

近红外凝视测角仪

刘上乾 赵富荣 杨宜禾 李泽兰

(西安电子科技大学技术物理系, 陕西, 西安, 710071)

摘要: 介绍了近红外凝视测角仪的原理和结构, 讨论了其中的关键技术问题及其解决方案.

关键词: CCAID, 光电测角仪, 成像制导.

引言

指令式反坦克导弹制导系统(ATGS)基于测角获取制导控制信号. 它利用光电测角仪测出导弹相对于瞄准光轴的偏离角度, 并将其馈送至控制箱, 控制箱据此编制并发出控制指令, 驱使导弹回归瞄准光轴方向飞行. 现役指令式反坦克导弹制导系统(如 Millian, Dragon, Tow, Hot)中的光电测角仪是利用单元红外探测器作敏感元件、接收信标——导弹尾部的合作光源(钽管)辐射的能量, 并采用调制盘方式提取导弹偏离光轴的角度信息. 这类测角仪探测灵敏度低、作用距离较短、测角精度低、机械稳定性差, 难以满足高精度和高可靠制导的要求. 为此, 我们采用电荷耦合面阵图像传感器(CCAID)开发了一种近红外凝视光电测角系统; 由于它采用了多元列阵成像测角及内插细分技术, 因而克服了上述光电测角仪灵敏度和精度不高等不足之处, 而且结构简单、成本低, 是一种具有较大竞争潜力的近红外凝视光电测角仪.

1 结构和原理

本系统主要由光路、光图传感器(CCAID)、模拟信号处理器、数字信号处理器等部分组成, 其原理框图如图1所示. 光学系统将来自目标和导弹信标的光能汇聚于CCAID的光敏面上, CCAID在扫描电路的驱动下, 将所接收的光图转换为相应的视频信号输出. 模拟信号处理器对输入的信号作进一步处理, 以获得信噪比较高的

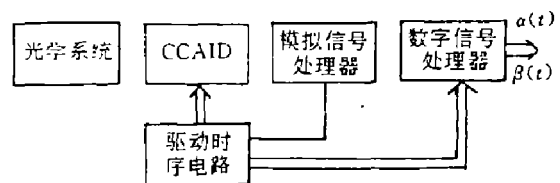


图1 光电测角仪原理框图
Fig. 1 The principle diagram of photoelectric angle-measuring instrument

视频信号。为了扩大系统的动态范围,使其在不同工作环境(天气、地理位置等)和信号强弱(导弹由近及远地飞行)变化时都能稳定可靠地工作,在光路和模拟信号处理器中均采用了自适应措施——可控光栏和延迟式自动增益控制电路;数字信号处理器主要由图像存贮区,目标判别与截获电路,自适应跟踪波门发生器,单片机等部分组成,它在多路时钟和软件控制下对数字图像信号完成逻辑判断和数据运算,最终计算出导弹相对于测角仪瞄准光轴的偏离角度 $\alpha(t)$ 、 $\beta(t)$,并馈送至控制箱。整个电路系统在统一的时钟控制下,同步协调地工作。

2 技术问题

2.1 干扰及其抑制

光电测角仪的干扰来自电和光两个方面。对于电干扰,根据它与信号特征之差异,采用时域选通和频域滤波技术,能较好地予以抑制;而光干扰则是本系统较为严重的问题。

众所周知,硅图像传感器的响应波段为 $0.4\sim 1.1\ \mu\text{m}$,它复盖了自然光的整个波段,因而太阳辐射及地物对太阳光的反射都将构成对本系统的干扰,同时这种干扰的强度还随天气、时间和地点而变化。在恶劣条件下,光干扰的能量要比所接收到的信号光能量大许多倍,甚至可使 CCAID 的光敏单元处于溢出工作状态。

根据对太阳辐射、大气传输、地物反射特性和导弹信标光谱及 CCAID 响应特性的综合分析,可以绘出如图 2 所示的干扰和信号曲线。由图 2 可见,若使 CCAID 工作在 $0.85\sim 1.1\ \mu\text{m}$ 近红外波段,并适当调整导弹信标的光谱特性,可有效地提高其输出信噪比。据此,在系统的光路中采用带通滤波措施,并使信标光谱曲线峰值尽可能地靠近 CCAID 接收波段。实践证明上述理论分析与实施方案是正确的。

另外,在电子学方面还采用了波门跟踪和航迹预测技术,这不仅进一步增强了系统的抗干扰性能,还使制导过程具有一定的抗阻塞能力。

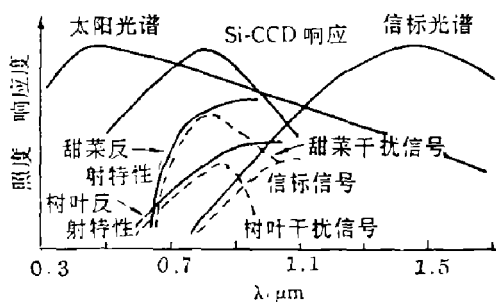


图 2 干扰光、信标的光谱及其响应曲线
Fig. 2 The spectrum and response of jamming light and beacon

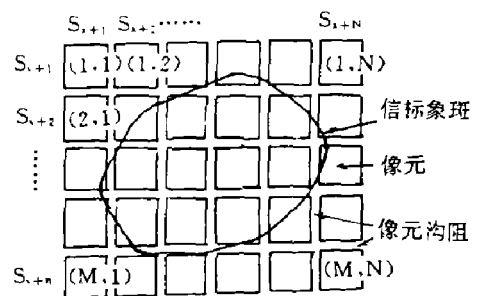


图 3 CCAID 光敏面上的信标像斑
Fig. 3 Beacon image spot in CCAID photosensitive area

2.2 测角精度

测角精度是本系统的一个主要技术指标,它取决于光机电等多方面的因素,在此仅讨论目标信息获取和信息处理部分的设计考虑。

导弹发射后，它在测角仪光图传感头光敏面上的图像随其飞行距离的增大而逐渐由光图变成一个弥散光斑。为了保证导弹全程的测角精度，通常采用自动变焦或大小视场自动切换的光学系统，但这将导致系统结构复杂，体积增大、机械稳定性差等弊端。为了克服上述缺点并兼顾测角精度，本系统采用了简单的固定焦距镜头与电子技术细分相结合的方案。按照 CCAID 光敏面尺寸选择镜头参数，以满足近距离成像测量的大视场要求；而远距离、小视场的点源目标的测角精度，由内插细分的形心算法来保证。对于图 3 所示的探测状况，点源目标的弥散光斑的形心坐标为

$$\left\{ \begin{array}{l} X_C = \frac{\sum_{i=1}^N i \cdot S_{x+i}}{\sum_{i=1}^N S_{x+i}}, \\ Y_C = \frac{\sum_{j=1}^N j \cdot S_{y+j}}{\sum_{j=1}^N S_{y+j}}; \end{array} \right. \quad (1)$$

其中

$$S_{x+i} = \sum_{j=1}^M B'_{ij} \quad (2)$$

为第 i 列象元的灰度值之和；

$$S_{y+j} = \sum_{i=1}^N B'_{ij} \quad (3)$$

为第 j 行象元的灰度值之和；

$$B'_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{当 } B_{ij} \leq B_T; \\ B_{ij} - B_T, & \text{当 } B_{ij} > B_T; \end{cases} \quad (4)$$

B_T 为设定的灰度值； B_{ij} 为第 i 列第 j 行象元的灰度值。

由上可见，尽管 CCAID 的光敏单元在空间的分布是离散的，但采用内插细分算法所获得的弥散光斑形心坐标值是连续的，不受光敏单元的尺寸和数目的限制，因而可获得很高的测角精度。根据计算，细分次数越多，测量精度越高，但系统计算的时间也越长。因此，选择原则应以满足系统测角精度为宜。由于测角精度是个综合参数，它还与光学畸变、光敏元响应度的均匀性、电路带宽、A/D 转换精度等因素有关，而且上述诸因素的影响又难以一一确定，故在工程上，细分次数是在一定信噪比条件下以实验测定的。

2.3 响应速度

对制导系统的另一个特殊要求是响应速度要快。由于光图传感器 CCAID 的具体工作包括光积分和信号读出两个物理过程，其第 k 帧时刻输出的信息取自第 $(k-1)$ 帧时刻采

集的光图,即在原理上,输出图像信息已有一帧时的延迟,加之电子系统的延时及伺服机构的响应时间,延迟时间就更长了,这就限制了整个制导系统的响应速度.为此,本测角仪采取了如下改进措施:

(1) 在不明显降低传感灵敏度和电荷转移效率的前提下,适当提高 CCAID 的工作帧频;

(2) 压缩电子系统的信号处理时间:利用波门跟踪,系统仅处理导弹光图及其波门以内光敏单元输出的信号,以减少对无用数据的处理过程;采用软硬件结合的信号处理优化方案及选用高速信号处理组件,可提高运行速度.使信号处理时间压缩至几 ms 之内,保证了制导过程的实时完成.

3 结语

我们对所研制的 CCAID 测角仪进行了严格的室内测量,并在盛夏晴天的早晨、中午和晚上等特别苛刻的环境下进行了多次外场实验,所得结论如下:

(1) 系统不仅能适应外场阳光照度大动态范围的变化,而且在波门跟踪过程中,在有人为外加强光干扰(只要不进入已收缩的波门之内)的情况下仍能正常工作.

(2) 测角性能指标达到并优于现役测角仪.

由此可见,CCAID 测角仪将是一种性能价格比高,而极有竞争能力的测角仪.

参考文献

- 1 Dennison E W, Stanton R H. *Proc. SPIE*, 1980;252:54~63
- 2 Salomon P M, Glavich T A. *Proc. SPIE*, 1980;252:64~74
- 3 Allen Cox J. *Proc. SPIE*, 1981;292:288~299
- 4 Л. 3. 克利克斯诺夫著,俞福堂等译. *红外技术原理手册*,北京:国防工业出版社,1986.

NEAR INFRARED STARING ANGLE- MEASURING INSTRUMENT

LIU SHANGQIAN, ZHAO FURONG, YANG YIHE, LI ZELAN

(*Technical Physics Department, Xidian University, Xi'an, Shaanxi 710071, China*)

Abstract: The background of research of near infrared staring angle-measuring instrument is presented in this paper. The principle is introduced, and the key technology of realization is discussed in detail.

Key words: CCAID, photoelectric angle-measuring instrument, imaging guidance.