

·激光技术·

基于短时傅里叶变换的激光信息场检测技术研究

郝本功

(中国电子科技集团公司光电研究院,天津 300308)

摘要 激光驾束制导信息场检测是保证激光驾束制导仪正常工作的重要手段。根据激光驾束制导信号所具有的时频分布特征,采用具有强大时频分析能力的短时傅里叶变换技术,实现对信号时频特征的同步分析。实验结果表明,利用短时傅里叶变换技术,可方便的获取激光驾束制导信号的频率特征与时间特征,是一种有效的驾束激光制导信息场检测技术。

关键词 激光驾束制导;短时傅里叶变换;频率特征;时间特征

中图分类号:TN249

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2018)-02-0001-03

Research on Detection of Laser Beam Riding Guidance Information Field Based on Short Time Fourier Transform

HAO Ben-gong

(Academy of Opto-Electronics, China Electronics Technology Group Corporation (AOE CETC), Tianjin 300308, China)

Abstract: Detection of laser beam riding guidance information field is an important method to guarantee the normal operation of the laser beam riding guidance instrument. According to the time and frequency distribution characteristics of laser beam riding guidance signals, the short time Fourier transform (STFT) with the analysis ability of time and frequency characteristics is adopted to analyze the time and frequency characteristics of laser signals simultaneously. Experimental results show that STFT can easily obtain the time and frequency characteristics of laser beam riding guidance signals, which is an efficient detection technology of laser beam riding guidance information field.

Key words: laser beam riding guidance; short time Fourier transform; frequency characteristics; time characteristics

作为激光制导武器中的重要成员,激光驾束制导具有命中精度高、抗干扰能力强、适应性及机动性能好等特点,被大量应用于地空导弹及反坦克导弹中。如瑞典的RBS-70便携式防空导弹及瑞典与美国联合研制的全天候两用地空导弹系统ADATS均采用了驾束制导方式,具有极高的命中率,可对抗低空飞机、直升机及地面装甲目标;欧洲的“崔格特”、俄罗斯的“短号”等中程反坦克导弹也采用了驾束制导方式,射程可达3~5 km,大大增强了火力范围与命中精度^[1]。

激光驾束制导武器可以准确的命中目标,依靠

激光驾束制导仪的精确引导,而对激光驾束制导仪调制信息场的有效检测,是保证激光驾束制导仪引导能力的重要手段。对激光驾束制导信息场的检测方法很多,熊旭等^[2]采用脉宽检测技术,通过计时获取信号频率特征,进而获得每种频率的时间特征。杜恩祥等^[3]采用数字滤波的方式获取信号频率特征,再将信号变换到时域获取每种频率的时间特征。但以上方式均需要先分析信号频率特征再分析时间特征,分析过程繁琐。

在研究激光驾束制导信号特征的基础上,采用短时傅里叶变换(STFT)技术实现激光驾束制导信

息场的检测,充分利用短时傅里叶变换的时频分析能力,同步获取信号的频率特征与时间特征,分析方式简单高效。

1 激光驾束制导原理

激光驾束制导通过发射调制激光,在空间中形成激光信息场,为飞行其中的导弹提供引导信息。导弹发射后,进入激光信息场中,弹尾的激光接收机接收激光导引信号,解算出弹体相对于光轴的位置误差,形成控制指令,使导弹沿光轴飞行,从而击中目标^[4]。

激光信息场调制技术为激光驾束制导的关键技术。目前,激光信息场调制方法有很多,如数字编码、偏振编码、空间扫描及调制盘空间编码等,其中调制盘空间编码应用较广,也是文中研究所针对的编码方式。

调制盘空间编码利用旋转调制盘对激光进行斩波式调制产生信息场,可以使用一个调制盘或者两个调制盘,分别通过内外码道^[5-6]或者两个调制盘^[7-8]的依次交替,完成一个周期内俯仰与水平两个方向的信息调制。调制盘调制激光信息场原理如图1所示。

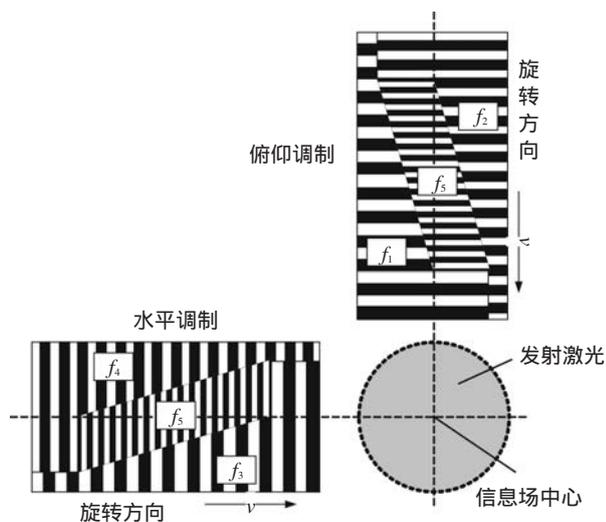


图1 调制盘调制激光信息场原理图

调制盘匀速转动对发射激光进行调制,俯仰调制时,调制盘以上下方向切割发射激光形成信息场,信息场包含 f_1 、 f_2 及 f_3 三种频率;水平调制时,调

制盘以左右方向切割发射激光形成信息场,信息场包含 f_3 、 f_2 及 f_1 三种频率。在一个调制周期内,俯仰与水平两个方向依次调制,最后产生的信息场频率依次为 f_1 、 f_2 、 f_3 、 f_1 、 f_2 、 f_3 及 f_4 ,各种频率的持续时间分别为 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 、 T_1 、 T_2 、 T_3 及 T_4 ,且随着信息场位置的不同,各种频率的持续时间不同。据此,激光驾束制导导弹可确定在信息场中的位置,导弹在信息场中的位置可以使用俯仰偏差 K_z 与水平偏差 K_y 表示如下

$$K_z = \frac{T_1 - T_2}{T/2} \quad (1)$$

$$K_y = \frac{T_3 - T_4}{T/2} \quad (2)$$

当导弹位于信息场中心时有 $T_1=T_2$ 、 $T_3=T_4$,由以上式子可得, $K_z=K_y=0$;而导弹偏离信息场中心时, $K_z \neq 0$ 、 $K_y \neq 0$,由此可确定导弹的位置偏差。

2 短时傅里叶变换

激光驾束制导信号是一种非平稳信号,根据不同频率信号的持续时间来计算位置信息,具有时域和频域两种特征。分析信号频域特征最有力的工具为傅里叶变换,但傅里叶变换是一种全局变换,无法表述信号的时频特征,于是,人们将傅里叶变换推广,提出一种具有时频分析能力的信号处理方法—短时傅里叶变换(short time fourier transform, STFT),也可称为加窗傅里叶变换(window fourier transform, WFT)。

短时傅里叶变换的基本思想为:假定非平稳信号在分析窗口内是平稳的,采用窗函数对非平稳信号进行截取,再利用傅里叶变换分析窗口内信号的频域特征。通过移动分析窗口,可计算出整个非平稳信号在不同时刻的频域特征^[9-11]。以下给出短时傅里叶变换的定义为

$$STFT_x(t, f) = \int x(u)W(u-t)\exp(-i2\pi fu)du \quad (3)$$

其中, $x(t)$ 为待分析非平稳信号; $W(t)$ 为窗函数,采用不同的窗函数在信号截取时对信号频谱的影响不同,常用的窗函数有矩形窗、hanning窗、hamming窗等,旁瓣抑制比分别为-13 dB、-32 dB、-43 dB,使用时根据需要选择。

利用短时傅里叶变换技术可方便的对激光驾束信号的时频特征进行分析。

3 实验与分析

利用激光驾束制导模拟器为信号源搭建实验装置,采用自主设计的激光信号数字接收机接收模拟器发射的激光信号,如图2所示。

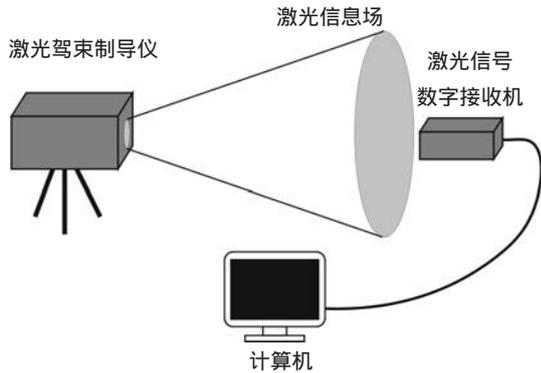


图2 激光驾束制导信号检测实验装置

实验中,驾束制导模拟器采用的调制频率为8 kHz、11 kHz、16 kHz、19 kHz及22 kHz,采用定焦发射模式进行测试;设置接收机采样时间为10 ms,图3为接收机所采集的激光驾束制导信号。

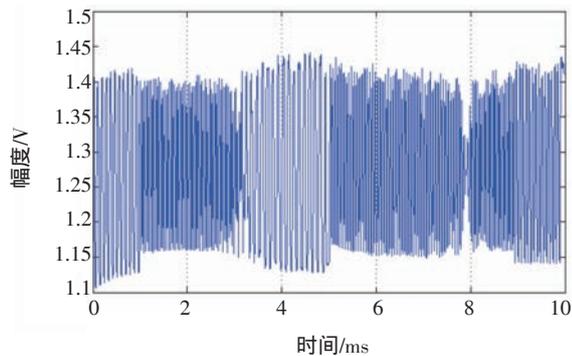


图3 驾束制导信号

从图3中可以看出,激光驾束制导信号的频率分布特征,每种频率在信号中持续一段时间,只有将信号的时间与频率特征同时分析,才能完整的反映出激光驾束制导信号的特征。

采用短时傅里叶变换对图3信号进行分析,分析中采用频率分辨率为1 kHz;窗口按照逐点移动的方式,时间分辨率为4 μ s;窗函数选择 hamming 窗,分析结果如图4所示。

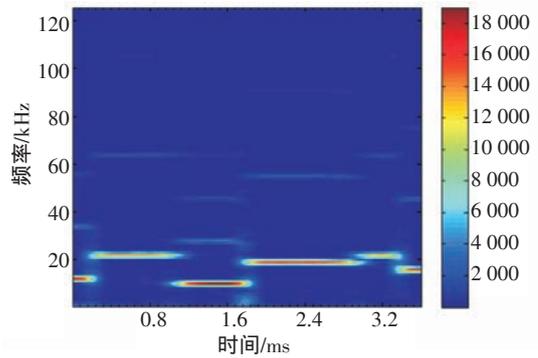


图4 采用STFS对激光驾束制导信号的分析结果

从图4中可以清楚的看到,各个频率成分的出现顺序为11 kHz、22 kHz、8 kHz、19 kHz、22 kHz及16 kHz,得到了信号的时频分布特征。由于受所采用的窗函数的影响,频谱宽度有一定的扩展,但不影响频率信息的识别。

提取各个频率成分的时间分布曲线,如图5所示。

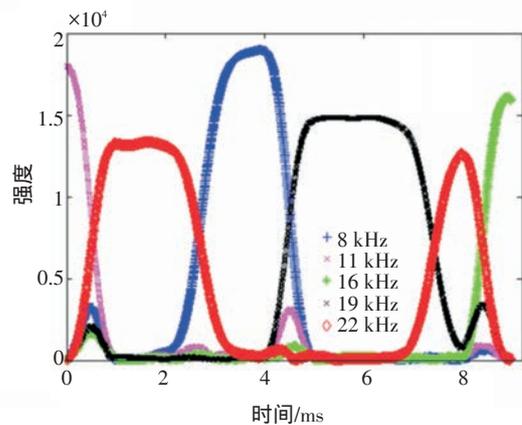


图5 各频率成分的时间分布

由图5可得到五种频率的持续时间分别为:0.528 ms (11 kHz)、2.136 ms (22 kHz)、1.848 ms (8 kHz)、2.912 ms (19 kHz)、0.96 ms (22 kHz)、0.6 ms (16 kHz)。利用以上频率信息可计算出测量点的位置偏差为 $K_x = -0.264, K_y = 0.462$ 。

4 结论

在研究激光驾束制导原理的基础上,根据激光驾束制导信号特有的时频分布特征,采用短时傅里

从图6中,可以清晰看出激光作用后,红外成像跟踪系统的脱靶量有较大的跳变。

3 结论

激光对成像系统作用效果仿真在实现激光作用效应模拟时,采用的两种手段(采用试验取得的激光作用的效果图片进行图像叠加和采用数学模型自动产生)即可大大提高模拟产生的激光作用效应的可信度又可提高模拟效果的逼真度。本仿真系统的优点在于:首次采用了全数字仿真技术手段实现成像系统图像的激光作用效应模拟;该仿真系统成本低、应用灵活、便于其他光电对抗仿真系统的嵌入;可有效的应用于新型装备项目的论证、研发和现有装备的效能评估等专用领域。在随后的研究中,将数字仿真与半实物相结合应该对提高激光作用效果逼真度方面有着很大的提升。

参考文献

[1] 官上红,司汉英.强激光作用下CCD串扰特征研究[J].

光电技术应用,2017,3:6-10.

- [2] 邵立,吴云龙,汪亚夫,等.光电成像系统激光干扰效果定量评估研究综述[J].激光与红外,2016,10(10):1183-1188.
- [3] 张震,江天,程湘爱,等.CCD强光串扰效应的串扰线缺口现象及其机制[J].强激光与粒子束,2010,22(7):1505-1509.
- [4] 车进喜,许晓军,张恒伟,等.红外成像系统中激光耀斑成因机理[J].红外与激光工程,2011,40(8):1537-1541.
- [5] 元凤杰.激光干扰行间转移CCD串扰现象研究[J].半导体光电,2014,35(1):23-25.
- [6] 杨希伟,董忠诚,汪亚夫,等.激光干扰光电成像导引头的建模与仿真[J].红外与激光工程,2011,40(7):1243-1248.
- [7] 范晋祥,李亮,李文军.定向红外对抗系统与技术的发展[J].红外与激光工程,2015,44(3):789-794.
- [8] 初学莲,姜冶,蔡猛,等.激光对长波红外探测设备的干扰效应研究[J].光电与控制,2016,3(3):32-35.
- [9] 元凤杰,李华,王敏,等.激光干扰红外焦平面器件的干扰图像仿真[J].半导体光电,2015,4(2):213-215.
- [10] 张群慧,许明圣,郑茂.高能激光对成像制导系统的干扰效果分析[J].激光杂志,2013,34(6):66-67.

(上接第3页)

叶变换技术,实现对激光驾束制导信息场的检测。通过构建实验装置,采集激光驾束制导调制信号,并利用短时傅里叶变换进行分析,有效的获取了激光驾束制导信号的时频分布及测量点的位置偏差信息,表明了该技术在激光驾束制导信息场检测中的有效性。

参考文献

- [1] 王狂飙.激光制导武器的现状、关键技术与发展[J].红外与激光工程,2007,36(5):651-655.
- [2] 熊旭,杜恩祥,张金忠,等.激光驾束制导信息场检测系统设计[J].装甲兵工程学院学报,2009,23(6):49-52.
- [3] 杜恩祥,常雷,李文珍,等.基于阵列法检测的激光驾束制导信息场特征提取技术[J].装甲兵工程学院学报,2011,25(4):58-60.
- [4] 周军,卢晓东,周凤岐.基于低成本红外成像/激光驾束

的复合制导技术[J].航空兵器,2005,5:10-13.

- [5] 马利国,伍波,周鼎富,等.10.6 μm激光驾束制导仪编码调制器的设计[J].红外与激光工程,2010,39(1):71-75.
- [6] 李娜,王红.激光驾束制导仪中调制盘的设计[J].中国光学,2011,4(4):423-428.
- [7] 王会峰,张文革,王金娜.激光驾束制导仪光信息场模拟测试技术[J].激光与红外,2011,41(9):974-978.
- [8] 李云霞,刘敬海,赵尚弘.激光驾束制导光场信息的模拟技术[J].光子学报,2003,32(4):395-397.
- [9] 王忠,周力.MATLAB环境下的跳频信号分析与仿真[J].计算机仿真,2003,20(11):131-134.
- [10] 张玉恒,吴启晖,王金龙.基于时频加窗短时傅里叶变换的LFM干扰抑制[J].电子与信息学报,2007,29(6):1361-1364.
- [11] 刘文彬,郭瑜,郑文华.基于短时傅里叶变换的油膜振荡故障识别[J].中国测试,2008,34(2):105-107.