

# 基于 CCD 线阵的雷达模拟跟踪设计\*

王 岩<sup>1</sup>, 应朝龙<sup>1</sup>, 王 飞<sup>2</sup>, 何金新<sup>1</sup>

(1 海军航空工程学院, 山东烟台 264001; 2 大连造船厂, 辽宁大连 262002)

**摘 要:**从单片机应用的基本控制原理出发, 针对末制导雷达航向工作过程研究, 介绍一种用于该项目仿实弹模拟的系统设计, 并在实践中对相关的测试理论和软、硬件设计进行探讨和验证。该系统采用线阵 CCD 作为多通道光电转换器件, 通过比较器对数据进行二值化后送入单片机系统分析处理, 最终实现以较低廉的成本对末制导雷达导引头跟踪目标真实模拟的目的。

**关键词:**单片机; 线阵 CCD; 光电转换; 二值化

**中图分类号:** TN953      **文献标志码:** A

## Ultimate Homing Radar Course Simulation Track Device Based on Linear CCD

WANG Yan<sup>1</sup>, YING Chaolong<sup>1</sup>, WANG Fei<sup>2</sup>, HE Jinxin<sup>1</sup>

(1 Naval Aeronautical and Astronautical University, Shandong Yantai 264001, China;

2 Dalian Ship Factory, Liaoning Dalian 262002, China)

**Abstract:** Aimed at the study on terminal guidance radar course working principle and based on the basal control theories relating to single chip micropycontroller (SCM) application, a system design of actual missile simulation is introduced, which is used in the project. Moreover, test theories and designs of software and hardware are discussed and validated in practice. The system adopts linear CCD as multicoated photo electricity switchover parts of an apparatus. Signals which are two-valued by comparator are sent to SCM system for analyzing and managing. The demands on simulating ultimate homing radar warhead tracking target live with less cost are achieved finally.

**Keywords:** single chip micropycontroller; linear CCD; photo electricity switchover; two-value

## 0 引言

在末制导雷达的教学研究中, 大部分采用实弹进行操作讲解, 使用真实的弹载雷达配合相应的信号发生器及目标模拟器进行教学演示。这种教学方式由于以实弹雷达进行操作, 大大折损雷达使用寿命, 成本较高。如采用低成本、易维护的其它模拟系统完全可以在视觉感官上达到实弹演示的效果, 有利于提高效率, 降低成本, 扩大教学规模。文中采用 CCD 线阵模拟雷达工作, 通过光源来模拟目标, 根据阵列板上感光位置的不同, 产生不同延时的脉冲信号, 用单片机接收并驱动电机转动模拟雷达, 以此模拟末制导雷达航向支路的控制过程。

## 1 系统模拟原理

末制导雷达的航向搜索与跟踪是在水平方向的一维运动, 对目标的判定仅需判断是否有回波信号及其与弹体轴线的夹角大小即可; 而距离跟踪则是通过比较回波信号与基准信号的延时时间, 从而判断出弹体与目标之间的距离, 并在各设定距离上向动力系统发出各相关指令, 其工作过程如图 1 所示。

不难看出, 只要能够对目标信号发生器产生响应, 并控制天线跟踪上目标信号发生器即实现了系统对末制导雷达航向支路上的仿真要求; 只要能够模拟产生出回波信号与基准信号, 并能使它们之间的延时随目标信号发生器与天线间距

\* 收稿日期: 2008-11-03

作者简介: 王岩(1983-), 男, 辽宁铁岭人, 硕士研究生, 研究方向: 智能仪器开发。

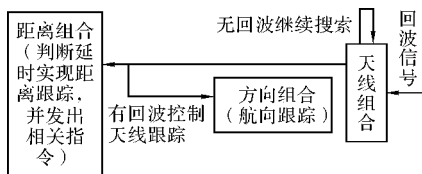


图 1 未制导雷达工作原理框图

离的变化而产生相应的线性变化,则实现了系统对未制导雷达距离支路上的仿真要求。故而实现雷达的工作过程可对航向支路与距离支路分别进行设计模拟,从而实现模拟系统在感官上具有对未制导雷达工作全程模拟仿真的能力。

## 2 硬件结构设计

### 2.1 航向支路系统设计

系统硬件设计主要包括光路设计和电路设计,光路设计较为简单,采用发光二极管作为目标模拟器;电路设计则以发出的可见光为信号,经线阵 CCD 前加设隔光罩上的入射狭缝而形成线状光信号照射在线阵 CCD 上,根据光源发出的方向不同而产生的线状光信号所对应在线阵 CCD 上的位置不同,由单片机判断出发光二极管的方位所在,控制电机带动模拟天线转动,完成模拟天线对模拟目标的搜索及跟踪过程<sup>[1]</sup> (电路设计中,线阵 CCD 的驱动电路设计才是关键,其整体设计方案见第 3 节)。结构框图如图 2 所示。

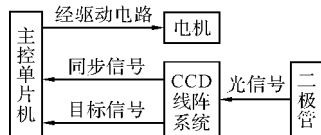


图 2 航向支路硬件结构框图

在本设计中,出于对系统为定性、体积、性价比等方面的综合考虑,选取 AT89C52 为主控单片机,线阵 CCD 选用 NEC 公司的  $\mu$ PD3575D 芯片。由于系统制作尚为实验性阶段,未考虑模拟天线负载重量等方面因素,仅就产品的可行性进行验证,故而电机暂采用普通的小型直流电机<sup>[2]</sup>。出于对导弹进行真实性仿真,本产品根据未制导反舰弹的航向支路的基本制导原理对主控单片机进行编程,其软件控制程序框图如图 3 所示。

鉴于所需模拟的未制导反舰弹型号繁多,各

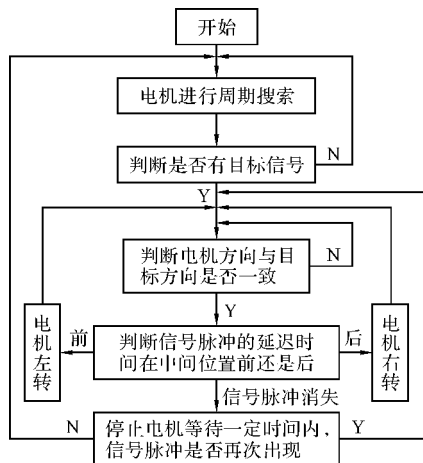


图 3 航向支路软件控制框图

项参数指标也不尽相同,故上述航向支路软件控制框图中的具体参数只是举个例子,是可以随模拟弹型的不同而调整更改的。

### 2.2 距离支路系统设计

系统硬件设计主要采用滑动变阻器,将发光二极管的距离上线形的变化转化为电压上的线形变化,再经过高精度的 A/D 转换,将线形变化的电压信号转化为单片机可识别的脉冲串,由单片机控制其产生与实际雷达相似的波门信号,模拟出距离组合在距离上的搜索和跟踪过程。结构框图如图 4 所示。

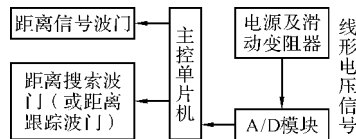


图 4 距离支路硬件结构框图

在本设计中,由于主控单片机 AT89C52 的 I/O 引脚足够设计使用,故与航向支路公用同一块主控单片机即可。由于系统受单片机频率所限,其所产生的距离信号波门和距离搜索(或跟踪)波门的频率要比真实雷达的频率低。但这并不影响波门信号的模拟效果,只需用专门的示波器进行显示,将频率量程与单位写大,与实弹的频率能够相统一起来即可。

与航向支路相同,距离支路系统中各项参数指标也是可以根据模拟弹型的不同而进行调整更改的。根据未制导反舰弹距离支路上的基本制导原理对主控单片机进行编程,其软件控制程序框图如图 5 所示。

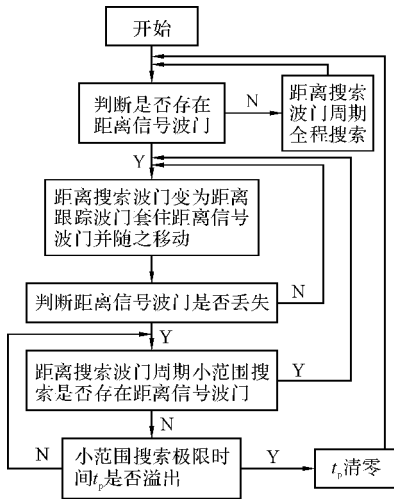


图 5 距离支路软件控制框图

### 3 CCD 阵列驱动电路原理及控制方法

CCD 阵列芯片是由一种高灵敏度,低暗电流的图像传感器采集光信号,并将光信号转换成视频电信号传送给单片机进行分析处理。线阵 CCD 选用 NEC 公司的  $\mu$ PD3575D 芯片。该芯片为 20 脚 DIP 封装,像敏单元数目为 1024,像敏单元大小为  $14\mu\text{m} \times 14\mu\text{m} \times 14\mu\text{m}$ (相邻像元中心距离为  $14\mu\text{m}$ ),光敏区域采用高灵敏度和低暗电流 PN 结作为光敏单元,内置采样保持电路和输出放大电路,其外观尺寸大小为  $25.5\text{mm} \times 10\text{mm}$ ,易于装卸。该器件可工作在 5V 驱动(脉冲)、12 V 电源条件下。驱动用的单片机是 AT80C2051,能高速地驱动 CCD;有较少的精简 I/O 端口,因此体积很小,非常适用做小型应用系统的处理器。整个系统对外接口十分简单,只需接上电源和两条通向上位机的信号线。上位机只需等待同步信号 FC 和检测脉冲信号 BIN\_OUT 到来的中断信号,与 AT80C2051 单片机相互独立,彼此之间没有任何时钟信号或复用关系<sup>[3]</sup>。其线阵 CCD 驱动电路如图 6 所示。

参见图 6 的驱动电路图,当 CCD 被驱动后因其光电特性会有视频模拟信号以及比较电平输出,并送至比较器进行比较。显然,模拟信号在 CCD 扫描到有无遮挡时有明显的幅值大小区别,要提取的信息就是这个变化的电压信号,故通过比较器二值化处理得到数字信号,这样便得到了反映线光源位置的边缘脉冲信号 CCD1。

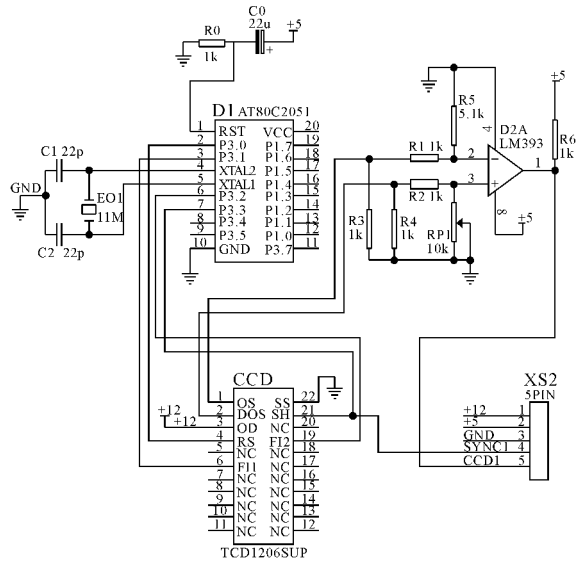


图 6 线阵 CCD 驱动电路

这样上位机可方便地通过中断检测到线光源映射到 CCD 阵列中。这里 AT89C2051 还要输出一个同步信号 SYNC1。因为系统是在连续扫描感光信息,故 SYNC1 脉冲可标志 CCD 新一行扫描的开始。新一行开始扫描时,上位机收到 SYNC1 负脉冲后可进入中断对定时器  $T_0$  清零并立即开始计数。当收到 CCD1 的第一个负脉冲后进入中断并停止定时器  $T_0$ ,读出定时器  $T_0$  里的数  $t_0$ 。 $t_0$  与信号 CCD1 之间的延时便反映了发光二极管的方位<sup>[3]</sup>。

根据硬件电路设计原理,驱动电路中各重要信号的时序关系如图 7 所示。

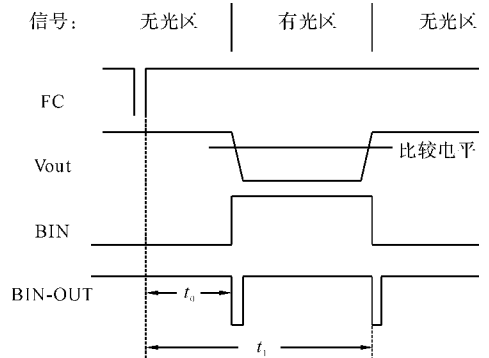


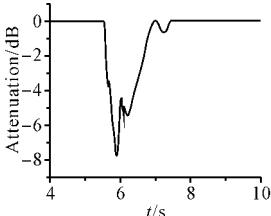
图 7 检测信号时序图

线阵 CCD 应满足下面的关系:

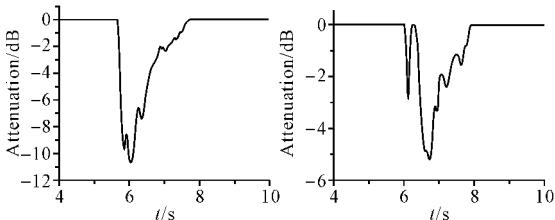
$$V(x) = K \cdot E(x)$$

式中: $V(x)$  是线阵 CCD 的第  $x$  象元输出的电压,  $E(x)$  是线阵 CCD 的第  $x$  象元的曝光量,比例系数  $K$ 。可由图 6 中滑动变阻器根据实际曝光

分散性大为提高,增加了偶极子的数量使衰减率提高,避免了“鸟巢”现象,使衰减时间增加;用柔顺剂 K1 处理样品能使衰减时间增加,但衰减率下降;分析原因是经处理后分散性得到改善使衰减时间增加,但镀覆后再用柔顺剂处理会在镀覆金属表面形成一层膜,改变其对电磁波的反射和吸收,从而导致衰减率下降。



(a) 未处理



(b) 加入润湿剂后

(c) 柔顺剂K1处理后

图 6 镀金属碳纤维对 8mm 波衰减性能曲线

表 1 衰减性能测试结果

样品	结果	
	最大衰减率/dB	衰减时间/s
未处理	7.77	1.45
加入润湿剂	10.69	2.03
柔顺剂处理	5.26	1.85

### 4 结论

采用在化学镀金属溶液中加入润湿剂和镀覆

(上接第 213 页)

的临界值而进行调整来控制调节比较电压,使系统满足准确定线形光源位置的要求。当 CCD 检测系统高速工作时,通常入射光强的改变相对系统的工作频率可视作较缓慢的连续变化,因而可以近似的认为在一两个时间周期范围内入射光强改变很小,几乎不存在时间上的延迟误差<sup>[3]</sup>。

### 4 结论

采用 1024 像元 NEC 公司的  $\mu$ PD3575D 芯片作为 CCD 线阵探测器,通过单片机可编程器件产生 CCD 驱动信号,并由上位机控制测量过程与结果分析,省去了复杂的外围电路器件,具

后用柔顺剂处理的方法对镀金属碳纤维进行了表面修饰。目测及样品的 SEM 照片表明:加润湿剂后镀金属表面的条纹和针孔减少,表面光滑,纤维束呈蓬松状,分散性得到明显改善,研究获得了润湿剂在镀液中的较佳浓度为 2.5 g/250mL;用柔顺剂处理镀金属碳纤维可在表面形成一层膜,改善光滑程度,尤其是用柔顺剂 K1 处理可获得连续性较好的薄膜,并明显改善其分散性。对 8 毫米波衰减率测试表明:用润湿剂和柔顺剂处理镀金属碳纤维均能改善其分散性,使衰减时间增加,但经柔顺剂处理后的样品衰减率下降;采用在镀液中加入润湿剂的方法获得的样品衰减效果最好,不仅衰减时间长,衰减率也最大,单程透射衰减最大可达 10.69dB。

### 参考文献:

- [1] Rouse William G, et al. Method of assembly of compacted fibers and explosive charge for effective dissemination[P]. US5659147, 1997.
- [2] 乔小晶. 烟幕干扰红外和毫米波技术研究[D]. 北京:北京理工大学,2000.
- [3] 赵彩琴. 新型箔条材料的现状及发展趋势[J]. 材料开发与应用,2002,17(5): 45-46.
- [4] 方景礼. 电镀添加剂理论与应用[M]. 北京:国防工业出版社,2006.
- [5] 黄应钦,成晓玲,白晓军,等. 表面活性剂在超细粉体制备和分散中的应用[J]. 活性剂日用化学工业,2006,36(1):30-33.
- [6] PIETSCH Karl-Heinz. Dispersion coating with PTFE[J]. Products Finishing, 1999, 63(2): 34-39.

有系统测量速度快、体积小、结构简单、性能可靠、硬件、软件代价均较低且系统成本预算低廉等特点,解决了传统实弹教学的诸多问题,为末制导反舰弹教学培训提供了一种实用可靠的手段。

### 参考文献:

- [1] 张俊谟. SoC 单片机原理与应用——基于 C8051F 系列[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2007.
- [2] 潘琢金. C8051F02x 单片机数据手册[M]. 深圳:新华龙电子有限公司,2005.
- [3] 黄智伟. 全国大学生电子设计竞赛系统设计[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2006.