

代数迭代法在激光反射断层成像目标重构中的应用

杨彪^{1,2}, 胡以华^{1,2}

- (1. 国防科技大学 脉冲功率激光技术国家重点实验室, 安徽 合肥 230037;
2. 国防科技大学 电子制约技术安徽省重点实验室, 安徽 合肥 230037)

摘要: 为了提高激光反射断层成像目标重构的图像质量, 在目前激光反射断层成像普遍采用反投影算法重构图像的基础上, 将 CT 成像中常用的迭代重建算法引入到激光反射断层成像的图像重构过程中。分析了反投影算法中的直接反投影、R-L 和 S-L 滤波反投影以及迭代重建算法在图像重构中的性能特性。进行了仿真和外场实验, 结果表明: 在直接反投影基础上添加了滤波器的反投影算法在减小误差和抑噪能力上都明显提高; 另外相比于反投影算法, 代数迭代重建算法表现出更好的重建质量, 且具有更强的抑噪性能。

关键词: 激光雷达; 反射断层成像; 图像重构算法; 代数迭代; 性能分析

中图分类号: O439 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3788/IRLA201948.0726002

Laser reflection tomography target reconstruction algorithm based on algebraic iteration

Yang Biao^{1,2}, Hu Yihua^{1,2}

- (1. State Key Laboratory of Pulsed Power Laser Technology, National University of Defense Technology, Hefei 230037, China;
2. Anhui Province Key Laboratory of Electronic Restriction, National University of Defense Technology, Hefei 230037, China)

Abstract: In order to improve the image quality of laser reflection tomography target reconstruction, an iterative reconstruction algorithm commonly used in CT imaging was introduced in the image reconstruction process of laser reflex tomography. Then, the performance characteristics of direct backprojection algorithm, R-L and S-L filtered backprojection algorithm and iterative reconstruction algorithm in image reconstruction were analyzed. Finally, simulations and field experiments were conducted. The results show that the filtered backprojection algorithm has a significant improvement over the direct backprojection algorithm in reducing errors and suppressing noise. In addition, compared with the backprojection algorithm, algebraic iterative reconstruction algorithm shows better reconstruction quality and has stronger noise suppression performance.

Key words: lidar; reflection tomography; image reconstruction algorithm; algebraic iteration; performance analysis

收稿日期: 2019-02-05; 修订日期: 2019-03-03

基金项目: 国家自然科学基金(61271353)

作者简介: 杨彪(1992-), 男, 硕士生, 主要从事激光反射断层成像方面的研究。Email: yangbiao135@163.com

导师简介: 胡以华(1962-), 男, 教授, 博士生导师, 博士, 主要从事光电信息处理方面的研究。Email: skl_hyh@163.com

0 引言

激光反射断层(LRT)成像是一种基于一维回波信息重构目标图像的新型成像方式^[1]。对于传统的远距离目标成像存在光学系统孔径衍射极限的问题,激光反射断层成像雷达技术^[2]采用“点发射、面照射、点接受”的工作模式,其突出优点在于成像分辨率与探测距离无关,采用非相干的探测模式,因此,可以将其应用于机载、星载等平台实现大功率、远距离的目标探测。MIT 林肯实验室的 Parker, Knight 等率先将激光反射层析的概念引入到计算机断层(Computed Tomography, CT)成像中,同时开展了实验验证了运用激光反射断层成像的可行性^[3-4]。美国空军实验室的 Matson 等研究了 LRT 的理论和应用^[5-6]。中国科学院上海光学精密机械研究所和胡以华课题组也在特征点跟踪、二维成像、图像配准、脉冲压缩解卷积^[7]等方面进行了实验研究^[8-9]。

滤波反投影算法(FBP)是激光断层成像中较为基础且易于实现的方法,滤波反投影算法对图像重构的主要影响因素是滤波函数的选择,对于不同的滤波函数对图像重构的质量存在着一定的影响。而迭代重建算法相比于滤波反投影算法而言可以并入已知的先验条件来优化图像重建,在迭代过程中可以根据每个迭代循环的结果与实际投影信息的差异不断进行修正,直到重构图像误差达到设定的精度范围内。文中采用一些典型的仿真数据和实验数据,对 FBP、ART 算法进行图像重构实验,分析不同重建算法重建图像质量,以及对噪声的敏感性,为实际应用中激光反射断层成像雷达技术提供参考。

1 激光反射断层成像基本原理

LRT 的基本原理是将物体在多个角度进行激光照射,采集目标多个角度下的回波信息,根据目标的投影数据重建目标二维轮廓。如图 1 所示,平行激光光束照射一个二维目标,照射角度记为 ϕ ,目标在角度 ϕ 的投影定义为:

$$p(r, \phi) = \int_{L_{r,\phi}} f(x, y) ds \quad (1)$$

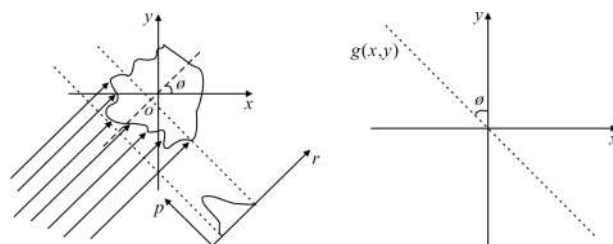
式中:积分路径 $L_{r,\phi}$ 为垂直于光照方向的直线, $r = x \cos \phi + y \sin \phi$; $f(x, y)$ 为目标的反射系数分布。平行箭头展开

区域为激光照射区域,投影的距离范围取决于被激光照射区域的距离范围。需要注意的是,由于激光无法穿透目标,所以实际上反射系数只在表面不为零,即

$$f(x, y) = 0, (x, y) \notin D \quad (2)$$

式中: D 为目标表面点集。因此实际上的投影可表示为:

$$p(r, \phi) = \int_{L_{r,\phi} \cap D} f(x, y) ds \quad (3)$$



(a) 目标投影 (b) 反投影重建
(a) Target projection (b) Rebuilding of backprojection

图 1 激光反射断层成像投影

Fig.1 Schematic of LRT imaging project

目标重构过程与投影数据的获取是一个逆向的过程^[10],其具体过程可以分解为如图 2 所示的几个部分,首先需要对采集的投影数据进行预处理去除掉信号采集过程中的噪声。投影数据的配准是将采集的回波信号按照统一的时间基准进行重新排列,一般采用特征点跟踪算法^[11]实现投影数据的粗配准。由于接收回波信号是目标表面的反射率分布信息与激光脉冲的卷积,所以在目标重构之前需要对接收信号进行解卷积运算得到目标的实际反射率分布投影数据。最后将全部探测角度下的解卷积后投影数据进行反投影运算,得到物体的重建图像。

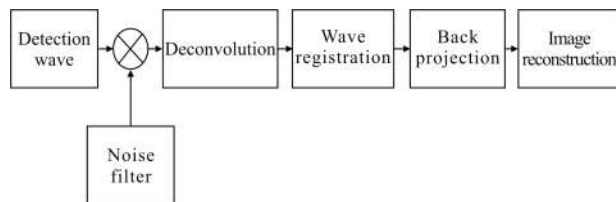


图 2 图像重构具体流程

Fig.2 Formation process of the image reconstruction

2 代数迭代重建算法基本原理

迭代算法的基本思想为先假设一幅初始的图

像, 在文中运用的算法中初始图像为 $n \times n$ 的一幅灰度值全部为 0 的图像。下面运用逐步逼近的方法, 将重建图像的理论投影值与接收的经过处理的回波数据解算的投影函数比较, 在一个最优化准则下寻求重建的图像的最小误差。迭代法首先要将连续图像 $f(x, y)$ 离散化, 整个图像被划分为 $N=n \times n$ 个像素, 像素的宽度为 δ , 每个像素的灰度值都为常数, 这样该图像就可以用一个 N 维矩阵 $F=[f_1, f_2, \dots, f_N]$ 来表示。假定用矩阵 $P=[p_1, p_2, \dots, p_M]$ 表示由 M 条射线投影得到的投影数据, 图像重构的过程就是根据接收的投影数据求解图像中每个像素点的灰度值的过程, 迭代重建问题实质为求解线性方程组:

$$\begin{cases} \omega_{11}f_1 + \omega_{12}f_2 + \dots + \omega_{1N}f_N = p_1 \\ \omega_{21}f_1 + \omega_{22}f_2 + \dots + \omega_{2N}f_N = p_2 \\ \vdots \\ \omega_{M1}f_1 + \omega_{M2}f_2 + \dots + \omega_{MN}f_N = p_M \end{cases}$$

$$p_i = \sum_{j=1}^N p_{ij} = \sum_{j=1}^N \omega_{ij}f_j, i=1, 2, \dots, M \quad (4)$$

式中: ω_{ij} 为权因子, 其代表射线所经过的图像上第 j 个像素在第 i 个投影值上所占比重大小, 其计算的结果会对重建图像精度以及重建效率有直接影响。公式(4)也可以用矩阵表示:

$$P=WF \quad (5)$$

式中: F 为图像像素值矩阵; P 为射线的投影值; W 为投影矩阵, 也称为系统矩阵。

所以现在的任务变成了根据测量得的 P 和已知矩阵 W 来求图像向量 F 。最为直观的方法是对矩阵直接求逆:

$$F=F^{-1}P \quad (6)$$

在实际的目标二维轮廓重建中, 由于数据量巨大、方程的欠定性对于直接求逆会十分困难, 再加上数据采集过程中的信号噪声、传感器误差都会对最终的求解的结果带来很大的误差, 所以矩阵求逆并不实用。为了解决以上问题, 文中运用常用的代数迭代重建法 (Algebraic Reconstruction Technique, ART) 作为图像重构的一种基本算法。

投影矩阵在迭代重建过程中发挥着至关重要的作用, 是连接投影数据和重构图像的桥梁, 一个精度高的投影矩阵往往是重构出高质量图像的最佳保证。从重建计算的精度和重建的效率综合分析, 一般采用的计算投影矩阵模型是将反投影的路径看成宽

度为 0 的射线, 每条射线之间间隔为 τ , 射线与每个像素网格的相交长度为 ω_{ij} 。另外在计算投影矩阵前, 还需将整幅图像离散化为边长为 δ 的一个一个的正方形像素块, 将图像中心设在坐标原点, 像素总个数为 $N=n \times n$, 然后对每个像素块按顺序进行编号, 如图 3 所示。设射线方程为 $y=mx+b$, 以 $0 < m \leq 1$ 这种情况展开讨论。在图 3 中射线 p_i 与图像网格的边沿存在两个交点, 其坐标分别为 $P(P_x, P_y)$ 和 $Q(Q_x, Q_y)$, 这两点在图像中的编号分别为 K_0 和 K_1 , 同时满足 $K_0 > K_1$ 的大小关系, 并且定义 K_0 网格的左下角顶点坐标为 $B(X_0, Y_0)$ 。以 B 点为起点, 沿着 x 正半轴方向每次向右平移一个像素网格的长度 δ , 设射线与网格的交点处的纵向截距为 d , 通过 d 的大小可以判断射线此时所穿过网格的编号以及计算出射线与此网格的交线的长度, 并同时保存网格编号和交线长度这两个对应的数据。依次类推, 直到遍历完所有的网格编号。

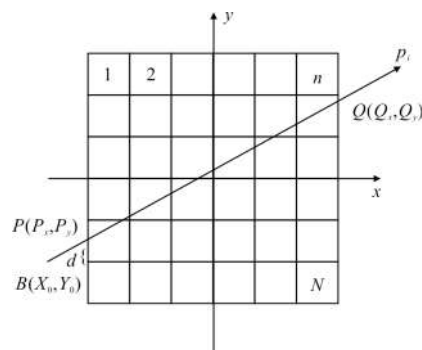


图 3 投影矩阵网格编号

Fig.3 Projection matrix grid number

代数重建算法图像重构的基本思想是先假定一幅原始的图像, 将原始图像通过拉登变换得到投影, 称为计算投影与测量投影比较, 根据计算投影与测量投影间的差值作为重建的修正值, 然后将修正值均匀地分配给射线所穿过的像素网格, 逐条进行直到完成所有射线的修正, 整个过程认定为一个完整的循环。循环结束后将修正后得到的图像作为新的初始图像, 重复上述操作直到达到重构图像的精度要求。直接求解方程组 (4) 在实际工程中是相当困难, 在实际计算中, 一般采用 Kaczmarz 松弛法来求解。这里直接给出结果, 对于第 i 条射线, ART 的迭代公式为:

$$f_j^{(k+1)} = f_j^{(k)} + \lambda \frac{p_i - \sum_{j=1}^N \omega_{ij} f_n^{(k)}}{\omega_{in}}, j=1, 2, \dots, N \quad (7)$$

式中: i 为射线序号($1 < i < M$); j 为像素序号($1 \leq j \leq N$); k 为迭代次数; λ 为松弛因子($0 < \lambda < 1$)。

3 仿真数据结果与分析

为了比较各重构算法对重构图像质量的影响, 采用课题所搭建的激光反射断层成像目标重建建模仿真系统获取目标模型回波投影数据, 设置像素值为 128×128 的六边形模型进行数值仿真, 在仿真系统中设置激光器发散角为 1 mrad , 脉冲宽度为 1 ns , 设置采样角度间隔为 1° , 投影角的数据数目为 180。文中运用的代数迭代的松弛因子为 0.2, 迭代次数一般设置为 10 次。另外由于激光反射断层成像雷达接受的回波信号为目标表面的反射率投影分布 $p(t, \theta)$ 与激光雷达的响应函数信号的时间分布函数 $pl(t)$ 进行的卷积运算^[12], 所以在数据的仿真过程中在得到目标的表面反射率投影数据后再将其与理想的脉冲激光发射脉冲信号卷积作为接受的回波信号 $P_r^{\text{receiver}}(t)$:

$$P_r^{\text{receiver}}(t) = p(t, \theta) * [I_0 \cdot pl(t)] = I_0 \int_{-\infty}^{\infty} p(\tau, \theta) \cdot pl(t - \tau) d\tau \quad (8)$$

式中: $*$ 表示卷积运算。在文中 $pl(t)$ 采用较为简单的高斯分布模型^[13]:

$$pl(t) = \frac{2}{T_{1/2}} \sqrt{\frac{\ln(2)}{\pi}} \exp\left[-4\ln(2) \times \left(\frac{t - 3/2 \times T_{1/2}}{T_{1/2}}\right)^2\right] \quad (9)$$

式中: $T_{1/2}$ 为激光脉冲的峰值半宽度。

激光信号与目标作用前后的脉冲波形, 如图 4 所示。文中选取两个参数来评价图像重建误差大小, 其中归一化均方根距离测量值 d 对重建图像中的大误差、少数点比较敏感, 当实际重建图像与理想重建图像某点存在较大误差时会使得该值迅速增大; 而归一化平均绝对值距离测量值 r 是对整幅重建图像的多数点、小误差比较敏感^[14], 它是对全局误差的一个累积表征。

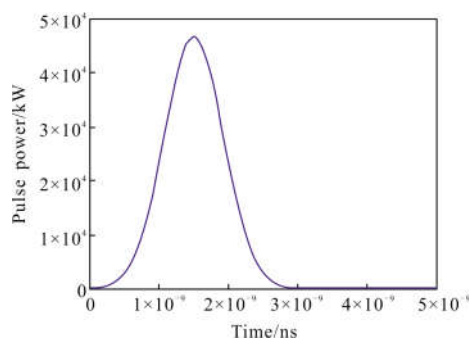
其中归一化均方根距离测量值表达式为:

$$d = \left[\frac{\sum_{i,j \in \text{ROI}} (t_{ij} - r_{ij})^2}{\sum_{i,j \in \text{ROI}} (t_{ij} - \bar{t})^2} \right]^{1/2} \quad (10)$$

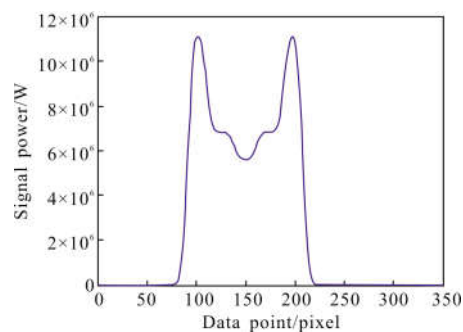
归一化平均绝对值距离测量值^[15]表达式为:

$$r = \frac{\sum_{i,j \in \text{ROI}} |t_{ij} - r_{ij}|}{\sum_{i,j \in \text{ROI}} |t_{ij}|} \quad (11)$$

式中: t_{ij} 和 r_{ij} 分别表示理想图像和重建图像中像素坐标 (i, j) 处的像素灰度值; \bar{t} 表示理想的重建图像各像素点灰度的平均值。



(a) 发射脉冲信号
(a) Laser pulse signal

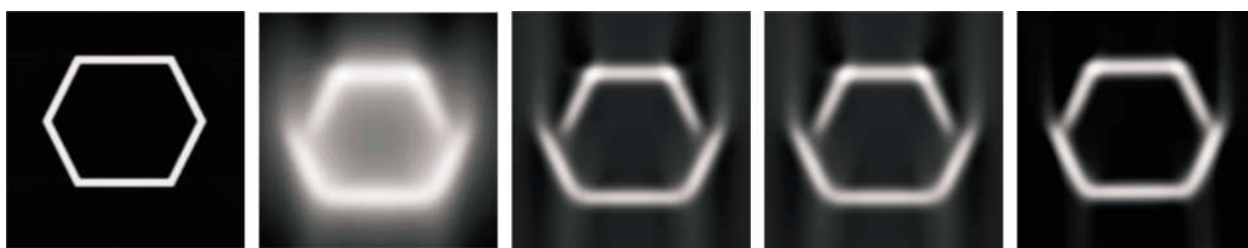


(b) 回波信号
(b) Reflected echo signal

图 4 激光信号与目标作用前后的脉冲波形

Fig.4 Pulse waveform before and after laser signal and target

从图 5 的各算法重构图像和表 1 的误差参数对比可以看出, 直接反投影算法重构的目标二维轮廓存在着较为严重的伪影, 另外其重构的目标边缘轮廓线和理想情况重构的图像相比明显变粗, 这对于复杂轮廓目标的细节刻画存在很大的阻碍; 相对于直接反投影算法采用了 Ram-Lak 滤波函数和 Shepp-Logan 滤波函数后再对回波数据进行的反投影得到的重构图像质量得到了明显提高, 误差明显减小, 另外, 两种滤波函数对重构图像的影响几乎相同。相比较 FBP 算法, ART 算法重构的图像质量得到了进一步的提高, 从图像对比可以看出: ART 图像已经较大程度地消除了伪影的影响, 图像轮廓线条更加清晰, 另外在六边形的边与边的拐角处细节刻画也更加清晰。



(a) 理想重构图像 (b) 直接反投影 (c) R-L 滤波反投影 (d) S-L 滤波反投影 (e) ART 重建

(a) Ideal reconstruction image (b) Direct backprojection (c) R-L FBP (d) S-L FBP (e) ART reconstruction

图 5 无噪声时六棱柱重建结果

Fig.5 Six-prism reconstruction results without noise

表 1 图像重建误差计算结果

Tab.1 Image reconstruction error calculation results

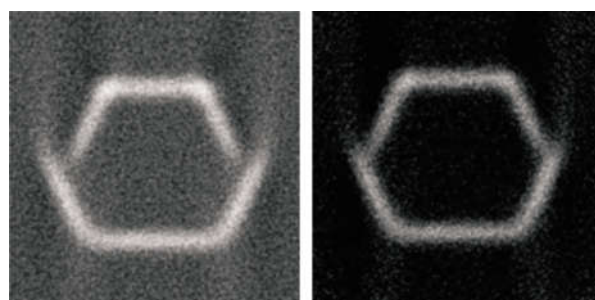
Parameter	Gaussian noise	Algorithm			
		FBP	R-L	S-L	ART
d	N	2.146 6	1.347 0	1.347 4	1.162 9
r	N	6.296 5	2.336 0	2.338 1	1.838 2

为了检验各个算法的抗噪能力,在接受的回波信号 $P_r^{receiver}(t)$ 的基础上添加信噪比为 15 dB 的高斯白噪声。图像重构的结果如图 6 所示。在此基础上为更加定量地描述噪声对重构的影响,文中采用均方差(MSE)来^[6]评价抑噪性能:

$$SME = \frac{1}{N_{ROI}} \sum_{i,j \in ROI} (t_{i,j} - \hat{t}_{i,j})^2 \quad (12)$$

式中: N_{ROI} 表示像素的数目。

从图 6 的重建图像结果可以看出, ART 算法相比较滤波反投影算法能够有效地抑制噪声的影响,从图像中也能看到图像中的噪点明显减少,图像的对比度明显提高,轮廓和线条更加清晰。重建图像的 d 、 r 、MSE 的计算结果如表 2 所示,从结果也能看出 ART 算法相比较于反投影算法的重建图像,不仅重建误差明显减小,也具有更好的抑噪性能。



(c) S-L 滤波反投影 (d) ART 重建

(c) S-L FBP (d) ART reconstruction

图 6 含噪声时六棱柱重建结果

Fig.6 Six-prism reconstruction results with noise

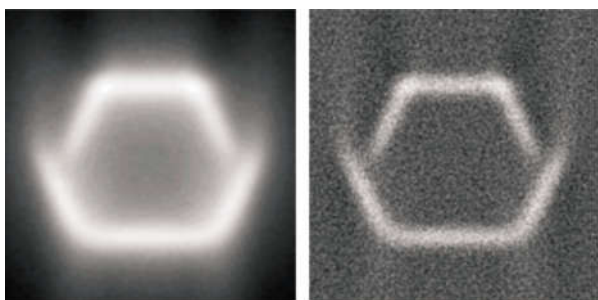
表 2 重建图像的 d 、 r 和 MSE 计算结果

Tab.2 Reconstruction of image d , r and MSE calculation results

Parameter	Gaussian noise	Algorithm			
		FBP	R-L	S-L	ART
d	Y	2.161 5	1.268 4	1.278 4	1.036 0
r	Y	6.394 7	2.422 1	2.403 3	1.710 1
MSE	Y	0.197 1	0.067 9	0.068 9	0.045 3

4 实验结果与分析

在仿真实验的基础上开展了外场实验,激光反射断层成像系统如图 7 所示,采用了波长为 532 nm 的调 Q 激光器,脉冲宽度为 6.5 ns。在发射端采用信号发生器对激光脉冲频率进行调制,激光光束经过一个可调节衰减镜片后,经过扩束镜进行扩束使其在一定距离内光束能够完全地覆盖住目标表面。在信号接收端,采用工业级 C 型口光圈可调、可变焦镜头作为反射激光脉冲信号的接受装置,探测器采用



(a) 直接反投影 (b) R-L 滤波反投影

(a) Direct backprojection (b) R-L FBP

灵敏度高的 APD210 单像素探测器直接接受回波信号,其带宽为 1 MHz~1 GHz,探测光谱范围为400~1 000 nm。

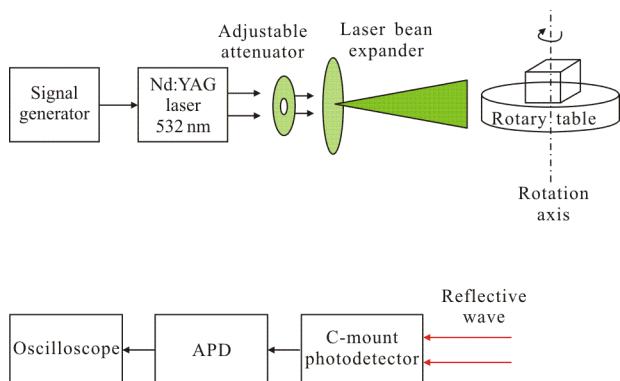


图 7 激光反射断层成像实验示意图

Fig.7 Schematic diagram of laser reflective fault experiment system

实验所使用的目标为一个高 1.0 m, 底边长为 0.8、1.0、1.0 m 的三棱柱模型, 设置电机的步进角度为 1°, 进行 360°环绕目标一周的全角度探测, 共收集了 360 组目标的不同角度的激光反射的回波数据, 信号接收装置与目标旋转中心距离为 39.7 m。

回波配准后, 利用以上几种重构算法得到的目标二维轮廓图像如图 8 所示, 可以看出应用直接反投影算法重构的三棱柱图像存在严重伪影, 轮廓十分模糊; 采用了添加滤波函数的反投影算法在目标的

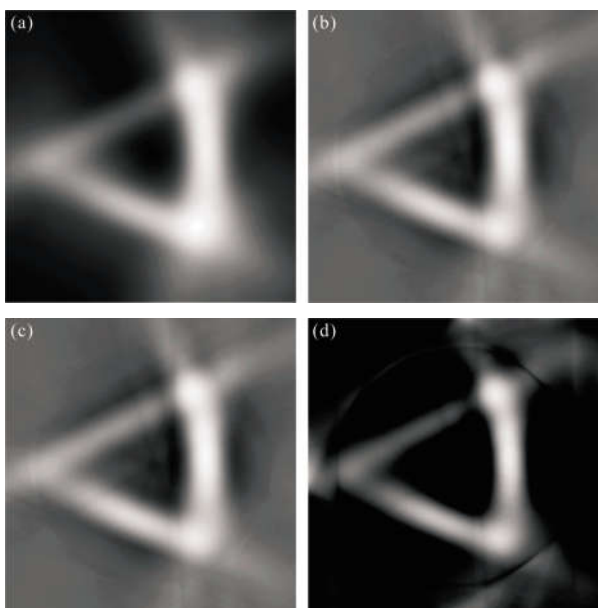


图 8 三棱柱重建结果

Fig.8 Triangular prism reconstruction results

二维轮廓呈现上得到了一定的改善, 能够较清晰地分辨目标轮廓; 最后由 ART 重构的目标图像截断伪影大幅减少, 目标轮廓与周围的对比度明显提高, 目标边缘轮廓更加清晰。

5 结 论

激光反射断层成像中重构算法是技术实现的一个重要环节, 不同思路的重构方法对重构图像的质量有着直接的影响。文中在以往的反投影算法基础上, 将迭代重构算法引入到断层成像的重构过程中; 从图像重构误差和抑噪能力两个方面对直接反投影、滤波反投影和 ART 几种算法的性能进行了比较分析。最后通过仿真和外场实验所得的数据重构图像验证了迭代重构算法在图像重构质量和抑噪能力上均有较大提高。

参 考 文 献:

- [1] Gu Yu, Hu Yihua, Hao Shiqi, et al. Study on feasibility of laser reflective tomography with satellite-accompany [C]// SPIE, 2015, 9674: 96742T.
- [2] Jin Xiaofeng, Zhang Peng, Liu Chunhua, et al. Techniques on long-range and high-resolution imaging lidar[J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2013, 50(5): 05002. (in Chinese) 金晓峰, 张鹏, 刘春华, 等. 远距离高分辨激光成像雷达技术[J]. *激光与光电子学进展*, 2013, 50(5): 05002.
- [3] Parker J K, Craig E B, Klick D I, et al. Reflective tomography: images from range-resolved laser radar measurements[J]. *Applied Optics*, 1988, 23(13): 2642-2643.
- [4] Knight F K, Klick D, Ryan D P, et al. Laser radar reflective tomography utilizing a streak camera for precise range resolution[J]. *Applied Optics*, 1989, 28(12): 2196.
- [5] Matson C L, Magee E P, Stone D. Reflective tomography for space object imaging using a short-pulselength laser[C]// SPIE, 1994, 2302: 73-82.
- [6] Matson C L. Deconvolution-based spatial resolution in optical diffusion tomography[J]. *Applied Optics*, 2001, 40(5): 5791-5801.
- [7] Lin Fang, Hu Yihua, Wang Jincheng, et al. Application of multi-frame iterative blind deconvolution method in laser reflective tomography imaging[J]. *Acta Optica Sinica*, 2017, 37(9): 0407001. (in Chinese) 林放, 胡以华, 王金诚, 等. 多帧迭代盲解卷积在激光反射断层成像的应用[J]. *光学学报*, 2017, 37(9): 0407001.

- [8] Jin Xiaofeng, Yan Yi, Sun Janfeng, et al. Angle-Doppler resolved reflective tomography laser imaging radar [J]. *Acta Optica Sinica*, 2012, 32(8): 0828001. (in Chinese)
金晓峰, 严毅, 孙建锋, 等. 基于角度-多普勒分辨的反射层析激光成像雷达研究[J]. 光学学报, 2012, 32(8): 0828001.
- [9] Gu Yu, Hu Yihua, Hao Shiqi, et al. Application of variational bayesian deconvolution method in laser reflective tomography imaging [J]. *Acta Optica Sinica*, 2016, 36(6): 0611003. (in Chinese)
谷雨, 胡以华, 郝士琦, 等. 变分贝叶斯解卷积法在激光反射层析成像中的应用[J]. 光学学报, 2016, 36(6): 0611003
- [10] Huang Yuxiang, Zhang Hongyi, Li Fei, et al. Phase modulated lidar imaging design and simulation [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2017, 46(5): 0506003. (in Chinese)
黄宇翔, 张鸿翼, 李飞, 等. 相位调制激光雷达成像设计及仿真[J]. 红外与激光工程, 2017, 46(5): 0506003.
- [11] Zhou Deli, Huang Genghua, Shi Liang, et al. Laser reflective tomography projection registration method of non-cooperative target [J]. *Science Technology and Engineering*, 2014, 14(21): 104-107. (in Chinese)
周德力, 黄庚华, 石亮, 等. 非合作目标的激光反射层析投影配准方法[J]. 科学技术与工程, 2014, 14(21): 104-107.
- [12] Xia Wenze, Han Shaokun, Cao Jingya, et al. Ladar range estimation technology [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2016, 45(9): 0906005. (in Chinese)
夏文泽, 韩绍坤, 曹京亚, 等. 激光雷达距离估计技术[J]. 红外与激光工程, 2016, 45(9): 0906005.
- [13] Zhao Mingbo, He Jun, Fu Qiang. Simulation modeling and analysis of full-waveform ladar signatures [J]. *Acta Optica Sinica*, 2012, 32(6): 0628002. (in Chinese)
赵明波, 何峻, 付强. 全波形激光雷达回波信号建模仿真与分析[J]. 光学学报, 2012, 32(6): 0628002.
- [14] Zhang Dongping, Zhang Dinghua, Zhang Fengshou, et al. The influence of filter on the quality of image reconstruction using FBP algorithm[J]. *Machinery Design & Manufacture*, 2007(9): 67-68. (in Chinese)
张东平, 张定华, 张丰收, 等. 滤波器对滤波反投影重建图像质量的影响[J]. 机械设计与制造, 2007(9): 67-68.
- [15] Herman G T. Image reconstruction from projections: the fundamentals of computerized tomography [M]. New York: Academic Press, 1980.
- [16] Palakkal S, Prabhu K M M. Poisson image denoising using fast discrete curvelet transform and wave form [J]. *Signal Processing*, 2012, 92(9): 2002-2017.