

文章编号: 0258-7025(2004)Supplement-0434-03

高精度激光与红外对抗材料特性测试系统的设计

兰勇, 戴穗安, 沈曦, 刘菊

(国防科技大学理学院, 湖南 长沙 410073)

摘要 激光与红外干扰材料的特性测量中, 为克服热像仪温度分辨率低的缺点, 设计了高精度激光与红外对抗材料特性测试系统, 该系统光源采用带精密功率和温度控制的半导体激光器(1.06 μm)和中远红外辐射板(3~5 μm , 8~12 μm), 并采用斩波频率为12 Hz的机械斩波方式。探测器选用高灵敏度的带滤光片的PIN管和热释电探测器, 光学接收系统采用 $\phi 178$ mm的卡塞格伦聚光接收系统, 测试系统的软件用Measurement Studio编写, 采用了128阶FIR数字带通滤波器和AR功率谱模型进行数字信号处理, 系统透过率测量分辨率>0.5%, 测量精度>1%, 测量距离>200 m, 并且提供了完备的试验数据和图表的分析、统计的功能。

关键词 激光技术; 红外; 材料特性; 透过率

中图分类号 TN247

文献标识码 A

Design of High-Accuracy Laser and Infrared Ray Interference Material Test System

LAN Yong, DAI Sui-an, SHEN Xi, LIU Ju

(School of Science, National University of Defense Technology, Changsha, Hunan 410073, China)

Abstract The high-accuracy laser and infrared ray interference material test system are designed to overcome the thermal image system's shortcoming of low resolution of temperature. The light sources of the test system are 1.06 μm wavelength LD and 3~5 μm and 8~12 μm wavelength infrared radiation plate and it is modulated with a 12 Hz mechanical chopper. The sensors are PIN and pyroelectricity sensors with optical filter. The optical receiver system is a $\phi 178$ mm Cassegrain optical system. The software is programmed in NI measurement studio, and some digital signal processing method like FIR band-pass filter and AR power spectrum are used to process the optical signal. This system's resolution is better than 0.5% and its accuracy is better than 1%. This system also supplies a complete experimental data analysis and statistic functions.

Key words laser technique; infrared; material characteristic; transmission ratio

1 引言

目前, 对抗激光制导和红外制导武器的最有效方法是采用烟雾和气溶胶布洒的方式, 而检测激光和红外对抗材料特性的方法也主要是利用热成像仪的温度梯度进行测量的功能。由于热像仪的温度分辨率很低, 检测参量不完整, 精度差, 并不能满足高精度干扰特性测量的需要, 因此有必要研制高精度激光与红外对抗材料特性测试系统。

2 红外辐射理论及数字信号处理

2.1 红外辐射基本理论

普朗克公式: 为了克服瑞利-金斯公式在高频区的原则性困难, 普朗克根据自己提出的微观粒子

能量不连续的假说, 导出了描述黑体辐射光谱分布的普朗克公式, 即:

$$M_{\omega} = \frac{2\pi h \nu^3}{c^2} \frac{1}{\exp(h\nu/kT) - 1}$$

斯特藩-玻尔兹曼定律: 黑体的全辐射的辐出度与其温度的四次方成正比。即:

$$M_b = \sigma T^4$$

式中 $\sigma = (5.67051 \pm 0.00019) \times 10^{-8} \text{ W/m}^2$

2.2 数字信号处理

随机振幅正弦序列 $X(n) = A \sin(2\pi f n T_s)$, 其自功率谱为 $P_x[\exp(j\omega)] = \sum_{m=-\infty}^{\infty} r_x(m) \exp(-j\omega m)$, 反映了信号的功率在频域随频率 ω 分布。它是自相关函数的傅里叶变换。

作者简介: 兰勇(1959-), 男, 国防科技大学理学院副教授, 主要从事光电检测技术及应用方面的研究。

E-mail: lyonglan@sina.com

对于各态遍历信号 $x(n)$, 由于其自相关函数 $r_x(m)$ 可用时间平均来定义, 故其功率谱也可用时间平均来定义, 如下式:

$$P_x[\exp(j\omega)] = \lim_{M \rightarrow \infty} E \left\{ \frac{1}{2M+1} \left| \sum_{n=-M}^M x(n) \exp(-j\omega n) \right|^2 \right\} = \lim_{M \rightarrow \infty} E \left\{ \frac{|X[\exp(j\omega)]|^2}{2M+1} \right\}$$

可以证明, 上两式对功率谱的定义是等效的。

广义平稳随机信号 $x(n)$ 自相关函数的定义由下式给出:

$$r_x(m) = E\{X^*(n)X(n+m)\}$$

当 $n < 0$ 时, $x(n) = 0$, 且 $x(n)$ 是实信号, 这样, 其自相关函数由下式给出:

$$r(m) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n)x(n+m)$$

如果观察值的点数 N 为有限值, 则求 r_m 估计值为:

$$\hat{r}(m) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x_N(n)x_N(n+m)$$

在周期图法中, 把随机信号 $x(n)$ 的 N 点观察数据 $x_N(n)$ 视为一能量有限信号, 直接取 $x_N(n)$ 的傅里叶变换, 得 $X_N[\exp(j\omega)]$, 然后再取其幅值的平方, 并除以 N , 作为对 $x(n)$ 真实的功率谱 $P[\exp(j\omega)]$ 的估计。以 $\hat{P}_{\text{per}}[\exp(j\omega)]$ 表示用周期图法估计出的功率谱, 则:

$$\hat{P}_{\text{per}}(\omega) = \frac{1}{N} |X_N(\omega)|^2$$

3 系统设计

一个比较完整的红外系统通常包括光学系统、调制盘、红外探测器、电子线路和显示记录装置。

3.1 红外辐射源

产生红外辐射的物体就是红外辐射源。在自然界, 任何温度高于绝对零度的物体都在向外辐射各种波长的红外线, 物体的温度越高, 其辐射红外线的强度也越大。在大气环境中, 目标的红外辐射只能在 $1\sim 2.5 \mu\text{m}$, $3\sim 5 \mu\text{m}$, $8\sim 14 \mu\text{m}$ 三个窗口有效传输。

考虑到红外大气传输的衰减规律, 本系统光源部分采用的是 50 mW 的 $1.06 \mu\text{m}$ 半导体激光器以及用硅碳板制作的中远红外辐射板。因为要求系统的测量距离超过 200 m 时能精确测量, 利用普朗克公式可近似计算出符合 $3\sim 5 \mu\text{m}$, $8\sim 14 \mu\text{m}$ 两个波长段的辐射温度约为 510 K 。为保证辐射强度的稳定性, 设计了配套的精密功率和温度控制模块。当温度上升到预设值后, 其光谱非常稳定(如图 1 所示)。

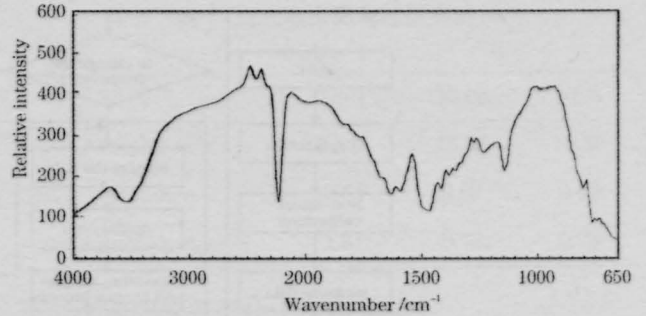


图 1 红外辐射光谱

Fig.1 Spectrum of infrared resource

3.2 调制盘

调制盘也称斩波器, 其目的是将目标辐射转变成电子线路容易处理的交变信号, 使目标信息与背景干扰信号相分离。本系统对光源的调制采用机械斩波的方法, 斩波频率为 12 Hz 。

3.3 光学接收系统和前置放大电路

3.3.1 光学接收系统

平行辐射束在媒质中传播时, 要受到中介媒质的反射、吸收、散射等过程衰减, 只有一部分辐射功率透过媒质, 被探测器接收。

光学接收系统的作用是重新改善光束的分布, 更有效地利用光能。它的使用可大大提高探测器灵敏面上的照度, 提高信噪比, 增大探测能力。

本系统采用 $\phi 178 \text{ mm}$ 的卡塞格伦聚光接收系统, 以满足远距离测试的需要。为了增加红外探测器的视场, 在探测器前增加一菲涅耳会聚透镜。

3.3.2 前置放大电路

在红外系统中, 红外探测器输出的电信号非常微弱, 它只有被充分放大和各种处理后才能记录下来。本系统的前置放大电路由四级功率放大和一级带通滤波电路组成。该电路增益可根据探测距离的不同用可调电阻调节。通过该滤波放大电路, 有效地避免了周围环境的影响, 极大地提高信噪比, 为高精度测量打下良好的基础。

3.4 软件编程和数字信号处理

3.4.1 A/D 数据采集板卡

从探测器和前置滤波放大电路出来的信号要经过 A/D 采集卡后才能进行各种处理。本系统的数据采集设备用的是多通道高速 A/D 采集卡, 其数据转换精度为 12 位。

3.4.2 程序框图

测试系统的软件采用美国 NI 公司的 Measurement Studio 编写, 采用了 128 阶 FIR 数字带通滤波器和 AR 功率谱模型进行数字信号处

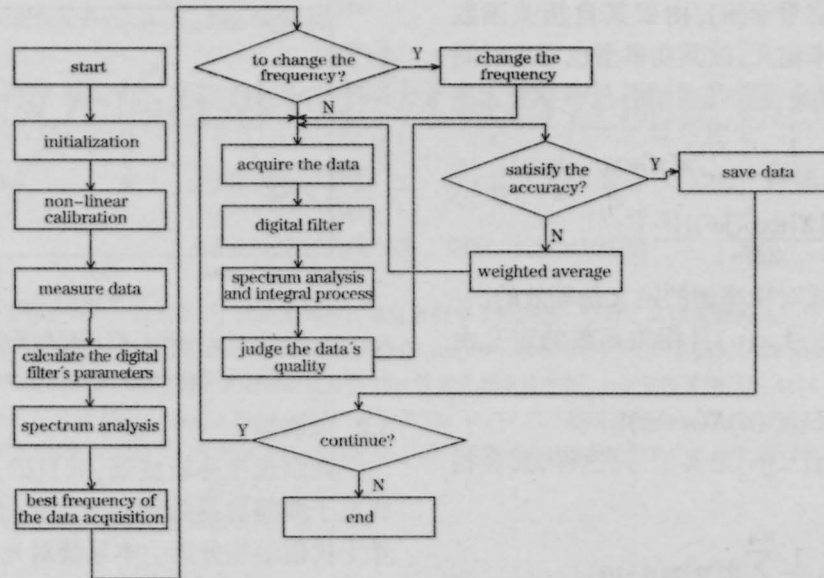


图 2 CVI 编程流程框图

Fig.2 Flowchart of the system

理。程序的工作过程可通过所附流程图加以描述(见图 2)。

在室外远距离不能提供参考信号,所以在系统的信号处理过程中用功率谱估计技术实现信号的自相关检测来达到所需的精度要求。

因为分析信号为周期信号,可通过整周期采样技术获得信号的若干完整周期,以最少的采样数据得到精确的分析结果。故采用经典谱估计中的改进周期图法,该方法可直接利用 FFT 算法进行计算,速度快,效率高,提高了 FFT 的测量精度,满足了红外干扰特性测试时实时性的要求。

4 总 结

本系统能分别和同时对红外辐射的从近红外的 1.06 μm 到中远红外的 3~5 μm , 8~12 μm 等各个

波段对目标的遮蔽效果、遮蔽时间、透过率等参数进行定量测量,实时性很强。其探测距离可达 200 m 以上,分辨率优于 0.5%,精度优于 1%,且提供了完备的试验数据和图表的分析、统计功能。

系统的研制成功为高精度大动态测试激光和红外材料的对抗特性提供了一个有效的检测手段。该系统现已交付中国船舶工业总公司投入使用。

参 考 文 献

- 1 E. Hecht, A. Zajac. Optics[M]. Addison-wesley Publishing Co., 1974.79~80
- 2 A. V. Oppenheim, R. W. Schfer. Digital Signal Processing[M]. Prentice-Hall, Inc, USA, 1975.213~257
- 3 Wang Zhijiang. The Manual of Optical Technology[M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 1987. 344~365
王之江. 光学技术手册[M]. 北京:机械工业出版社, 1987.344~365