

声光频谱分析器的信号处理*

金圣经 朴 燕 王瑞光 刘维亚 丁 香

(中科院长春物理研究所, 长春 130021)

摘要 集成光学声光频谱分析器是由半导体激光器、导波声光调制器、波导短程透镜和 CCD 探测器阵列所构成。CCD 探测器把接收的光信号转换成电信号,再由 TMS32010 系统与 IBM-PC 机组成的主从工作机的信号处理中心进行处理。微机系统中的 CPU 采用 TMS-32010。CCD 视频信号采集用循环间隔采样方式。此样机达到的指标:系统带宽为 100MHz,分辨率为 8MHz,动态范围为 20dB。

关键词 信号处理;声光频谱分析器;CCD 探测器阵列

一、引言

在电子支援措施(ESM)中声光频谱分析器作为接收机组成部分而日益受到重视。这种光学频谱分析器在处理微波信号和射频信号方面更具优点,其并行处理和高速度特点在进行 Fourier 变换操作时即使是大型高速电子计算机也无法与之相比。在当代电子战中随着宽瞬时带宽和高密度相结合的信号环境的出现,使得传统的超外差技术逐渐失效。而这种基于声光调制和光学 Fourier 变换原理工作的声光频谱分析器将适用于未来电子对抗的应用。它能实时处理多个同时到达的雷达信号,几乎有百分之百的截获几率。

集成光学声光频谱分析器(IOAOSA)是将相应的体波元件集成于单片的晶体衬底上,它有体积小、重量轻和结构稳定等优点。它将在预警飞机和天文卫星上获得重要应用。但是,要想充分利用这种光学频谱分析的优点,还得逐步改进电子信号处理系统的性能。

二、集成光学声光频谱分析器系统

IOAOSA 是由半导体激光器、导波声光调制器、波导短程透镜和 CCD 探测器阵列混合集成在 Y-切割 LiNbO_3 光波导上所构成的,其结构图示于图 1。

来自高频接收系统的射频信号经差频和放大转换成适合于叉指换能器的工作频带

1991.11.22 收到,1992.6.29 定稿。

* 国家 863 高技术资助课题。

金圣经	男,1936年生,研究员,现从事专业为无线电电子学(信号检测、图象技术)。
朴 燕	女,1965年生,实习研究员,现从事专业为通信工程。
王瑞光	男,1957年生,副研究员,现从事专业为光学电子工程(计算机应用)。
刘维亚	男,1952年生,副研究员,现从事专业为无线电技术。

的电信号。此电信号激励叉指电极,产生在波导中传播的声表面波。可以把声表面波视为一位相光栅。它与端面输入的激光束发生 Bragg 声光作用后,其衍射光再经透镜聚焦于 CCD 探测器阵列上。光束的衍射角与声频率成正比;衍射光强与声功率成正比(本系统声驱动功率小于 200mW)。因此,光速的空间位置和强度是射频信号的频率和功率的量度,故可对射频信号进行实时功率谱分析。

如图 1 所示,半导体激光器发射的光束由端面耦合入光波导,由第一个透镜准直和扩束,以 Bragg 角投射在声光盒(位相光栅)上,即 Z_0 面上。假定输入电信号为 $E(f)$, 通过叉指电极转换成空间分布信号 $E(Z_0)$ 。衍射光经 Fourier 变换透镜聚焦于 CCD 探测器阵列上,即频率平面 Z_1 上。在 Z_1 面上衍射光场分布为^[1,2]

$$E(f_{z_1}) = \int_{-\infty}^{\infty} W(Z_0) \exp(-j2\pi f_{z_1} Z_0) dZ_0 \quad (1)$$

式中 $Z_0 = V_s t$ (Z_0 为输入平面纵坐标, t 为时间变量, V_s 为声表面波速度); $f_{z_1} = f/V_s$ (f_{z_1} 为 Z_1 面上的空间频率, f 为声表面波频率); $Z_1 = \lambda_0 F/f_{z_1}$ (Z_1 为空间频率面上的纵坐标, λ_0 为激光束的真空波长, F 为 Fourier 变换透镜的焦距); $W(Z_0)$ 是加权函数,它包括窗口函数、光学振幅分布的截断函数和声吸收函数。

经光电探测器接收后,其加功率谱为

$$S(f_{z_1}) = |E(f_{z_1})|^2 \quad (2)$$

由于 CCD 探测器有许多优点,如空间分辨率较高;工作速度快,且数据率可调,既适合于动态测量又适合于静态测量;理想的扫描线性,可进行像素寻址和变换扫描速度;有数字扫描能力,像素位置可由数字码确定;有数字化输出的各种同步信号, I/O 接口和微机兼容;故易与微机组成高性能测试系统。

三、IOAOSA 系统的信号处理

由于 CCD 具有上述优点,最适合于作高精度、高速度光电传感器。我们把 CCD 探测器与微机联用进行数据采集处理作实时频谱分析。图 2 表示 IOAOSA 系统方框图。

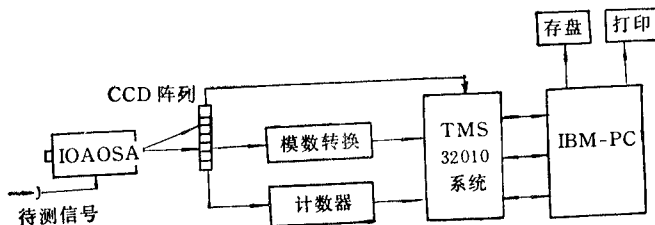


图 2 IOAOSA 系统方框图

由 IOAOSA 的 CCD 阵列接收的光信号转换成电信号,经信号处理与微机接口。本系统中用

TMS32010 (它为 ATD-320 系统的主机芯片, 具有 20 MHz 工作时钟频率, 每秒 500 万条指令工作速度)^[3]系统与 IBM-PC 机形成主从工作机作为信号处理中心. 待测信号经 IOAOSA 之后产生相应的衍射光斑, 照射到 CCD 阵列上产生相应的视频信号, 该信号经 A/D 转换器输入给 TMS32010 系统和 IBM-PC 机, 经数据处理后显示或打印输出待测分析信号的功率谱图.

TMS 32010 系统可使 PC 机在高级语言模块处理达到超级小型机 VAX-II 的运算速度. 当它作为 PC 机的高速运算板时, 可使信号处理计算过程的速度提高 80~400 倍. TMS 32010 与 PC 机并行通信接口, 采用查询方式^[3].

CCD 视频信号的数据采集用循环间隔采样方式. 在数据采集系统中, 由于 TMS32010 具有很高的工作速度, 因此数据采集的主要时间取决于 A/D 转换时间. AD5741A 转换一个数据所需时间短于 35 μs , 我们设每采样一个数据需 40 μs . 由于 CCD 数据率时钟周期为 1 μs , 所以, 采样间隔为每隔 40 点采样一次以调节 CCD 的输出速度, 来解决 CCD 的输出速度快于模数转换速度的问题, 并能无遗失地采集每点数据信息. 本系统采用了 TCD102C-1 CCD 阵列, 其像素为 2048 个. 其中采样从第 901 点到第 1081 点共 180 个光敏源数据作为测量单元(可根据待测信号的带宽和具体要求通过改变软件计数器的初始常数很方便地改变采样点的个数).

四、测量结果

(1) 用该系统测量了无像差非球面短程透镜的衍射光斑, 其精度为正负 1 μm . 图 3

表示入射光束宽度 1mm 时衍射光斑的光强分布, 其 3dB 宽度为 8 μm , 很好地满足了 IOAOSA 的要求.

(2) 样机实验. 采用 632.8nm 波长的 He-Ne 激光和 790nm 波长的半导体激光通过波导端面与发光面直接对接耦合方法对 50MHz 带宽进行了系统实验, 达到 8MHz 分辨率和约 20dB 的动态范围.

对 100MHz 系统带宽用 790 nm 波长半导体激光器的实验也达到同样水平. 图 4(a), 4(b) 分别表示带宽和分辨率

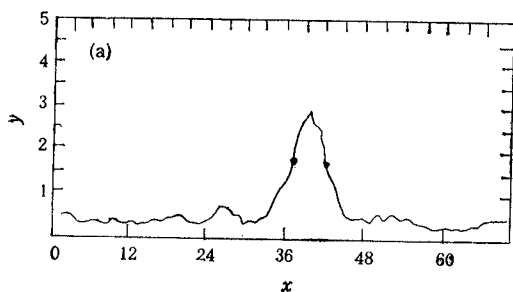
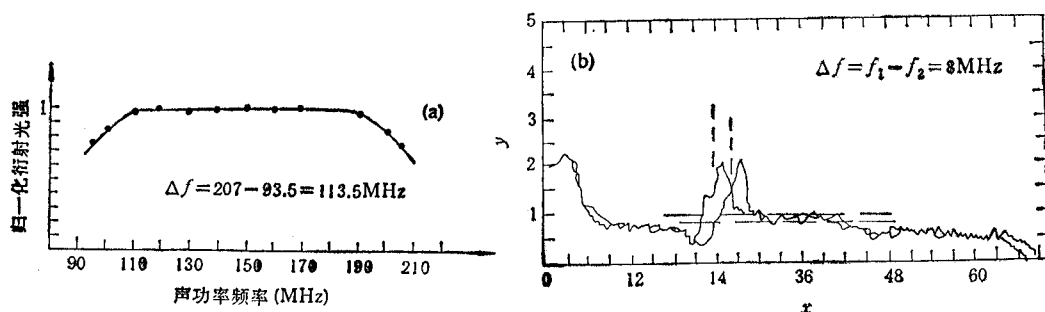


图 3 短程透镜衍射光斑的光强分布
x 坐标: 每小格为 28 μm , 即两个探测单元. 测试系统放大倍数为 24.
y 坐标: 相对光强.

率的测试曲线. 由图 4(b) 计算出动态范围.

工作带宽: 在输入功率不变的情况下, 改变频率, 测出系统输出功率, 其测试数据列于表 1.

声光叉指换能器的中心频率为 150MHz, 低频端为 90MHz, 高频端为 200MHz. 在扫频仪 (BT3) 下得到以 150MHz 中心频率为对称点的频率响应曲线. 图 5 表示用扫频仪测试的声光叉指换能器频率响应曲线.



(a) 归一化衍射光强的频率响应曲线

(b) 分辨率和动态范围的测试曲线(两个频率 f_1 和 f_2 的光强(衍射)分布)

图 4 * 坐标: 每小格为 $28\mu\text{m}$, 即两个探测单元. 测试系统放大倍数为 24. y 坐标: 相对光强.

表 1 工作带宽的测量数据

$f(\text{MHz})$ 输入功率 的频率	95	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	205
P (相对光强)	1.6	1.8	2.1	2.15	2.1	2.1	2.15	2.15	2.15	2.1	2.1	1.8	1.6
归一化强度	0.74	0.84	0.97	1	0.97	0.97	1	1	1	0.97	0.97	0.84	0.74

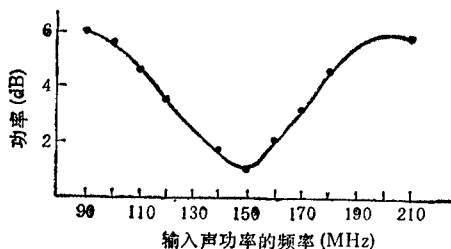


图 5 叉指换能器的频率响应曲线, 中心频率为 150MHz

五、讨 论

(1) IOAOSA 系统的动态范围主要受散射光影响, 我们采用光源光束斜入射的方法, 用探测器上避开较强的背景光. 我们实验中限制动态范围的最主要因素是 CCD 探测器阵列本身的动态范围较低. 如果用新近研制的信噪比较高的探测器, 系统的动态范围, 尚可大幅度提高.

(2) 波导短程透镜是目前制作 IOAOSA 的最为合适的一种集成光学元件. 它的优点是损耗低, 孔径大和旋转对称. 这对提高分辨率和动态范围都有益处. 故这种方案优于采用光栅透镜的 IOAOSA 方案.

(3) 对声光叉指换能器的要求是有宽的带宽和高的衍射效率. 但是, 由于受到 Bragg 相位匹配条件、叉指电极的极限频率响应以及重叠积分和带宽的限制, 所以要通过电极结

构的变化以及调整模深度达到最佳综合结果,我们采用的倾斜式变周期叉指电极结构极容易扩展带宽。

(4) 采用 CCD 模拟移位存储器,也可以解决由于 A/D 变换器变换速度慢带来的问题。

注 1 取最大信号与噪声的均方差之比为动态范围:

$$\begin{aligned}\text{动态范围} &= 10 \times \lg (\text{最大信号/噪声均方差}) \\ &= 10 \times \lg (S/\delta)\end{aligned}$$

其中 $\delta = [\sum (X_i - \bar{X})^2 / (N - 1)]^{1/2}$, $\bar{X}$ 是噪声平均值, S 是最大信号减去 $\bar{X}$ 。按此式计算动态范围为 17.8dB。

采用多次取样,求出取样信号的平均值和均方差,用上述公式计算,取样次数为 4 时,动态范围为 19.3dB。

注 2 频率分辨率: 按瑞利判据,测量相应的两频率的衍射光斑的光强分布,求出频率差。频率间隔 10MHz (146—136MHz) 时,远小于瑞利判据,频率间隔 8MHz 时,瑞利判据为 0.805,接近 0.811 判据,即为刚好分开两个光点。

参 考 文 献

- [1] M. K. Barnoski, Bor-Wei Chen et al., *IEEE Trans. on CAS*, **CAS-26**(1979) 12, 1113—1124.
- [2] J.W. 顾德门, *Fourier 光学导论*, 科学出版社, 北京, 1979 年, 第五章, 第二节.
- [3] 中国科学院声学所中国软件技术开发部, TMS32010 数字信号处理器软件和硬件开发技术, 1987 年 5 月.

THE DATA PROCESSING TECHNIQUE OF THE IOAOSA

Jin Shengjing Piao Yan Wang Ruiguang Liu Weiya Ding Xiang

(Changchun Institute of Physics, Academia Sinica, Changchun 130021)

Abstract An IOAOSA (Integrated Optical Acoustooptic Spectrum Analyzer) system consists of semiconductor laser, acoustooptic modulator, geodesic lenses, and CCD detector array. The optical signal is converted to electrical signal by CCD array of the IOAOSA processor, and then the signal is processed by the signal processing center which consists of TMS32010 system and IBM-PC. The TMS32010 is used in the microcomputer system. It has very high speed. A cyclic sample method is used to collect the data of the CCD video signal, sampling one point every 40 points. After the data processing, the frequency bandwidth, the resolution and the dynamic range of the system are measured to be 100MHz, 8MHz and 20dB, respectively.

Key words Signal processing; Acoustooptic spectrum analyzer; CCD detector array