

文章编号: 2095-2163(2021)02-0105-04

中图分类号: TP391.4; TP311.1

文献标志码: A

基于红外光学层析物体被动态遮挡的边缘检测

王新飞, 王晓巍

(合肥工业大学 仪器科学与光电工程学院, 合肥 230009)

摘要: 针对导弹的红外凝视目标跟踪中存在被跟踪物体被动态遮挡的检测问题, 采用光学层析的思想, 借助傅里叶切片定理, 对采集的目标数据进行线性积分后再进行傅里叶变换。光学层析成像中图像重建的实质是通过不同角度的投影信息确定成像平面上每个像素的实际光强分布。由于物体被动态遮挡, 总有一个角度的投影可以将其他角度投影被遮挡部分填充, 最后做二维傅里叶逆变换, 即可得到重建后边缘完整的图像, 该图像可以识别到完整的轮廓信息。

关键词: 层析成像; 计算机辅助断层成像; 红外层析成像

Edge detection of occluded objects based on infrared optical tomography

WANG Xinfei, WANG Xiaowei

(School of Instrument Science and Opto-electronics Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

[Abstract] Aiming at the problem of dynamic occlusion detection of the tracked object in the infrared staring target tracking of missile, the optical tomography idea and Fourier slice theorem are used to conduct linear integration of the collected target data and then Fourier transform is applied. The essence of image reconstruction in optical tomography is to determine the actual light intensity distribution of each pixel on the imaging plane by projection information from different angles. Due to the dynamic occlusion of the object, there is always the projection of one angle which can fill in the occluded part of the other angle projection. Finally, the image with complete edge can be obtained by performing two-dimensional inverse Fourier transform, which can recognize the complete contour information.

[Key words] tomography; computer-aided tomography; infrared tomography

0 引言

目标跟踪是根据已知的目标的初始位置、大小和目标的轮廓, 进行精准的识别和跟踪。红外目标跟踪主要应用于导弹的制导。相比于其他的跟踪目标, 由于导弹自身处于运动状态, 会出现其他物体遮挡被跟踪物体的问题。如何在被遮挡的情况下保证准确的跟踪是非常重要的。

分析光学层析成像方法及其原理, 采用红外采集卡搭配旋转机构, 设计了本文采用的红外光学层析成像系统。该系统可以获得被动态遮挡物体完整的轮廓信息。

1 红外光学层析成像原理

1.1 红外光层析成像系统成像原理

1.1.1 原理解析

光学层析成像中图像重建的关键是获得每个像素点上所对应的光强, 根据中心切片定理, 需获得物体各个角度的投影, 如果获得了相应投影数据, 便可以通过重建算法求得各点的实际光强。层析成像中

最常使用图像重建算法的有 ART、SART 和 FBP, 也就是滤波反投影。综上算法的基础是 Fourier 中心切片定理^[1]。Fourier 中心切片定理是指: 对每个角度的投影进行傅立叶变换, 该投影的一维傅里叶变换对应着该物体投影原始图像的二维傅里叶变换的一个切片。若获取到物体的 $0^\circ \sim 180^\circ$ 各个角度的投影数据, 按照其对应的角度进行排列, 可以填充整个傅里叶空间。对该数据进行填充和定制的滤波处理, 再进行傅里叶逆变换可以近似获得目标的原始图像。投影 $p(x, 0)$ 与原始函数 $f(x, y)$ 之间的关系如下:

$$p(x, 0) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) dy, \quad (1)$$

对方程(1)两边的 x 进行傅里叶变换, 得到方程(2):

$$p(u) = \int_{-\infty}^{\infty} p(x, 0) e^{-j2\pi ux} dx = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) e^{-j2\pi(ux+uy)} dx dy, \quad (2)$$

在原函数二维傅里叶变换中, 当 $v=0$ 时:

作者简介: 王新飞(1995-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 机器视觉与光电检测技术。

通讯作者: 王新飞 Email: wangxf4418@163.com

收稿日期: 2020-11-13

哈尔滨工业大学主办 ◆ 专题设计与应用

$$F(u, v) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) e^{-j2\pi(ux+vy)} dx dy. \quad (3)$$

通过式(3)可得出结论,物体在 0° 时其投影进行一维的傅里叶变换与此物体的二维傅里叶结果中当 $v=0$ 时所对应的直线的表达式完全相等。通过归纳总结可以得出:任何物体在任意的角度投影的一维傅里叶变换等于此物体的二维傅里叶变换在同角度上的直线,即是其密度函数在任一向上的投影函数 $p(t, \theta)$ 的一维傅立叶变换函数 $F(\omega \cos \theta, \omega \sin \theta)$,与其原密度函数 $f(x, y)$ 的二维傅立叶变换函数 $F(u, v)$ 在 (u, v) 平面上沿同一方向且过原点直线上的值相等。

根据中心切片定理的含义,要获取物体重建后的图像,就要采集得到足够多的投影数据,投影数据将在 $0^\circ \sim 180^\circ$ 的范围内变化,将取得的数据分别进行傅里叶变换,并用该数据填满整个待求傅里叶空间,在此基础上则通过傅里叶逆变换可以重建物体原始图像。

1.1.2 滤波反投影算法

FBP算法^[2]是常用的重建算法,其数学基础是傅立叶变换,同时也是一种空域处理技术的一种。该算法的主要特点是在进行傅里叶逆变换前将各个投影角度下的投影数据进行卷积处理,能够改善因点扩散函数造成的形状伪影,因此其拥有质量较好重建效果,以及比其他算法更快的重建速度。

FBP算法的基本原理如图1所示,物体在各个角度下可以获得一组一维投影,使用相应的滤波器对得到的每一个一维投影进行滤波,将得到的滤波后的一维投影进行反投影变换,再进行灰度拉伸即可得到重建的图像。可以看出滤波反投影中滤波器的选择极为重要,直接关系到重建图像的质量。除滤波器外,如何获得正确的一维投影即已成为目前亟待解决的主要问题。

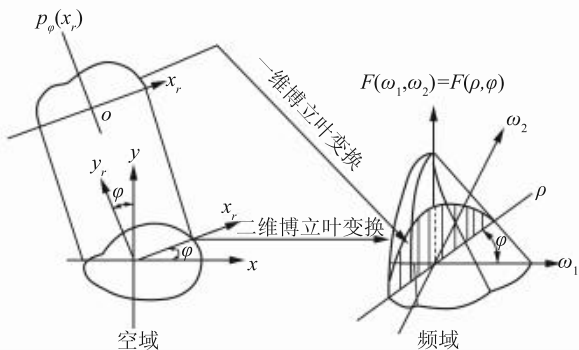


图1 FBP原理图

Fig. 1 FBP schematic diagram

算法主要工作流程为:

(1)在某一角度下,获得物体的投影信息,进行线性积分运算获得一维投影数据,并进行傅里叶变换。

(2)将(1)中获得的数据与选择的滤波器进行卷积运算,得到滤波后的一维投影数据。

(3)将(2)中求得的滤波后的投影数据进行傅里叶逆运算。

(4)选其他角度,重复步骤(1)~(3),直到获取足够的数据为止。

(5)将(4)中获得的所有反投影数据进行整理排序,再通过灰度拉伸后即可获得重建图像。

2 红外光学层析成像系统设计方案

本研究采用别汉棱镜组代替以往的K型棱镜组,别汉棱镜是常用的消像旋棱镜,利用这一特性,可以达到让像旋转的目的。

2.1 硬件系统框图

本系统主要装置包括3部分,即:旋转台、红外非制冷采集卡和上位机。硬件系统框图如图2所示。其中,用于保证旋转成像的旋转装置是本项目的核心部分,借助别汉棱镜组的消像旋特性可以降低旋转偏心问题。

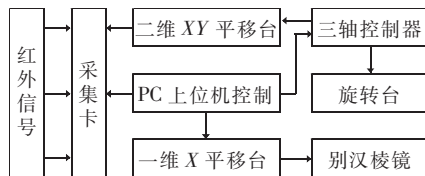


图2 硬件系统框图

Fig. 2 Hardware system block diagram

上位机,即电脑可以通过总线来控制步进电机控制器和采集卡。步进电机控制器可以精确控制步进电机旋转相应的角度,通过传动装置来控制旋转台转动相应的角度,可以实现像的旋转。计算机同时控制相机的各种参数并且在旋转台达到相应角度时拍摄物体图像。

2.2 硬件系统设计

系统光路图如图3所示。旋转式光学层析成像系统光路由旋转装置、别汉棱镜组^[3]、红外采集卡三个部分组成。旋转台带动别汉棱镜组,绕着中心轴线旋转。别汉棱镜组的特性是当棱镜组旋转 180° ,像会旋转 360° ,实验装置实物图如图4所示。该系统的特点是:别汉棱镜组旋转特定的角度数可以获取各个角度的投影,红外采集卡获取各角度的

投影数据。

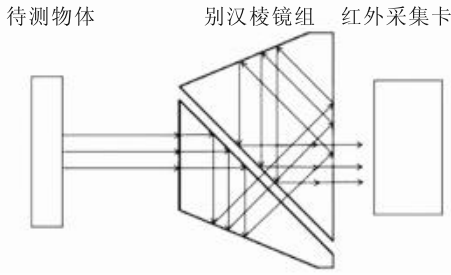


图 3 系统光路图

Fig. 3 Light path diagram of the system

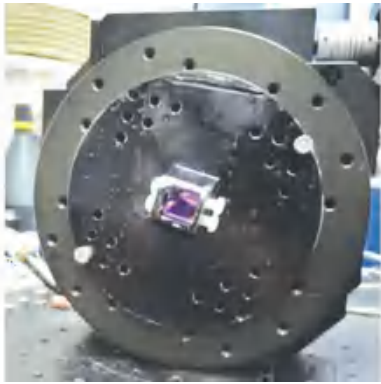


图 4 实验装置实物图

Fig. 4 Physical diagram of experimental device

3 可行性分析及仿真实验

假设采集待测物体的 180 个角度所成的像,对每个像随机遮挡一个矩形区域,并且保证物体的边缘信息不会完整地出现在任意一张图像中,本次仿真实验的部分数据见图 5。对图 5 中的图像分别进行 Log 算子和 Sobel 算子边缘检测,仿真结果如图 6、图 7 所示,可以发现每张图的轮廓信息均缺失,无法达到精确目标跟踪的需求。



图 5 被遮挡的人手图像

Fig. 5 An image of a sheltered human hand



图 6 Log 算子边缘检测结果

Fig. 6 Log operator edge detection results

原图像如图 8 所示。对采集的数据进行 FBP 重建并进行滤波处理后的实验结果如图 9 所示。对原图像和重建的结果进行 Sobel 算子边缘检测,结果如图 10 所示。其中,左侧为原始图像的边缘检测结果,右侧为重建结果的边缘检测结果。通过边缘检测结果对比可以看出对动态遮挡物体进行重建后即可获得完整的轮廓信息,由此得出结论为:本实验方法能够解决动态的遮挡的边缘检测问题。



图 7 Sobel 算子边缘检测结果

Fig. 7 Edge detection results of Sobel operator



图 8 原图像

Fig. 8 Original image



图 9 重建图像

Fig. 9 Simulation reconstruction results

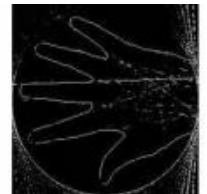


图 10 Sobel 算子边缘检测结果对比

Fig. 10 Comparison of edge detection results of Sobel operator

4 实验结果分析

拍摄的一组被部分遮挡的人手图像如图 11 所示。如果直接进行成像,不论何时都只会获取被遮挡了一部分的人手。在实验的过程中不断随意遮挡人手的一部分,不让人手完整地暴露在红外采集卡前。本次仿真实验中会用到:玩具飞机、人手、红外层析成像系统。

实验步骤可描述为:在扫描阶段将使用玩具飞机对手掌部分区域随机进行遮挡,使完整的手掌不出现在装置前。测试红外层析成像系统能否重建出被部分遮挡的待测物的完整轮廓。

拍摄过程是以随机的速度不断移动,每次都要挡住手掌的一部分区域,这样手掌就不会完全呈现

在摄像机探测器前面,图11中给出了拍摄的75个角度中随机的4个角度的成像。最终的红外层析成像重建图如图12所示。

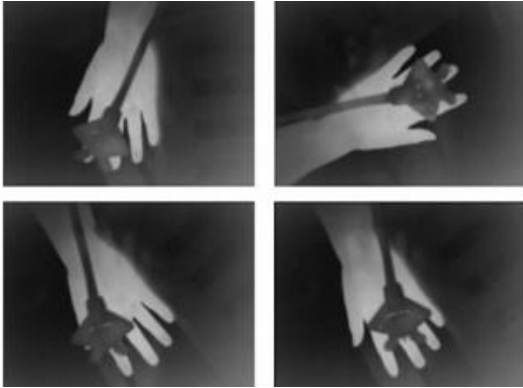


图11 被遮挡的手

Fig. 11 Covered hands

由图12可以看到重建后存在部分区域亮度降低的问题,这是因为在重建中,被遮挡部分进行填充时,因为其灰度值的缺失降低了最终的成像亮度。这个问题可以通过图像处理的归一化来解决,本文关注的是边缘轮廓的完整性,所以不再对该问题进行论述。对重建的结果进行Prewitt算子边缘检测^[4-5],检测结果如图13所示。

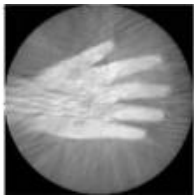


图12 FBP重建结果



图13 Prewitt算子边缘检测结果

Fig. 12 FBP reconstruction results Fig. 13 Edge detection results of Prewitt operator

Prewitt算子边缘检测结果说明,即使有物体对手掌进行遮挡,使得人手不会完整地出现在采集卡前,但是本装置仍然可以获得完整的手掌轮廓。实际检测结果与仿真结论一致,这就表明在目标物被部分遮挡的情况下,本实验装置依然可以通过采集不同角度方向下的扫描信息,重建出完整的待测物轮廓,不会被遮挡物所干扰。

5 结束语

本文采用的红外光学层析装置是在滤波反投影理论基础上,研发的红外光学层析成像系统,可在物体被遮挡时依然能够获得被跟踪目标的完整的轮廓信息,所以本实验装置可以用于被遮挡情况下导弹的红外制导,不仅能实现精确制导,同时还能保证高稳定性和高抗干扰性,对后续同类型的轮廓识别技术也具有重要的借鉴作用。

参考文献

- [1] SHI Tingting, WANG Jinping. A Fourier reconstruction algorithm in π -scheme short-scan SPECT[J]. Wuhan University Journal of Natural Sciences, 2013, 18(2):97-101.
- [2] 杨勇. 光声层析成像的FBP型算法及其TV正则化改进[M]. 北京:北京大学,2011.
- [3] 丁林辉. 用于精密转像系统的别汉棱镜[J]. 光学精密工程, 1983(1):20-27.
- [4] 张小琳, 景越峰. Prewitt算子边缘检测及改进[J]. 高能密度物理, 2011(4):155-159.
- [5] 段瑞玲, 李庆祥, 李玉和. 图像边缘检测方法研究综述[J]. 光学技术, 2005, 31(3):415-419.
- [6] [C] // Proceedings of 2013 IEEE International Conference on Computer Vision. Sydney, Australia; IEEE, 2013:2344-2351.
- [7] HESCH J A, ROUMELIOTIS S I. A direct least-squares (DLS) method for PnP [C] // Proceedings of 2011 International Conference on Computer Vision. Barcelona, Spain; IEEE, 2011: 383-390.
- [8] SUGIMOTO S, TATEDA H, TAKAHASHI H, et al. Obstacle detection using millimeter-wave radar and its visualization on image sequence [C] // International Conference on Pattern Recognition. Cambridge, UK; IEEE, 2004:342-345.
- [9] LIU Xianru, CAI Zixing. Advanced obstacles detection and tracking by fusing millimeter wave radar and image sensor data [C] // International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS 2010). Gyeonggi-do, Korea (South); IEEE, 2010:1115-1120.
- [10] 罗道, 姚远, 张金换. 一种毫米波雷达和摄像头联合标定方法[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2014, 54(3):289-293.
- [11] nuScenes. Car setup in data collection [EB/OL]. [2020-09-27]. <https://www.nuscenes.org/nuscenes#tutorials>.
- [12] CAESAR H, BANKITI V, LANG A H, et al. nuScenes: A multimodal dataset for autonomous driving [J]. arXiv preprint arXiv:1903.11027, 2019.
- [13] 陈伯孝等编著. 现代雷达系统分析与设计[M]. 西安:西安电子科技大学出版社, 2016.

(上接第104页)

- [14] [C] // Proceedings of 2013 IEEE International Conference on Computer Vision. Sydney, Australia; IEEE, 2013:2344-2351.
- [15] HESCH J A, ROUMELIOTIS S I. A direct least-squares (DLS) method for PnP [C] // Proceedings of 2011 International Conference on Computer Vision. Barcelona, Spain; IEEE, 2011: 383-390.
- [16] SUGIMOTO S, TATEDA H, TAKAHASHI H, et al. Obstacle detection using millimeter-wave radar and its visualization on image sequence [C] // International Conference on Pattern Recognition. Cambridge, UK; IEEE, 2004:342-345.
- [17] LIU Xianru, CAI Zixing. Advanced obstacles detection and tracking by fusing millimeter wave radar and image sensor data [C] // International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS 2010). Gyeonggi-do, Korea (South); IEEE, 2010:1115-1120.
- [18] 罗道, 姚远, 张金换. 一种毫米波雷达和摄像头联合标定方法[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2014, 54(3):289-293.
- [19] nuScenes. Car setup in data collection [EB/OL]. [2020-09-27]. <https://www.nuscenes.org/nuscenes#tutorials>.
- [20] CAESAR H, BANKITI V, LANG A H, et al. nuScenes: A multimodal dataset for autonomous driving [J]. arXiv preprint arXiv:1903.11027, 2019.
- [21] 陈伯孝等编著. 现代雷达系统分析与设计[M]. 西安:西安电子科技大学出版社, 2016.