

文章编号: 0253-2239(2010)s100406

声光测频系统中的光信号处理研究

李小纳 何 宁

(桂林电子科技大学信息与通信学院, 广西 桂林 541004)

摘要 针对传统载频测量技术越来越不能满足日益复杂的电磁波环境的特点,设计了声光测频系统。主要对该系统中的光信号处理系统进行研究。依据声光衍射理论,对声光偏转器处理频率信号的机理进行了描述,分析了声光偏转器的空间滤波特性,得知在不同频率信号的作用下,声光介质内将会有不同光栅常数的体光栅建立,体光栅会产生不同的作用效果,可以在一定程度上降低噪声对系统的影响。搭建实验系统,从改善系统信噪比、提高信号分辨率和增强对瞬变信号的处理能力等方面进行实验测试。实验证明,系统具有实时性好、截获率高、带宽大、精度高和能同时处理多个信号等特点,能够很好地实现对多个同时到达信号的瞬时频率的测量,充分体现了声光偏转系统的优势。

关键词 光通信;光信号处理;空间滤波;声光偏转;光栅;瞬变信号

中图分类号 TN911 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS201030.s100406

Study on Optical Signal Processing in Acousto-Optic Frequency Measurement System

Li Xiaona He Ning

(School of Information and Communication, Guilin University of Electronic Technology,
Guilin, Guangxi 541004, China)

Abstract As the electromagnetic environment becomes increasingly complex, the problems of traditional carrier frequency measuring are gradually protruded. So the acousto-optic frequency measurement system is designed. Here the optical signal processing is mainly studied. On the basis of acousto-optic diffraction theory, the mechanisms of acousto-optic deflector dealing with frequency signal are described, and spatial filtering of acousto-optic deflector is analyzed. It is obtained that to some degree the system can reduce the effect of noise, because when different frequency signals are input to the piezoelectric transducer, the volume gratings of different grating constants which will have different influence will be established in the acousto-optic media. By experiment, data is tested in the areas of improving signal to noise ratio, ameliorating signal resolution, and enhancing the processing capacity of the transient signal. It is demonstrated that the system has the features of good real-time performance, high interception rate, wide bandwidth, high precision, handling multi-signal simultaneously etc. And it can realize instantaneous frequency measurement of the multiple signals simultaneously arriving at transducer and fully embody the advantages of acousto-optic deflection system.

Key words optical communication; optical signal processing; spatial filter; acousto-optic deflection; grating; transient signal

OCIS codes 050.1940; 050.1950; 050.1960; 050.7330; 070.1060

1 引 言

随着信号环境的日益复杂,现代通信和雷达应用领域对信号处理系统提出了更高的要求。针对雷

达信号侦察接收技术中信噪比和灵敏度提高受限的现状,要进一步改善其性能已成为瓶颈。目前国外正在声光测频技术方面开展相应的研究,将声光器

收稿日期: 2010-05-08; 收到修改稿日期: 2010-07-09

基金项目: 国家 863 计划(2007AA0860)资助课题。

作者简介: 李小纳(1985—),女,硕士研究生,主要从事光通信方面的研究。E-mail: lxnfly@126.com

导师简介: 何 宁(1958—),男,研究员,主要从事光通信方面的研究。E-mail: eicnhe@guet.edu.cn

件应用于信号接收处理系统,提供一种新型的信号接收处理技术^[1~5]。其中声光测频系统中的声光信号处理系统具有大带宽、高增益、高灵敏度和大动态范围等各种优势,能够更好地满足现代电磁波环境的需要,因此,在复杂而密集的电磁波环境中具有广阔的应用前景^[4,5]。文章提出利用声光偏转器构建的光学相干型声光信号处理系统,它可以实现大带宽范围内复杂信号的有效检测,并且具有抑制噪声的能力,在一定程度上提高了系统的信噪比。

2 理论分析

2.1 声光衍射理论

超声波是一种弹性波(纵向应力波),在介质中传播时通过光弹效应引起介质折射率的变化。因此,受到超声场作用的这部分介质如同一个“相位光栅”,即超声光栅,其间隔等于声波的波长 λ_s 。当光波通过这种介质时,会产生光被介质中的超声波衍射的现象(即声光衍射),引起光的强度、频率和方向等发生变化。

声光衍射分为拉曼-奈斯(Raman-Nath)衍射和布拉格(Bragg)衍射两类^[4,7~9]。声光偏转技术利用布拉格衍射来实现信号处理。当超声波频率较高,介质的厚度 L 比较大,光束与声波波面之间以一定的角度斜入射时,光波在介质中要穿过多个声波面,超声光栅可近似看作一种典型的“体光栅”,此时产生布拉格衍射。衍射光不再分为许多衍射级,除了非衍射(0级)光束之外,只出现+1级(或-1级)衍射光束,衍射光强主要集中在1级上。因而,光束能量可以得到充分利用。所以为了获得较高的效率,大部分声光器件都是利用布拉格衍射效应制成的。

声光偏转器由压电换能器与传输超声波的声光介质组成。输入到压电换能器的电信号被转换成携带其振幅和相位信息的超声波,超声波在介质中传播时会引起介质折射率变化,这种折射率变化携带声波的振幅和相位信息。超声波频率随着不同频率的接收信号而发生改变时,光栅常数也跟着改变,从而使光束按预定方向作快速偏转。光束偏转角度与光栅间隔成比例,所以它也正比于接收的射频(RF)信号频率。

2.2 空间滤波分析

声光偏转器工作在布拉格模式下,光束在声光介质(即体光栅)内的传播方式如图1所示^[4,6,9~11]。由布拉格衍射理论可知,布拉格方程为

$$2\lambda_s \sin \theta_B = \lambda, \quad (1)$$

式中 λ 为光波在介质中的波长, λ_s 为声波波长, $\theta_i = \theta_d = \theta_B$, θ_i 和 θ_d 分别为入射光和衍射光与超声波波面间的夹角, θ_B 为布拉格角。

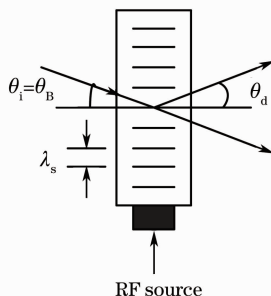


图1 光束在声光偏转器中的传播方式

Fig. 1 Mode of optical beam propagating in the acousto-optic deflector

由布拉格条件可知,当入射光的波长和波矢方向一定时,只有一种波长和波矢的声波会在声光介质内建立起合适的稳定光栅,满足相位匹配条件。而声光偏转器的实际工作条件是入射光的波长和入射角不变,因此,在布拉格条件的制约下,有效的声光衍射只能在一定的信号频率范围内发生^[12]。当信号频率发生改变,即声频改变时,将不满足动量匹配条件,出现相位失配现象,导致衍射角发生改变和衍射效率的降低。

由耦合波理论可知,在布拉格条件下,声光相互作用的衍射效率为

$$\eta = \sin^2 \left(\frac{\pi n_1 L}{\lambda_0 \cos \theta_B} \right), \quad (2)$$

式中 λ_0 为空气中光波的波长, n_1 为折射率调制幅度。

由(2)式可知,当 $n_1 L / \cos \theta_B = \lambda_0 / 2$ 时,在理论上衍射效率可以达到100%,此时入射光能量可以得到充分利用。

当光束不满足布拉格条件时,将引起动量失配,使得衍射光强度降低,甚至出现无衍射光的现象。由声光偏转器的工作原理可知,当在声光偏转器带宽范围内的信号频率不稳定时,超声波不断发生变化,使得稳定光栅无法建立,出现相位失配现象,导致声光偏转器对入射光的衍射效率明显降低或者为零。同时,声光器件为介质材料,抗电磁干扰能力很强。因此声光器件对噪声有较好的抑制作用,具有一定的空间滤波性,有利于系统信噪比的提高。

3 光信号处理系统组成与实验

实际的测频系统主要由射频信号处理、光电处

理和电信号处理三部分组成,如图 2 所示。在此主要研究光电处理部分,如图 2 虚线框所示,其主要由单频激光器、扩束器、声光偏转器、激光注入器、光斑

压缩透镜、保偏光纤合路器、光电探测模块和滤波放大模块组成,以声光偏转器为核心,通过光学相干方法实现光学信号处理。

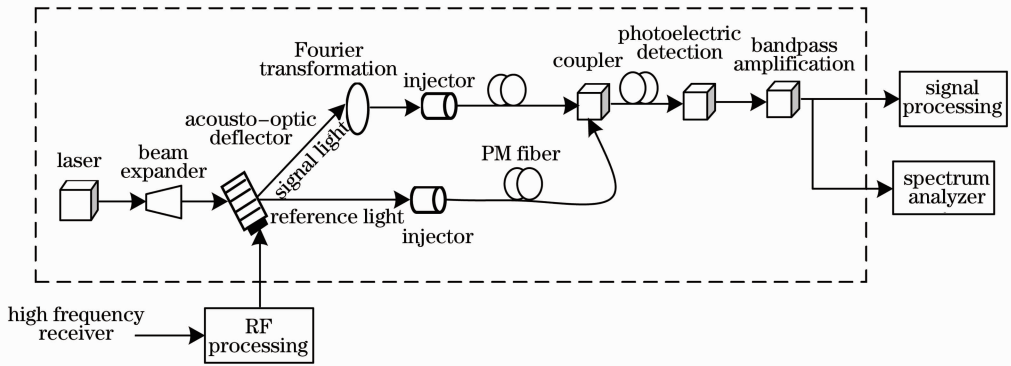


图 2 基于声光技术的测频系统

Fig. 2 Frequency measurement system based on acousto-optic technology

激光器是整个系统的关键设备,它的谱线宽度直接影响系统的稳定性和探测信噪比。因此,本系统选用高频率稳定性和窄线宽的激光器。激光扩束器为一个固定倍数的光斑扩大装置,以保证信号光斑大小完全覆盖声光偏转器的有效入射光孔径。光斑压缩透镜将声光偏转器衍射后的光斑进行压缩处理,以满足激光注入器的入射光孔要求。激光注入器为一个透镜组,它是将空间光注入光纤的装置,以便光信号能在光纤中处理,减小背景光噪声的影响,同时也实现对多路信号的复用。保偏光纤合路器用于保证信号光和参考光的偏振态和传输方向的一致性,使两路光在保偏光纤中实现相干^[13]。光电探测模块完成信号光与参考光的混频,实现光电转换。滤波放大模块实现信号的滤波,减小带外信号干扰,使带内信号放大到一定幅度,以便于后续信号处理。

在此主要讨论的声光偏转技术,是通过声光衍射作用,使得入射光经声光偏转器后分为 0 级光和 1 级光,0 级光作为参考光与 1 级光(即信号光)进行相干。

声光偏转器能实时处理宽带捷变信号,其分辨率由声光晶体的时宽(即渡越时间)决定。频率分辨率 δf (或称分辨率带宽)与渡越时间 τ 的关系为^[1,2]

$$\delta f = R/\tau, \quad (3)$$

式中 R 为常数,取 $R=1$ (瑞利判据),则

$$\delta f = 1/\tau. \quad (4)$$

为了达到提高分辨率的目的,必须延长渡越时间。渡越时间越长,需要的声光晶体的尺寸就越大,因此需要选择合适的声光晶体长度。

在高分辨率的条件下,可以实现对多路信号的

复用。然而,在多路信号同时作用时,会出现互调现象。为了达到对多路信号的准确处理,必须尽可能地减小互调现象对信号探测的影响。为此,合理选择声光偏转器的工作状态,控制加载到声光偏转器的信号功率是非常必要的。在合适的工作状态下,声光偏转技术可以保证对一定带宽和动态范围的瞬时脉冲频率信号实现快速截获,并且具有一定的空间滤波性,可以降低噪声,提高系统信噪比。

测试中系统采用波长为 532 nm,输出功率为 50 mW,线宽为 30 MHz 的单纵模固体激光器,中心频率为 400 MHz,带宽为 200 MHz,渡越时间为 2 μ s(即频率分辨率为 0.5 MHz)的声光偏转器,工作波长为 532 nm 的激光注入器和保偏光纤合路器。

这里,主要对基于声光偏转技术的光电信号处理部分进行实验测试。在声光偏转器带宽范围内,用频谱仪对光电处理系统的输出信号进行跟踪监测。图 3 和图 4 是对同时作用于系统的两路信号进行光电信号处理后的输出频谱,横坐标表示在系统带宽内被测瞬时信号的频率位置情况,纵坐标表示每个时刻捕获信号的瞬时功率值,测试中保证了 3 dB 带

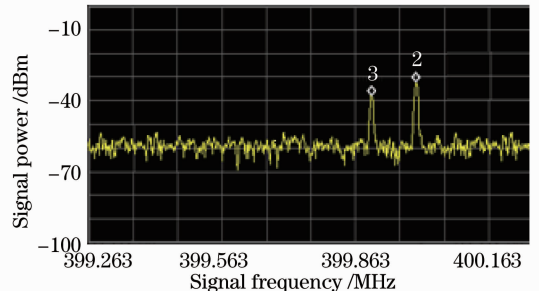


图 3 信号相干探测频谱图

Fig. 3 Spectrum of coherent detection

宽的幅频特性。图 3 中光标 2 频率为 400 MHz,光标 3 频率为 399.9 MHz,间隔为 100 kHz,图中显示两个不同频率信号完全可以分辨出来,系统分辨率优于声光偏转器的器件理论值。图 4 为输入光标 1 频率为 310 MHz 和光标 2 频率为 500 MHz 时系统瞬时测频带宽的谱图。

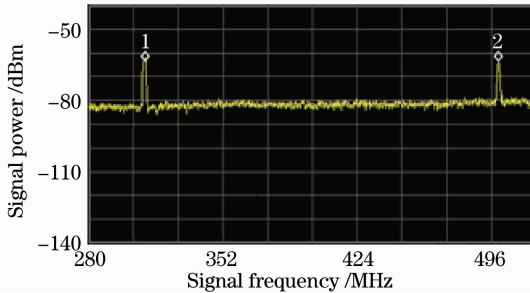


图 4 瞬时测频带宽

Fig. 4 Transient bandwidth

经多次测试得知,系统性能得到明显改善。在系统带宽内可以实现对连续和捷变的多路信号的实时快速截获,系统瞬时带宽达到了 200 MHz,截获概率接近 100%,系统分辨率优于 0.1 MHz。由于声光偏转器对信号的滤波选择作用,和系统中结合激光注入光纤进行传输和处理的技术,减小了背景光噪声对系统的影响,使得系统输出稳定性和信噪比得到极大改善,对多路信号作用的分辨能力大大提高,为后续信号处理奠定基础。

4 结 论

基于声光偏转的光信号处理系统使得系统的探测能力大大提高,作为关键器件的声光偏转器不仅可以实现对一定带宽和动态范围的瞬时脉冲频率信号的快速截获,而且具有一定的空间滤波性,对提高系统信噪比,实现信号的同时探测、传输和处理具有很大的优越性。通过理论分析和实验测试证明此系统可以降低噪声,改善系统信噪比,提高系统分辨率,实现对信号实时、快速、准确的测量,有利于测频技术的实际应用。

参 考 文 献

1 He Dawei, Li Yefan, Xu Chengjie *et al.*. High dynamic range acousto-optic device[J]. *Acta Optica Sinica*, 1998, **18**(12): 1711~1715
何大伟,李也凡,许承杰等.高动态范围声光接收机[J].*光学学报*, 1998, **18**(12): 1711~1715

2 Jiang Hongyan, He Ning, Chen Ming. Study about carrier frequency measurement based on acousto-optic deflection effect [J]. *Optical Technique*, 2008, **34**: 299~301
蒋红艳,何宁,陈明.声光偏转效应载频测量的方法研究[J].*光学技术*, 2008, **34**: 299~301
3 He Xiaoliang, Liu Wei, Zhou Jianguo *et al.*. Application of high-resolution acoustooptic deflector on spectrum analysis [J]. *Piezoelectrics & Acoustooptics*, 2005, **27**(5): 477~478, 489
何晓亮,刘伟,周建国等.应用于频谱分析的高分辨率声光偏转器[J].*压电与声光*, 2005, **27**(5): 477~478, 489
4 Cheng Naiping, Jiang Xiufu, Shao Dingrong *et al.*. Acousto-Optic Signal Processing and Application[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2004. 1~19, 193~198
程乃平,江修富,邵定蓉等.声光信号处理及应用[M].北京:国防工业出版社, 2004. 1~19, 193~198
5 Wang Danzhi, Shao Dingrong, Li Shujian. A wideband acousto-optic spectrum measurement system based on PCI[J]. *Remote Sensing and Remote Control*, 2004, **25**(3): 27~31
王丹志,邵定蓉,李曙坚.基于 PCI 总线的宽带声光测频系统[J].*遙测遙控*, 2004, **25**(3): 27~31
6 Xu Jieping. The Principle, Design and Application of Acousto-Optic Device[M]. Beijing: Science Press, 1982. 300~311
徐介平.声光器件的原理、设计和应用[M].北京:科学出版社, 1982. 300~311
7 An Yuying, Liu Jifang, Li Qinghui. Optoelectronic technology [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2007. 65~69
安毓英,刘继芳,李庆辉.光电技术[M].北京:电子工业出版社, 2007. 65~69
8 Chen Daishu. Modulation transfer characteristics of an acousto-optic deflector[J]. *Chinese J. Lasers*, 1982, **10**(10): 711~713
陈代书.声光偏转器的调制传递特性[J].*中国激光*, 1982, **10**(10): 711~713
9 Yu Kuanxin, Zhao Qida, He Shiya *et al.*. Acousto-electro-optic effect and acousto-electro-optic device[J]. *Acta Optica Sinica*, 1997, **17**(2): 253~256
俞宽新,赵启大,何士雅等.声光电效应与声光器件[J].*光学学报*, 1997, **17**(2): 253~256
10 Jacques E. Ludman, Nadya O. Reinhand, Irina V. Semenova *et al.*. Very thick holographic nonspatial filtering of laser beams [J]. *Opt. Eng.*, 1997, **36**(6): 1700~1705
11 Xiang Hongli, Yang Dexing. Study of the angle selectivity of volume grating [J]. *J. Xi'an University of Post and Telecommunications*, 2007, **12**(5): 34~37
向红丽,杨德兴.体全息光栅角度选择性的研究[J].*西安邮电学院学报*, 2007, **12**(5): 34~37
12 Sun Ning. Research on the Signal Processing System Based on Acousto-Optic Technology [D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2009. 6~17
孙宁.基于声光技术的信号处理系统研究[D].成都:电子科技大学, 2009. 6~17
13 He Ning, Jiang Hongyan. Research on the coherent detection for frequency based on acousto-optic deflection [J]. *Laser & Infrared*, 2009, **39**(11): 1189~1192
何宁,蒋红艳.基于声光偏转的载频相干探测研究[J].*激光与红外*, 2009, **39**(11): 1189~1192