

·光电探测·

## 遮蔽目标的激光雷达回波信息处理

黄涛<sup>1,2</sup>, 胡以华<sup>1,2</sup>

(1. 脉冲功率激光技术国家重点实验室, 安徽 合肥 230037; 2. 安徽省电子制约技术重点实验室, 安徽 合肥 230037)

**摘要:**为了探索利用激光雷达探测遮蔽目标,研究了遮蔽目标对激光雷达回波波形的影响,取得了遮蔽目标激光雷达回波波形的仿真数据。采用Levenberg-Marguardt算法对回波非线性拟合,实现了对回波波形的分解,获取了高斯回波分量的个数、位置、半宽和幅度等参数。通过对各个通道分离子波的时间匹配,得到了各个子目标在不同通道的回波分量,由不同通道回波分量的幅值可以获取其反射率比值及退偏度,实现对各目标回波的特征提取。

**关键词:**激光雷达;回波分解;特征提取;Levenberg-Marguardt算法;遮蔽目标

中图分类号:TN249

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2011)01-0027-04

## Information Processing of Lidar Echo for Obscure Target

HUANG Tao<sup>1,2</sup>, HU Yi-hua<sup>1,2</sup>

(1. State Key Laboratory of Pulsed Power Laser Technology, Hefei 230037, China;

2. Key Laboratory of Electronic Restriction, Hefei 230037, China)

**Abstract:** In order to detect the obscure target by using lidar (light detection and ranging), the influence of obscure target on lidar echo waveform is studied, and its simulation data are obtained. Fitting the nonlinear waveforms by using Levenberg-Marguardt algorithm, which break down waveforms into a series of Gaussian components, and obtain the number, position, half-width and amplitude of each Gaussian component. Echo components of sub-target in different channels are obtained via time matching of separate sub-echoes respectively; the ratio of reflectivity and depolarization degree are obtained via amplitude of waveform component, which can achieve the characteristic extraction of various targets.

**Key words:** lidar; waveforms decomposition; characteristic extraction; Levenberg-Marguardt algorithm; obscure target

遮蔽目标通常指被伪装网、林木等各类人工或自然遮蔽物所遮挡的目标。利用高亮度、高方向性和高相干性的脉冲激光直接对目标主动成像,其具有快速、主动、高精度地获取目标立体特征信息的特点,并且对于遮蔽物有良好的穿透性<sup>[1-4]</sup>。

通过对激光回波的分解<sup>[5]</sup>可以获得不同目标反射的回波,使得在单次探测中就能同时获得遮蔽物及被遮蔽目标的信息;而通过对目标表面光学特性的分析,可以获取目标回波的特征参数,有效地将

目标从背景中提取出来。基于上述研究背景,建立了遮蔽目标激光雷达回波波形模型,通过非线性最小二乘算法实现了对回波波形的分解,提取了不同目标回波分量的特征参数。

### 1 问题分析与回波模型

#### 1.1 问题分析

由于激光出射光束具有一定的发散角,当对一定距离处目标进行成像探测时,将形成具有一定尺寸的

收稿日期:2010-12-23

基金项目:国家自然科学基金(60672154)

作者简介:黄涛(1983-),男,江西九江人,硕士研究生,主要从事激光遥感信息处理方面的研究工作;胡以华(1962-),男,安徽怀宁人,教授,主要从事激光遥感技术方面的研究工作。

成像光斑,成像光斑内各子目标对激光回波都有贡献,系统接收到的激光回波可以看成是各子目标对激光回波的联合成像结果。目前,国内外的学者在理论和实践上都已证明<sup>[5,6]</sup>,激光雷达回波的波形可以近似地看作不同目标反射的高斯波形的叠加,即激光雷达的回波是一系列高斯脉冲在时间轴上的叠加。如果能够将遮蔽目标反射的回波进行有效的分解,获取遮蔽物及被遮蔽目标各自的回波分量,便可实现对目标与遮蔽物回波信号的分离。

对于文中的回波分解算法其主要思想是<sup>[5]</sup>,对于给定的一组等间隔点 $\{x_k:k=1, \dots, N\}$ ,其对应的值为 $\{y_k:k=1, \dots, N\}$ ,目标是将其分解为如式(1)所示的 $n$ 个高斯函数之和,并使得拟合波形与实际波形的偏差满足式(2)。

$$y=f(x)=\sum_{i=1}^n a_i e^{-\frac{(x-x_i)^2}{2\sigma_i^2}} \quad (1)$$

$$\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (f(x_k) - y_k)^2} < \epsilon \quad (2)$$

式中, $y=f(x)$ 是由 $n$ 个高斯函数叠加而成的单值函数; $a_i$ 、 $x_i$ 和 $\sigma_i$ 分别对应于函数第 $i$ 个高斯分量的幅度、中心位置和半宽; $\epsilon$ 是由系统噪声水平决定的拟合精度,对于具体回波其为一常数。

在实现对回波分解的基础上,进一步利用物体的表面光学特性,提取目标回波的特征参数,可以实现对目标与遮蔽物回波的分类,达到对遮蔽目标的有效探测。在研究中,利用表面光学特性主要是光谱反射率与退偏振效应。由于物体表面的固有结构特点,对不同波长的光波是有选择性反射的,因而利用物体的光谱反射特性是对目标进行分类识别的有效手段。

在激光雷达目标背景特性的研究中,对于来自目标的辐射,除了强度、方向和相位,还有一个重要的方面即目标的偏振特性。在探测试验中,由于目标一般是人造的,具有较光滑表面,其退偏振效应较弱;一般目标所处的背景(如泥土、植被)都是很粗糙的,其退偏振效应较强<sup>[7]</sup>。

## 1.2 遮蔽目标激光雷达回波模型

传统目标的激光雷达回波波形已有较广泛的研究<sup>[8,9]</sup>,而对于遮蔽目标的激光雷达回波波形有其自身独有的特点。文献[2]对遮蔽目标激光雷达

回波的特性进行了深入的分析,构建了遮蔽目标激光雷达回波模型,该模型除了考虑到遮蔽物对回波的影响之外,进一步地研究了脉宽展宽、反射率、退偏振等因素对回波波形的影响。

根据文献[2],构建如图1所示的遮蔽目标激光雷达回波模型。在回波的仿真实验中,考虑到后续研究的开展,将实验模型设定如下:激光器使用双波长的Nd:YAG激光器,该激光器可以输出2个波长的激光:基本的1 064 nm和双倍频的532 nm,输出的激光都经过了高度的线性偏振;接收装置由两种波长、偏振相互正交的4通道组成,可以对双波长和两种偏振状态的激光回波进行有效探测。此类实验装置国外已经研制出类似的设备<sup>[7]</sup>,技术实现上是可行的。利用该模型得到了图2所示的仿真数据。

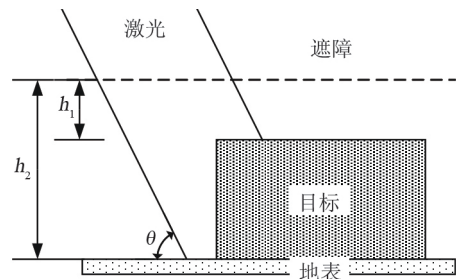


图1 遮蔽目标激光雷达回波模型

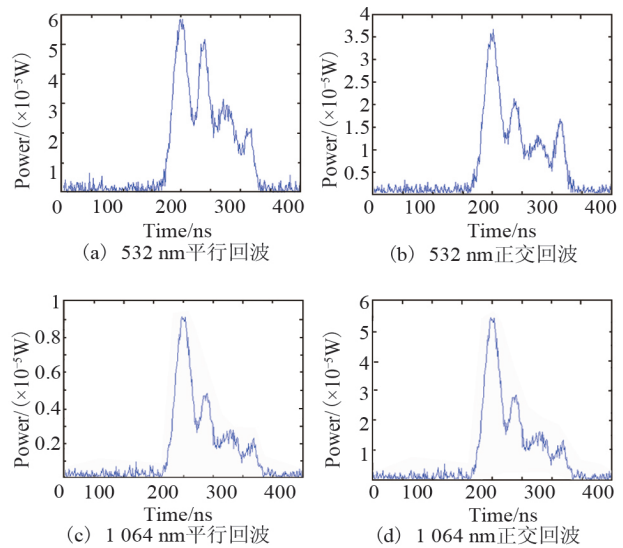


图2 四通道获取的遮蔽目标仿真回波

## 2 波形分解与特征提取

### 2.1 波形分解

通过式(1)可知,需要求解的问题是利用已知的 $N$ 个观测数据去求解 $3n$ 个未知参数。由于需要拟

合的函数为非线性函数,因而无法采用线性最小二乘法。在这里,使用阻尼最小二乘法(或 Levenberg-Marguardt<sup>[10]</sup>方法)实现对回波数据的非线性拟合。使用LM算法进行拟合的流程见图3。

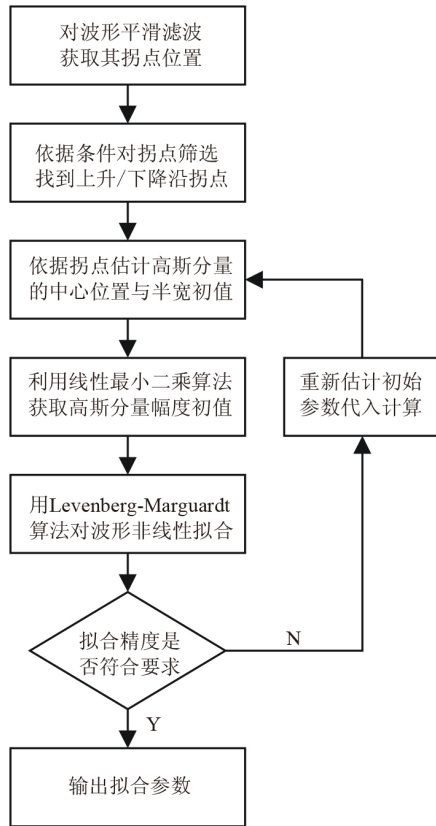


图3 使用LM算法波形拟合流程

在使用LM算法进行数据拟合时,首先要对拟合参数进行预估,将其作为初始参数代入计算。由高斯函数的性质可知,其二阶导数的零点(即拐点)对应于其上升/下降沿的半宽位置,据此可以估计出高斯分量的位置与半宽。为了排除噪声的影响,在实际计算中采取以下规则:

对于上升沿拐点:一阶导数 $>0$ ,二阶导数 $=0$ ,三阶导数 $<0$ ;

对于下降沿拐点:一阶导数 $<0$ ,二阶导数 $=0$ ,三阶导数 $>0$ 。

对于一对上升/下降沿拐点,当其间隔大于系统脉冲宽度的一半以上,且之间数据的幅值为数据噪声均值的一倍以上时,可以看作为一个有效的高斯分量。该分量的中心位置与半宽可以通过获取的拐点确定<sup>[5]</sup>。

在获取中心位置与半宽的基础上,通过线性最

小二乘法<sup>[11]</sup>可以求得高斯分量的幅度初始值。

$$\mathbf{E}a = b \quad (3)$$

$$a = (\mathbf{E}^T \mathbf{E})^{-1} \mathbf{E}^T b \quad (4)$$

其中,矢量 $a$ 为待求解高斯分量幅值; $b$ 为平滑滤波后的数据; $\mathbf{E}$ 为由预估中心位置和半宽生成的高斯函数矩阵。

在非线性数据拟合领域,Levenberg-Marguardt算法得到了广泛的应用,它的基本形式为<sup>[10]</sup>

$$x_{k+1} = x_k - \left( \mathbf{D}f(x_k)^T \mathbf{D}f(x_k) + \mu_k \mathbf{I} \right)^{-1} \times \mathbf{D}f(x_k)^T f(x_k) \quad (5)$$

式中, $k$ 为迭代步数; $\mu_k$ 为比例系数; $\mathbf{I}$ 为单位矩阵; $f(x_k)$ 为第 $k$ 次迭代后的剩余误差; $\mathbf{D}f(x_k)$ 为 $f(x_k)$ 的雅克比矩阵。

使用IDL语言编写的Levenberg-Marguardt算法可以从互联网上免费获取<sup>[12]</sup>,通过给定的原始数据和初始参数,该程序可以返回一组最佳的拟合参数。图4为使用LM算法对图2 a的拟合结果。

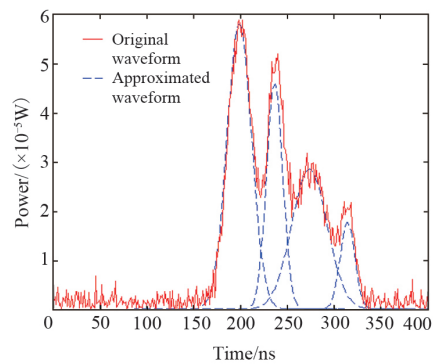


图4 使用LM算法波形拟合结果

## 2.2 特征提取

对回波的波形分解所取得各个子波可以认为是成像光斑内各子目标所产生的回波,而对于同一子目标在各个通道的回波在时间上应当是一致的,因而对于各通道同一时间到达的子波可以认为是同一目标的回波。据此,通过对各子回波在时间轴上的匹配,可以确定不同目标在各个接收通道回波的幅值,并依此获取目标回波的特征参数。

各通道子回波的时间匹配见图5,对于匹配后各子回波中心位置的均值及标准差见表1。

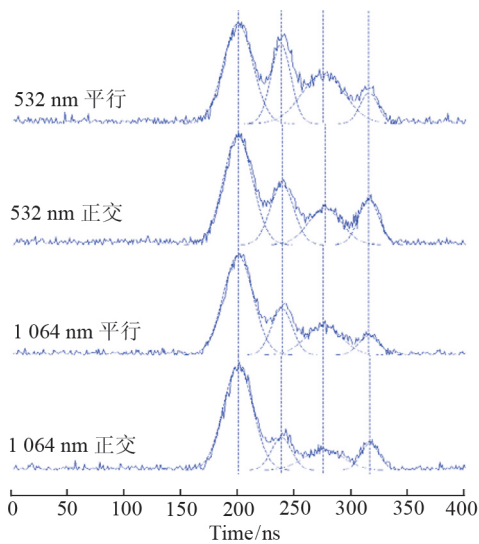


图5 各通道子回波的时间匹配

表1 各子回波中心位置的均值及标准差

匹配项目	回波1	回波2	回波3	回波4
均值	6 666.89	6 670.73	6 674.46	6 678.46
标准差	0.019 02	0.042 69	0.070 54	0.049 33

文中所用仿真数据在时间匹配上产生的偏差主要是由仿真过程中所加入的噪声及波形拟合精度所致。而对于实际探测,还需要考虑各通道的匹配及系统的测时精度等因素,因而对于实际系统其时间匹配的误差将远大于仿真数据。

在取得同一目标在不同通道的回波分量后,便可以依据不同通道回波分量的幅值来确定其反射率比值及退偏度。对于反射率比值,定义为不同波长子回波幅值的比值,  $R = I_{532}/I_{1064}$ , 其中  $I_{532}$  和  $I_{1064}$  分别为 532 nm 和 1 064 nm 波段子回波幅值。对于退偏度<sup>[2]</sup>, 则定义为平行正交分量子回波幅值  $I_v$  和平行分量子回波幅值  $I_p$  之比, 即  $D = I_v/I_p$ 。对文中所用仿真数据获取的目标反射率比值和退偏度见表 2。

表2 目标的反射率比值和退偏度

仿真项目	目标1	目标2	目标3	目标4
反射率比值	0.65	1.13	1.10	1.05
退偏度	0.60	0.41	0.40	0.81

从表 2 中可以看出,不同目标在反射率比值和退偏度有较大差异,而对于目标 2、3,由于其为同一目标不同部位反射的回波,因而其反射率比值和退

偏度非常接近。据此,通过获取的特征参数可以实现对不同目标的分类,籍以实现对遮蔽目标的有效探测与识别。

### 3 结束语

构建了遮蔽目标回波模型,利用 Levenberg-Marguardt 算法实现了对遮蔽目标激光雷达回波的有效分解,通过对分解获取的子回波深入分析,获取了各子目标的反射率比值和退偏度,实现了对遮蔽目标激光雷达回波的特征参数提取。

### 参考文献

- [1] 黄涛,胡以华,李磊,等.基于激光遥感成像的遮蔽目标探测技术研究[J].红外与激光工程增刊,2010,39(S):129-133.
- [2] 黄涛,胡以华,赵楠翔,等.遮蔽目标激光雷达回波波形的建模与仿真[J].激光技术,2011,3(1):11-14.
- [3] Richard M Marino, W R Davis, G C Rich, et al. High-resolution 3D imaging laser radar flight test experiments [J]. Proc. of SPIE, 2005, 5791: 138-151.
- [4] Joseph Buck, Andrew Malm, Andrew Zakel, et al. High-resolution 3D Coherent Laser Radar Imaging [J]. Proc. of SPIE, 2007, 6550(2): 1-9.
- [5] Hofton M A, Minster J B, Blair J B. Decomposition of laser altimeter waveforms [J]. IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, 2000, 38(4): 1989-1996.
- [6] 赵楠翔,胡以华,雷武虎,等.激光回波波形分析小目标检测成像方法[J].红外与激光工程,2009,38(4):748-752.
- [7] 胡以华,魏庆农,刘建国,等.机载激光波束扫描回波脉冲特征分析[J].应用激光,1997,(17)3:109-111.
- [8] Scott Budge, Brad Leishman, Robert Pack. Simulation and modeling of return waveforms from a ladar beam footprint in USU LadarSIM [J]. Proc. of SPIE, 2006, 6214.
- [9] S Tan, R M Narayanan. A Multiwavelength Airborne Polarimetric Lidar for Vegetation Remote Sensing: Instrumentation and Preliminary Test Results [J]. IEEE, 2002.
- [10] D Marquardt. An algorithm for least squares estimation of nonlinear parameters [J]. J. Soc. Indust. Appl. Math., 1963 (11): 431-441.
- [11] 徐仲,张凯院,陆全,等.矩阵论简明教程[M].北京:科学出版社,2005:83-84.
- [12] Craig B Markwardt. Curve Fitting in IDL Using MPFIT. <http://cow.physics.wisc.edu/craigm/idl/idl.html>.