固定阈值、准自适应阈值和自适应阈值等二值化方法,并在这个基础上提出了时域二值化方法,给出了时域二值化方法的数学模型和算法实现步骤。通过实验和理论推导的方法证明时域二值化的方法对编码条纹光栅二值化具有理想的效果。该方法已经成功地运用到基于组合光栅投影的双目立体测量系统中,取得了良好的应用效果。

参考文献

- [1] HONG S, SHI Y J, YAO Z Q. Numerical simulation of the laser forming of plates using two simultaneous scans [J]. Computational Materials Science, 2006, 37(3): 239-245.
- [2] 李方, 周灿林. 一种新的双频光栅轮廓术[J]. 光子学报, 2005, 34(4): 154-157.

(下转第 14 页)

- [3] 丁雅斌, 彭翔, 田劲东, 等. 基于点阵编码的三维主动视觉标定[J]. 光子学报, 2006, 35(11): 1774-1778.
- [4] 陈鉴富. 基于组合光栅投影的复杂曲面测量关键技术研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2008.
- [5] CHEN F, BROWN G M, SONG M. Overview of three-dimensional shape measurement using optical methods[J]. Opt. Eng, 2000, 39(1): 10-22.
- [6] 欧阳京, 吕乃光, 吴迪. 基于时间相位展开算法的相位测量轮廓术[J]. 北京机械工业学院学报, 2007, 22(1): 1-4.
- [7] 金亚, 达飞鹏, 盖绍彦. 三维测量中光栅投影条纹边界编码方法的改进[J]. 计算机与现代化, 2006(1): 19-22.
- [8] LU Zhen Tai, ZHANG Ming Hui, FENG Qian Jin, et al. Medical image registration based on equivalent meridian plane[J]. ICAR, LNCS4633, 2007: 982-992.
- [9] HUANG Wei Yao, LIU Zhi Jing, PAN Wen Juan. The precise recognition of moving object in complex background [C]. Proceeding of IEEE Third International Conference on **《电子技术应用》**, 2009, www.ChinaAET.com
- [10] 蒋晓红, 郑秋梅, 杨发科. 一种基于分块二值化思想的图像检索方法[J]. 微计算机应用, 2008, 29(3): 47-51.
- [11] ABUTALEB A S. Automatic thresholding of gray level pictures using two dimensional entropy [J]. Computer Vision, Graphics and Image Processing, 1989, 47(1).
- [12] KAPUR J N, SAHOO P K, WONG A KC. A new method of gray level picture thresholding using the entropy of the histogram [J]. Computer Vision, Graphics and Image Processing, 1985, 29(2).
- [13] 张燊, 吴志斌, 陈淑珍, 等. 一种新的自适应二值化方法[J]. 计算机工程, 2002, 28(5): 184-185.
- [14] 鄢治国, 徐德, 李原. 一种基于自适应二值化阈值的焊缝边缘特征提取方法[J]. 焊接学报, 2008, 29(8): 34-38.
- [15] 李红岩. 基于空间二进制编码的阈值分割方法研究[J]. 计算机仿真, 2008, 25(7): 196-199.

(收稿日期: 2009-01-11)