

文章编号:1007-2780(2012)03-0378-07

舰载光电全息显控系统

李 焱

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033, E-mail:liy211@163.com)

摘 要: 针对舰载光电设备易受到载体摇摆、武器震动、烟雾,或是受到大气、云雾、海面杂波等环境影响而导致跟踪失败的情况,研制了能为伺服系统提供高精度的二次引导及控制视轴跟踪低空掠海目标的全息显控系统。将 CA 模型、有限记忆的最小二乘滤波和创新提出的“近似-比较”超低空控制技术相结合,提出了一种稳定跟踪低空掠海目标特别是为伺服系统提供跟丢目标角度信息的全息控制策略。介绍了该系统硬件设计与实现。试验证明,该全息显控系统在为光电设备提供外部控制信息和对外引导设备提供反馈信息的同时,能够连续 6 s 提供比雷达引导精度高 11.8' 的二次引导数据及控制视轴稳定跟踪低空掠海目标的能力,实现了舰载光电设备全自动的无人职守。

关 键 词: CA 模型; 全息信控系统; 低空掠海; 舰载光电; “近似-比较”

中图分类号: TN949.6 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3788/YJYXS20122703.0378

Full Information Display and Control System for Shipborne Optical-Electronic

LI Yan

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences,
Changchun 130033, China, E-mail:liy211@163.com)

Abstract: The environment influences to shipborne optical-electronic equipment such as carrier swaging, weapon shaking, fog or atmosphere, cloud and mist, wave of sea, it can result in tracking failure. According to this phenomena, a full information system that can offer high precision second lead to servo and control LOS to track ultralow-altitude target is manufactured. CA model, limited memory least-squares filter and the technology of “Approximate-comparative” ultralow-altitude are combined, then tracking ultralow-altitude target and offering angle information of losing target to servo especially called full information strategy is introduced. The designing and accomplishing of hardware platform are discussed in the text. The experiments prove that the full information system not only offer the information provided by outer system and feedback the data provided by shipborne Optical-electronic equipment to outer system, but also offer second lead data to servo system, the precision of data is advanced 11.8' to radar for 6 s. The model has the ability to control LOS to track ultra low-altitude target. It carries out a no-man guard and automatic shipborne optical-electronic equipment.

Key words: CA model; full information system; ultralow-altitude; shipborne optical-electronic; “approximate-comparative”

收稿日期: 2011-11-28; 修订日期: 2012-02-20

作者简介: 李焱(1980—), 男, 吉林长春人, 博士, 副研究员, 研究方向: 嵌入式操作系统应用研究、舰载光电跟踪系统总体设计等技术研究。

1 引言

舰载光电设备跟踪超低空目标情况下,易受到载体摇摆、武器震动、烟雾遮挡、大气传输、云雾干扰等外界环境影响,导致视轴“扎海”,一旦海杂波的对比度超过目标的对比度而又满足提取阈值时,就会把海杂波当成目标进行提取,对于单纯的建立各种目标机动运动模型^[1]虽然能在一定程度上平滑实际目标轨迹,但是不能抑制“扎海”这一现象。常用的舰载三坐标雷达对超低空目标稳定跟踪采用定高算法^[2],这种算法将目标固定高度,但是对于光电设备来说,一旦海杂波对比度满足提取阈值时仍会导致“扎海”,而且目标定高算法的引导精度太低。C2 算法^[3]应用于多径环境下低空目标俯仰角的测量,既可提高测角精度又可避免以上方法的不足,但是该算法是基于多路径波反原理,并不适用于光电设备。本文在雷达定高原理和交互多模滤波算法对低空机动目标跟踪^[4]基础上提出了一种仅适用于光电设备,可以避免上述雷达算法不足的“近似-比较”控制策略^[5-6]。在 VxWorks 操作系统下^[7-9],将这种适合光电设备的超低空模型和 CA 模型最小二乘滤波控制策略结合起来,对实际目标进行全信处理,能

够有效抑制视轴“扎海”,特别是当跟踪目标丢失后,可以为伺服系统连续提供 6s 比雷达精度高一个数量级的二次引导信息。

2 全息显控原理

所谓目标的全息显控主要包含 3 部分内容:信控系统为光电设备提供外部控制命令、引导信息和为外部引导设备提供反馈信息;对跟踪目标建立运动模型,当电视跟踪目标丢失后,可以为伺服系统提供精度较高的二次引导信息;建立适合舰载光电设备的超低空控制策略抑制视轴“扎海”,并提供必要的显示信息。后两部分是目前一般舰载光电设备所不具备的或是不完善的。

2.1 二次引导信息的坐标变换

外部引导是提供甲板坐标系下目标的舷角和仰角信息,为了得到二次引导信息主要分 3 步,(1)坐标反变换(公式(1))——电视跟踪状态下将目标甲板极坐标二维角度转换为大地极坐标二维角度;(2)根据 CA 模型的最小二乘滤波在大地系下建立 51 点外推;(3)外推数据进行坐标正变换——大地极坐标转甲板极坐标(公式(2)),同时判断目标类型是否为超低空,再根据低空掠海策略为伺服系统提供二次引导信息。

$$\begin{cases} A = \tan^{-1}(\sin E_c \sin R + \cos E_c \cos R \sin A_c / \cos E_c \\ (\cos P \cos A_c + \sin P \sin R \sin A_c) - \sin E_c \sin P \cos R) + H \\ E = \sin^{-1}[\cos E_c (\sin P \cos A_c - \cos P \sin R \sin A_c) + \sin E_c \cos P \cos R] \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} A_c = \tan^{-1}\{\cos E[\cos R \sin(A - H) + \sin R \sin P \cos(A - H)] - \\ \sin E \sin R \cos P\} / \cos E \cos P \cos(A - H) + \sin E \sin P \\ E_c = \sin^{-1}\{\cos E[\sin R \sin(A - H) - \cos R \sin P \cos(A - H)] + \sin E \cos R \cos P\} \end{cases} \quad (2)$$

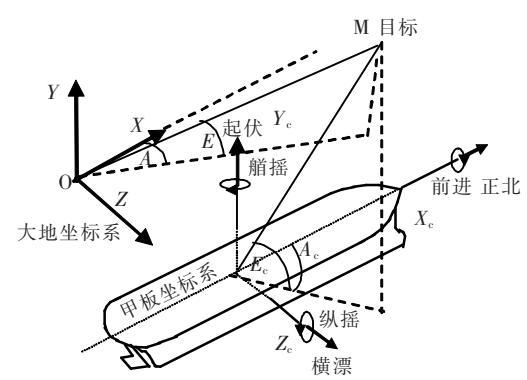


图 1 空间坐标系

Fig.1 Space coordinate

式(1)为反变化、式(2)为正变换。其中: A_c 、 E_c 为甲板系下舷角和仰角, A 、 E 为大地系下舷角和仰角, R 、 P 、 H 分别为横摇、纵倾、艏摇。见图 1 空间坐标系,假设前进方向为正北。

2.2 CA 模型的有限记忆最小二乘滤波原理

二阶系统的状态转移矩阵即 CA 模型:

$$\varphi(\Delta t) = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t & \frac{\Delta t^2}{2} \\ 0 & 1 & \Delta t \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

二阶系统有限记忆的最小二乘滤波公式:

$$\begin{cases} \hat{x}_s = \hat{x}_{s/s-1} + \frac{3(3n^2 - 3n + 2)}{n(n+1)(n+2)}[z_s - \hat{x}_{s/s-1}] \\ \hat{\dot{x}}_s = \hat{\dot{x}}_{s/s-1} + \frac{18(2n-1)}{n(n+1)(n+2)\Delta t}[z_s - \hat{x}_{s/s-1}] \\ \hat{\ddot{x}}_s = \hat{\ddot{x}}_{s-1} + \frac{60}{n(n+1)(n+2)\Delta t^2}[z_s - \hat{x}_{s/s-1}] \end{cases} \quad (4)$$

其中：

$$K_n = [k_1, k_2, k_3] = \left[\frac{3(3n^2 - 3n + 2)}{n(n+1)(n+2)} \quad \frac{18(2n-1)}{n(n+1)(n+2)\Delta t} \quad \frac{60}{n(n+1)(n+2)\Delta t^2} \right] \quad (5)$$

公式(5)为观测方程的增益矩阵。 k_1 、 k_2 、 k_3 为计算出的观测方程(4)增益矩阵的 3 个增益系数。

避免由于 k_1 、 k_2 、 k_3 极限趋向于零,新的测量值 z_s 在滤波计算中不起作用,滤波值只能依靠假设的目标运动规律自动地外推,导致滤波计算与实际情况的偏差变的“发散”,而采用有限记忆处理。 n 的选取可以根据滤波效果来定,本文采用 20。

2.3 “近似-比较”低空掠海控制策略

根据雷达定高原理,提出了一种适合光电设备的“近似-比较”控制技术,见图 2“近似-比较”原理图。

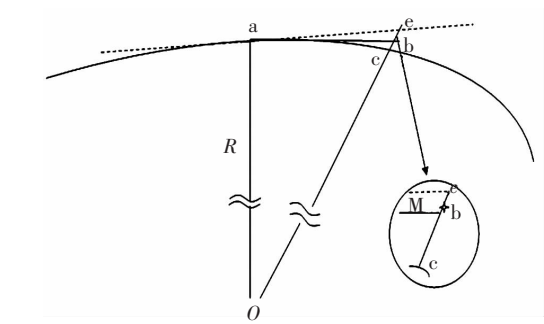


图 2 近似-比较原理图

Fig. 2 Approximate-comparative principle picture

其中 a 点为舰载光电设备坐标点;c 点为海面;M 为 实际目标点;b 点是定高原点,即当目标界于 bc 点之间的时候,舰载光电设备无法观察到目标;e 点为定高点,即雷达假设超低空的固定高度;

$oa=R$, R 为地球曲率半径, ab 为海平面切线,定高算子 $eb=H$,考虑到光电设备点距离海面的垂直高度 h , ab 垂直 oa 。

该控制策略所谓“近似”是认为 ab 为目标的

$\hat{x}_{s/s-1}=\hat{x}_{s-1}+\Delta t \hat{\dot{x}}_{s-1}+\frac{\Delta t^2}{2} \hat{\ddot{x}}_{s-1}$
 $\hat{\dot{x}}_{s/s-1}=\hat{\dot{x}}_{s-1}+\Delta t \hat{\ddot{x}}_{s-1}$
分别表示在 t_{s-1} 时刻未接受新的测量值 z_s 前,只根据目标运动规律对 t_s 时刻的位置、速度预测。而 $\hat{\dot{x}}_{s-1}$ 可以认为是对加速度的预测,因为滤波建模是根据二阶系统得到的,所以无法做进一步的预测。

距离 D ; ec 弧长近似等于 ec 长度; ab 近似等于 ec 所在弧的半径,建立如下关系:

$$(ob)^2=(oa)^2+(ab)^2$$

$$(R+bc)^2=(R)^2+(D)^2$$

由于 $bc \ll R$,近似得到:

$$bc=\frac{D^2}{2R}, \angle eac \approx \frac{\left(H-h+\frac{D^2}{2R}\right)}{D\pi} cd$$

cd 为码值 262 144,当雷达判断出目标为超低空时,便以 H 高度的仰角向光电设备发送数引信息。目标指示状态下,收到超低空标志位,转入电视跟踪状态,当海天线界限达到图像识别阈值时,图像可以识别出海天线,不跟踪海面杂波;当海天线界限模糊或背景复杂时,图像处理无法识别出海天线,图像波门提取海面亮杂波,导致视轴“扎海”。所谓“比较”策略-即对数引角度和当前角度进行差分,处理后的数引偏差与控制定高角度 $\angle eac$ 进行逻辑判断,一旦超过此角度说明视轴“扎海”,随即转为二次引导状态,同时发给图像波门重搜指令,重新捕获视场内达到提取阈值要求的目标。通过这种算法提高了捕获低空掠海目标的能力。

3 全息控制系统实现

3.1 全息控制系统设计

本系统选用了 MSM586SEV 增强工业型 PC104 嵌入式计算机作为目标机核心处理器,全息信控系统硬件实物如图 3。

设计定义了 16C554 四路串口的基地址及中断号。定义了 82C55 按照 A 路输入,B、C 路输出的方式工作,isp1032E 门阵列为信控系统各芯片提供地址译码,并在外部准秒脉冲同步基础上产

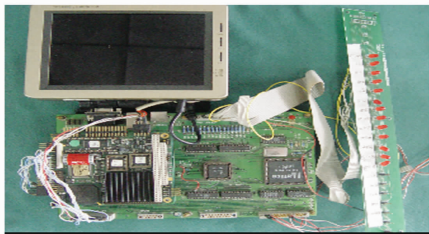


图 3 全息信控系统硬件实物图

Fig. 3 Picture of full information system

生内部分频信号。通过 INTEL 82559ER 的网络控制芯片与外部通道台进行 UDP 网络的信息交互。

3.2 嵌入式操作系统平台的启动与运行

在装有 Tornado2.2 的宿主机上建立名为 PCly 的 BSP 板级支持包。目标机 CF 卡中必须装载 bootrom 和 VxWorks 映相才能正常启动 VxWorks。

3.2.1 VxWorks 最小启动内核 bootrom 生成

在 PCly 文件夹下的 config.h 中设置与本 PC104 有关的启动方式及 CF 卡对应的 ATA 启动行设置、CF 卡的柱面参数、扇区参数，并对网络做以驱动。根据如上分析，需要在 config.h 中配置网络驱动模式：

```
#define INCLUDE_END 及网卡型号：
#define INCLUDE_FEI_END
```

在启动行定义：

```
#define DEFAULT_BOOT_LINE \
"ata=0,0(0,0)host:/ata0/VxWorks
e=192.168.0.50 f=0x80 o=fei"添加 o=fei 说明系统是从网络引导的。最后通过 make bootrom 命令生成 Vxworks 最小启动内核即 bootrom。
```

3.2.2 VxWorks 映相生成

VxWorks 映相是包含所有外设驱动以及图形界面接口的启动内核，本系统 PCly 的 BSP 中需要包含以下与外部硬件电路相对应的配置文件：sysSerial.c、pc.h、st16554Sio.c、st16554Sio.h、b82C55Sio.c。VxWorks 中的 I/O 系统是以文件的形式存在的，系统通过维护设备列表、驱动程序表和文件描述符列表统一建立和管理。

以 82C55 为例（16C554 同理）在底层文件 b82C55Sio.c 中建立 STATUS b8255Drv(void) 函数；在此驱动函数中将外设 82C55 添加到驱动

列表中并返回驱动号：

```
b8255DrvNum= iosDrvInstall(b8255Open,
0, b8255Open, 0, b8255Read, b8255Write, b8255Ioctl)
建立 STATUS b8255DevCreate(char * dev-
Name)函数。创建指针类型的设备描述符，按照
硬件设计所分配的空间地址将其各寄存器初始
化。最后通过调用函数：
```

```
iosDevAdd (&pB8255Dev-> devHdr, dev-
Name,b8255DrvNum)将 82C55 设备添加到设备
列表中。按照硬件设计的读写模式建立
b8255Read、b8255Write、b8255Ioctl 函数进行底
层读写和 82C55 的三通道选通控制。应用层通
过 fd 文件描述符，进行对底层硬件函数的调用，
也就是可以对外设进行相应的读写与控制操作。
```

底层函数添加完后，还需要把 BSP 的名字和外设的驱动程序添加到 Makefile 文件中：

```
TARGET_DIR = PCly
MACH_EXTRA = st16554Sio.o、b82-
C55Sio.o。
```

这样才能在 Workspace 中对 windMl 进行配置，最后把宿主机上所生成的 VxWorks 映像的绝对路径：

```
D:\tornado\target\proj\PCly\default\vx-
Works 中的 VxWorks 映相拷贝到 CF 卡中，便可
以顺利完成 VxWorks 加载和启动。
```

3.3 全息控制系统软件设计

软件设计主要包括 VxWorks 下的软件结构设计及基于 CA 模型最小二乘滤波和“近似-比较”低空掠海策略的软件算法设计。

3.3.1 软件结构设计

根据 VxWorks 多任务模式的特点，本系统软件设计了为 CF 卡存取初始化相关系统文件的程序 init_ds()、为图形界面初始化 windML 程序 init_uql()、变量初始化程序 init()；创建了 4 个任务：主任务 sendAndReceiveData(void)，以信号量方式响应准秒脉冲同步的 16 Hz 中断信号。主要完成接收外部控制命令和引导信息，反馈光电设备内部信息，对 CA 模型最小二乘滤波和“近似-比较”模型进行建模，其任务优先级最高。与伺服系统交互任务 receInt3()、与电视系统交互任务 receInt2()优先级其次，显示任务 display1()优先级最低。

与传统单一任务相比，其特点是：多任务具有

优先级且任务间具备同步机制;多任务间的通信;中断延迟、任务切换、驱动程序延迟等操作系统行为是可知和可预测的。见图 4 全息显控界面图。



图 4 全息显控界面图

Fig. 4 Picture of full information system

3.3.2 软件算法建模设计实现

二次引导配合“近似-比较”模型进行全息控制,电视跟踪状态下首先在甲板坐标系下进行目标位置合成。

观测阵:

$$Z_k = \begin{bmatrix} A_{ch} \\ E_{ch} \end{bmatrix} \tag{6}$$

其中: A_{ch} 、 E_{ch} 为间接得到的甲板系下目标角度合成信息。

程序为舷角和仰角分别开辟了 2×51 场的缓存区:

$$\begin{bmatrix} A_{ch}^n & A_{ch}^{n-1} & \cdots & A_{ch}^2 & A_{ch}^1 \\ E_{ch}^n & E_{ch}^{n-1} & \cdots & E_{ch}^2 & E_{ch}^1 \end{bmatrix} \tag{7}$$

其中: n 为 51, A_{ch}^n 、 E_{ch}^n 分别为在电视跟踪状态前 n 场的舷角和仰角合成值, n 为 1 时为第一场。

$$A_{ch}^n = A_{cd}^n + \Delta A^n \tag{8}$$

其中 $A_{cd}^n = \frac{\pi \times \text{ecoder}A}{262144}$, 为旋转变压器的弧度值, 码值的量纲转换为 262 144。ecoderA 为旋转变压器舷角码值, 即为跟踪目标的舷角已知量。

$$\Delta A^n = \tan^{-1} \frac{An_c \times \text{Pixel}}{f \cos(E_{cd}^n) - An_c \text{ Pixel} \sin(E_{cd}^n)} \tag{9}$$

其中: f 为根据距离信息自动调焦距值, An_c 为电视的脱靶量方位码值, 为已知量; E_{cd}^n 为当前旋转变压器的仰角弧度值, $E_{cd}^n = \frac{\pi \times \text{ecoder}E}{262144}$; 对于本 CCD 像元尺寸 Pixel 为 $12 \mu\text{m}$, ecoderE 为旋转变压器仰角码值, 为已知量, 而式(7)中的 E_{ch}^n 为:

$$E_{ch}^n = \tan^{-1} \frac{[f \sin(E_{cd}^n) + En_c \times \text{Pixel} \cos(E_{cd}^n)] \cos(\Delta A^n)}{f \cos(E_{cd}^n) - En_c \times \text{Pixel} \sin(E_{cd}^n)} \tag{10}$$

其中: En_c 为电视的脱靶量俯仰码值, 为已知量。

上述合成角度是在甲板坐标系下的, 需要进行反变换转换到大地坐标系下, 才能进行有限记忆最小二乘建模, 本文设定如下:

$$X_{k-1} = [A_{n+1/n}, E_{n+1/n}, \dot{A}_{n+1/n}, \dot{E}_{n+1/n}, \ddot{A}_{n+1/n}, \ddot{E}_{n+1/n}]^T \tag{11}$$

其中: $A_{n+1/n}$ 、 $E_{n+1/n}$ 为电视跟踪状态下, 通过反变换间接得到的大地坐标系下合成目标舷角和仰角的前 n 场已知量。即已知前 n 场数据, 来外推 $n+1$ 场, 得到的 $A_{n+1/n}$ 、 $E_{n+1/n}$ 为在大地坐标系下的第 $n+1$ 场二次引导数据, 将此数据通过正变换到甲板系即为最终得到的二次引导信息。

四维的舷角和仰角速度以及加速度 $\dot{A}_{n+1/n}$ 、 $\dot{E}_{n+1/n}$ 、 $\ddot{A}_{n+1/n}$ 、 $\ddot{E}_{n+1/n}$ 是需要通过最小二乘滤波得到的未知量, 初始化 $n=1$ 时, 速度及加速度为零。系统状态转移矩阵为:

$$\varphi_{k/k-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \Delta t & 0 & \frac{\Delta t^2}{2} & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \Delta t & 0 & \frac{\Delta t^2}{2} \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \Delta t & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & \Delta t \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{12}$$

其中: 光电和惯导系统同步周期为 $\Delta t=62.5 \text{ ms}$ 。

在电视跟踪状态下, 51 场缓存采用循环压栈机制, 实时保留最近的 51 场甲板系合成角度。通过反变换转换为大地系, 在通过 CA 模型的最小二乘滤波进行对目标外推, 最后通过正变换转换到甲板系。当目标丢失时, 便对伺服进行高精度的二次引导。

同时在电视跟踪状态下, 主任务中如果收到威胁目标属性为超低空时, 建立如下模型:

$$E_L - E_E > \angle eac \tag{13}$$

其中： E_L 为雷达定高引导仰角； E_E 为旋转变压器当前仰角；

如果满足模型(13)则认为视轴已经“扎海”，随即给电视、伺服系统发送捕海标志位，根据二次引导数据进行 6 s 的全息引导，6 s 后转雷达数引。

4 全息显控系统实验与分析

4.1 “近似-比较”超低空建模分析

跟踪目标距离从 27~7.5 km 时，见图 5 超低空“近似-比较”曲线。上部点划线曲线为 $\angle eac$ 角度线，下部实线为数引偏差曲线（即雷达定高引导仰角与旋转变压器当前仰角之差）。可以看出在采样点 12 500、18 000、19 500 附近有跳跃，即为通过模型判断出的捕获海杂波时刻。

由实时录取的报文数据归结为表 1 超低空目

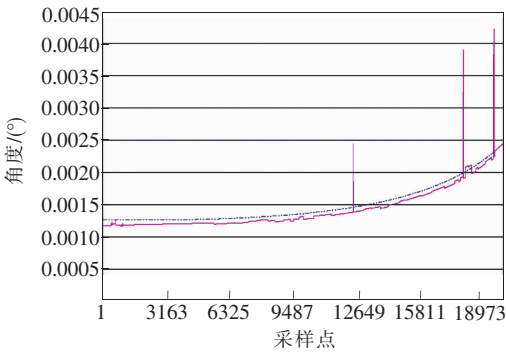


图 5 超低空“近似-比较”曲线

Fig. 5 “Approximate-comparative” curve of ultra low-altitude

标状态表，得到实时录取捕海杂波信息与图 5 相吻合。

表 1 超低空目标状态表

Table 1 State table of ultralow-altitude target

雷达引导仰角/(°)	当前仰角/(°)	数引偏差/(°)	$\angle eac/(^{\circ})$	截获距离/km	捕海杂波
1.856 3	1.855 3	1.0×10^{-3}	1.26×10^{-3}	27.0	否
1.337 4	1.336 2	1.2×10^{-3}	1.32×10^{-3}	18.0	否
1.838 1	1.836 1	2.0×10^{-3}	1.45×10^{-3}	14.5	是
1.290 9	1.289 7	1.2×10^{-3}	1.60×10^{-3}	12.3	否
1.733 8	1.730 7	3.1×10^{-3}	1.99×10^{-3}	9.0	是
1.389 8	1.386 0	3.8×10^{-3}	2.30×10^{-3}	7.5	是

4.2 CA 模型最小二乘滤波二次引导建模分析

截取 100 个目标舷角数据的二次引导时刻采样点进行分析，采样频率为 16 Hz，见图 6 目标舷角比较曲线，粗实线为通过分析 GPS 传输数据，经过分段插值得到的目标大地坐标系下舷角曲线。点线为进行二次引导的舷角曲线。

二次引导 6 s 时间内，引导最大误差在采样

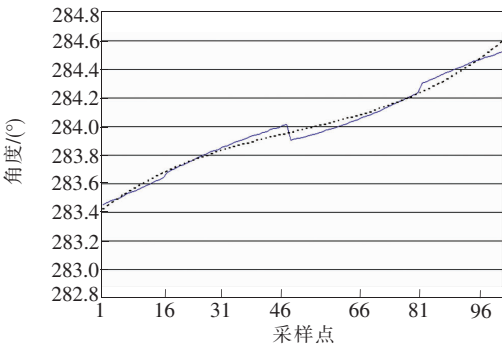


图 6 目标舷角比较曲线

Fig. 6 Comparative curve of target azimuth

点 101 附近，引导误差为 6.2′，比雷达引导误差不大于 18′ 的精度指标提高了 11.8′。但对伺服的二次引导，如果时间过长会因为验前数据与实际数据有偏差，导致模型发散，因此本系统定为 6 s。

表 2 是跟踪低空掠海目标仰角为 0.2° 时的舷角比较值。可以看出利用滤波建模的二次引导精度比雷达引导精度的相对误差平均提高了 0.3 个

表 2 目标舷角比较值

Table 2 Comparative values of target azimuth

目标舷角/(°)	雷达引导舷角/(°)	二次引导舷角/(°)	雷达相对误差/(%)	引导相对误差/(%)
34.82	35.01	34.91	0.545	0.258
35.31	35.53	34.39	0.23	0.226
35.80	36.02	35.89	0.614	0.251
36.29	36.49	36.39	0.551	0.276
36.79	37.08	36.93	0.788	0.380
37.38	37.66	37.49	0.749	0.294

百分点,当受到外因导致目标丢失时,可以利用二次引导进行 6 s 种的高精度引导。

4.3 电视跟踪比较试验效果分析

为了验证 CA 模型的二次引导及“近似-比较”建模算法,本文做了两组针对性试验。对于仰角在 0.2°的超低空目标分别采用雷达引导和通过本文的二次引导比较试验,及通过二次引导及“近似-比较”建模算法后的跟踪效果试验。

4.3.1 雷达引导和二次引导比较试验

分别采用雷达引导和采用本文论述的二次引导模型对目标进行指向定位,获得两种不同的结果,距海面 7 m 高度的拉烟超低空目标在 13.7 km 在视场中出现,光电设备跟踪视场为 0.88°,雷达在“定高”算法控制下(图 a)引导偏差超过 1/4 视场,雷达的引导误差为 0.352°,而光电设备通过二次引导算法(图 b)引导偏差小于 1/8 视场,二次引导误差在 4.4′,比雷达“定高”算法控制下引导精度提高了一个数量级。

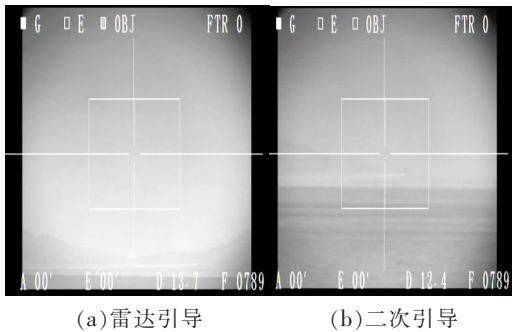


图 7 雷达和二次引导比较图

Fig. 7 Comparative picture of radar and second lead

4.3.2 “近似-比较”跟踪效果试验

“近似-比较跟踪图”见图 8。

通过二次引导及采用本文所提出的“近似-比

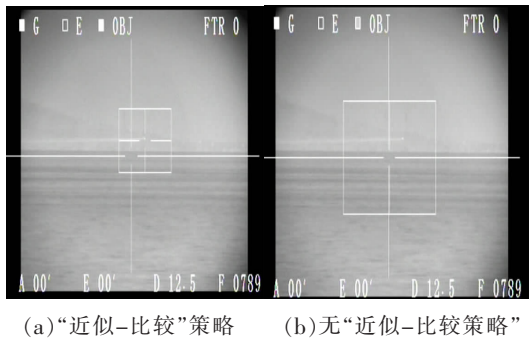


图 8 “近似-比较”跟踪图

Fig. 8 Tracking picture of approximate-comparative

较”模型对超低空目标进行控制后,在图像处理提取海天线前提下,保证了视轴不产生“扎海”现象,可以对 7 m 超低空目标进行稳定跟踪。

可以看出通过“近似-比较”策略(图 a)对超低空目标有效地抑制了视轴“扎海”现象,并可以实现舰载光电设备无人干预全自动稳定跟踪,无“近似-比较”策略(图 b)对跟踪超低空目标时会由于舰体摇摆,产生“扎海”现象。

5 结 论

针对舰载光电设备如何对低空掠海目标进行稳定捕获及当受到外因影响导致跟踪目标丢失,如何对目标进行高精度的二次引导的问题,设计了基于嵌入式操作系统 VxWorks 的全息显控系统,其多任务模式能够满足算法要求的实时性。文中设计的 CA 模型的最小二乘二次引导策略在目标丢失后能够提供比雷达高出一个数量级的引导精度,创新提出“近似-比较”模型算法在跟踪超低空目标时对视轴“扎海”起了很好的抑制作用,弥补了由于“扎海”而导致二次引导模型失效的关键问题。实现了舰载光电设备的全自动捕获与控制。

参 考 文 献:

[1] 李非,潘平俊. 机动目标模型的研究发展 [J]. 火力与指挥控制,2007,10(32):17-21.
[2] 王亚莉,何晓明,周瑞岩,等. 超低空目标定高跟踪处理算法的研究 [J]. 雷达与对抗,2006,3(4):54-57.
[3] 吕韶显,熊伟,万建伟,等. 算法在雷达低空目标俯仰角测量中的应用 [J]. 现代雷达,2007,29(7):41-44.
[4] 王洪锋,单甘霖,梅卫. 低空反导机动目标跟踪技术研究 [J]. 光电与控制,2006,13(2):8-11.
[5] 李焱,曹立华,王弟男. 惯导平台下舰载光电搜索跟踪系统的控制 [J]. 光学精密工程,2011,19(5):1126-1133.
[6] 李焱,陈涛,曹立华. 舰载光电设备跟踪掠海目标的控制 [J]. 光学精密工程,2010,18(5):936-941.
[7] 李刚,陶声详,赵大政. VxWork 环境中 PC1 设备驱动开发 [J]. 计算机应用与软件,2008,25(3):274-277.
[8] 李军. 基于 I/O 设备驱动机制的 CAN 设备驱动程序设计 [J]. 航空计算技术,2008,38(2):82-84.
[9] 鲁爱国,万曦. 基于 VxWorks 的嵌入式软件远程调试 [J]. 舰船电子工程,2008,27(6):151-154.