

利用综合评估加权法提高 160 光电经纬仪跟踪性能

赵士民 翁 杰 冀光祖 佟 兰

(太原卫星发射中心技术部三室,太原 030027)

摘 要 分析了卫星发射场光学测量系统跟踪方式和存在的问题及各跟踪方式的优缺点,并运用系统工程决策论中加权评估方法,充分发挥各跟踪方式的优势,实时进行互补和印证,提出了利用系统工程理论的加权评估法实现 160 光电经纬仪的自动跟踪,减小了跟踪误差和跟踪稳定性,而且可以实现定点跟踪,提高激光回波率。

关键词 数据分析;综合评估;加权跟踪;经纬仪

中图分类号 TH754 **文献标识码** A

0 引言

光电经纬仪系统作为一种高精度度的外测定位设备,在卫星发射的初始段外弹道测量中起着重要的作用^[1]。160 光电经纬仪是采用照相的方法来进行测角定位的,跟踪的好坏是保证测量的关键。为了保证良好的跟踪,对 160 光电经纬仪的跟踪系统进行了两次大的改造,第一次将双人操作改为单杆,第二次增加了电视自跟踪系统。由于存在目标特性变化大,电视跟踪抖动等问题,160 的跟踪方式仍沿用单杆半自动跟踪,常出现跟踪脱靶的问题,而且随机误差超差。

为了进一步提高设备的自动化、程控化的水平,提出了综合评估加权法优化引导数据实现对 160 全程数字引导,提高了设备的程控化水平,提高了跟踪稳定性和准确性。

1 160 光电经纬仪的跟踪方式和存在问题

光电经纬仪的跟踪目前一般具有四种跟踪方式^[2],分别是程序引导,数据引导,电视跟踪,其主要手段是利用电视测量的脱靶量进行反馈式跟踪;半自动跟踪。这四种跟踪方式在实时测量中大多以半自动跟踪为主,其它方式为辅,这是因为其它几种方式都有不完善的地方,具体的问题简述如下。

程序引导是由理论弹道数据利用插值方法计算出的弹道对经纬仪实施开环引导。其特点是:当目标飞行正常时,在 25 s 内误差不大,基本上能满足引导要求。不过,当火箭出现偏航时会出现较大的引导误差、起飞零点接收不准确也会导致较大的引导误差。随着飞行时间的延长,目标偏离理论弹道的可能性越大,脱离视场的机会越多。同时,当目标出现偏航时不能自动修正。

中心机数据引导较理论弹道可信,是实时引导

源。它可以纠正理论弹道的偏差和剔除电视跟踪测量数据的野值,同程序引导相同,它有其命令性和自动纠偏性,使跟踪稳定。不过,在光学测量主要任务段,由于外测系统有效测量数据源少,且准确度差,初始段的引导数据可靠性差。对提供引导数据的其他外测设备依赖性太强,当提供引导数据的外测设备出现偶然误差时,容易造成脱靶。

电视跟踪能实时输出跟踪测量值和脱靶量,当跟踪正常时,能精确测量目标飞行轨迹,实时地监测脱靶量,防止目标丢失。不过,由于电视跟踪应用的是定焦镜头^[3],目标成像的大小在视场中变化较大,使波门不能稳定,脱靶量的突变将造成伺服系统超调,严重时会造成伺服系统抖动。所以说,电视跟踪受外界的影响较大,稳定性差。

半自动跟踪是靠熟练的操作手利用瞄准镜和单杆跟踪,其优点是直接、灵活,当火箭出现异常情况时可增大捕获概率。但单杆跟踪受人为主观因素影响较大,操作手的操作熟练程度、心理素质等,都会给跟踪测量结果造成不同程度的影响。操作的微小失误会造成脱靶和跟踪不够稳定的问题。而且,人在设备上活动又会影响设备稳定,造成测量误差。这种误差又是非线性系统误差,无法利用数理统计和实验的方法消除,直接影响测量的结果。

综上所述:光电经纬仪任务中用于引导的方式各有其优点,又有不足。但是,互补性很强。为了充分发挥各跟踪方式的优势,提出利用系统工程理论的加权评估法实现 160 光学经纬仪的自动跟踪,这样,不但可提高跟踪准确度和跟踪稳定性,而且可以实现定点跟踪。当设备配备激光测距仪时,良好的跟踪可提高激光回波率。

2 对引导数据源的综合分析

首先对引导数据源进行综合分析,在分析的基础上建立加权数学模型,而后编程实现动态优化数据,产生新的引导数据,实现全程跟踪。表 1 是对 160 光电经纬仪引导数据源的综合分析和实时引导

表 1 各种数据在各时段的特点综合分析

时间	中心机数据	理论弹道	电视测量数据	引导方案
0~20 s	无 只送火箭起飞零时	准确度较高,正常飞行可满足跟踪要求.	大于 12 s 可提供有效的数据,但目标大,准确度低.	理论弹道引导,电视脱靶量修正. 当中心机数据质量不好时,事实上为电视加权跟踪.
20~30 s	可送出 LM316 雷达和 160 光测提供的数据,数据有跳跃且不稳定.	理论弹道提供的数据也能满足跟踪要求,修正后可提高测量准确度.	正常条件下电视脱靶量稳定,可高准确度测量数据. 测量准确度可达 1 角分.	修正后的理论弹道与加权的电视脱靶量综合引导. 当中心机数据质量不好时,事实上为电视加权跟踪.
30~100 s	可送出稳定性和准确度较高的数据,因为雷测系统跟踪部位为天线,光测系统的跟踪部位为火焰,跟踪点会在天线和尾部跳动.	理论弹道勾画出目标的飞行走向,但出现较大的系统偏差,必须进行修正,方可实现准确、稳定地跟踪.	电视系统更稳定,但受天气的影响较大,当出现云雾、逆光和一二级分离时容易受到干扰而使测量无效.	综合评估的数据修正理论弹道引导. 电视脱靶量对时间加权修正
大于 100 s	中心机可提供高准确度的引导信息,除数据传输中出现粗大误差外,数据引导十分可靠.	理论弹道引导准确度更低,必须进行修正.	电视将受到作用距离的影响而无法测量.	理论弹道记忆中心机的引导数据实现修正跟踪.

方案.

2.1 数据分析的依据

在 0~20 s 时段,中心机仅送出火箭起飞零时 (T_0),没有引导信息. 目标在 12 s 左右才出山,电视系统在这一段时间没有测量数据送出. 但 T_0 立即启动理论弹道引导 160 光电经纬仪,形成从“起飞零时”的跟踪. 目标出山时基本处于垂直状态,根据历次任务的统计,正常飞行的实际弹道偏离理论弹道都小于 50 m,电视的捕获区间足以满足任务的要求,电视的测量准确度由于受目标成像太大的原因和亮点拖后的影响,会造成较大的测量误差,必须进行加权修正,为了减少计算量,采用了开关系数法,当脱靶量大于 20' 时,将脱靶量除以 3,当脱靶量小于 20' 时,将脱靶量除以 2. 此时设备处于自跟踪阶段,其特征符合反馈自跟踪的方式.

2.2 电视脱靶量的数据分析

160 的电视测量系统是根据目标的亮度进行跟踪识别的,并利用波门进行空间滤波. 前端识别电路根据要求,识别出需要跟踪的目标点,计算出目标的位置量,波门电路先将目标的位置量经过 P/D 变换求出目标的形心位置,送到数字电路进行坐标变换,而后送出脱靶量,相关处理同时逐场更换参考图像模板,不断适应目标的大小变化,波门系统不断对前端识别和相关处理求出的目标进行判别,若两者误差小于某一阈值时,则优先选用相关跟踪,否则采用前端跟踪. 从 160 电视跟踪的设计上对目标的变化作了处理,但是,没有对目标的特征进行分析处理,所以,在目标刚出山时会出现抖动. 这是因为测量的目标

是火箭,目标的最亮点并不在火箭上,也不在火箭与火焰的结合部,而是在火焰的最亮点(见图 1).

火箭火焰的最亮点偏离尾部,造成脱靶量后移,形成可变系差. 影响跟踪准确度和测量准确度. 实时跟踪必须根据目标的大小调整加权系数,防止因目标成像变化造成脱靶量抖动. 对测量的数据也必须事后进行半自动判读,消除目标提取误差,防止因火焰的变化和烟雾的遮挡而引起大的脱靶量输出. 图 1、图 2、图 3、图 4 说明了亮度不稳和超调造成系统抖动原因.

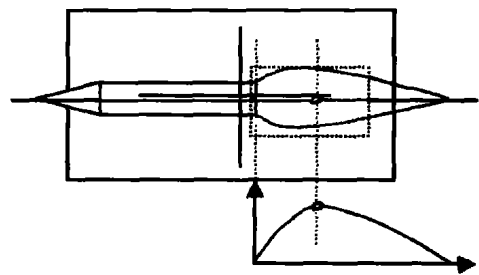


图 1 初始段火焰最亮点偏离尾部引入目标提取误差

Fig. 1 The initialization brightest of missile flame deviate tail and cause the error of gained object

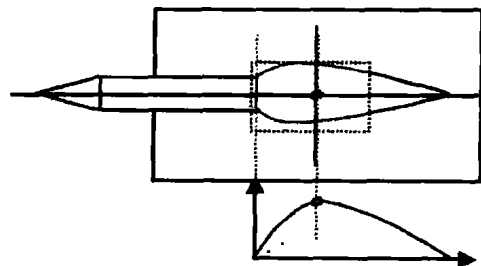


图 2 不修正跟踪部位造成错误容易引发较大抖动

Fig. 2 The tracking position of original design cause easily vibration in big range

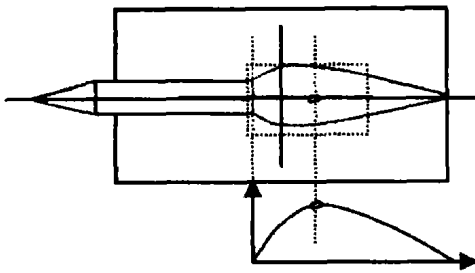


图3 利用时间和误差量实时加权修正,减小火焰的影响
Fig.3 The weigh method with time and error amend in real time to reduce the influence of flame

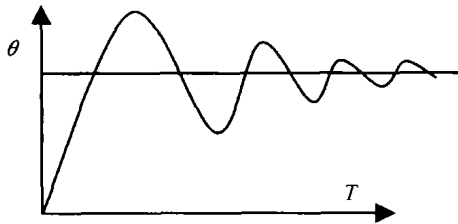


图4 伺服系统的超调曲线
Fig.4 The curve of servo system

利用数据分析和评估并对电视脱靶量实施时间加权,这样即可防止初始段测量拖后(见图1)的问题,也可防止伺服系统超调抖动^[4]。加权的方法:设电视脱靶量为 A_v ,则电视脱靶量 A_v 对时间和脱靶量大小加权。见公式(1)

$$A_v = \begin{cases} A_v = A_v / (2 - T/30) & (A_v \leq 1200) \\ A_v = A_v / (3 - T/30) & (A_v > 1200) \end{cases} \quad (1)$$

2.3 对引导数据的分析

在20~40s时段,中心机已收到光测和雷达的测量信息,并按状态选用好的数据解算弹道,送出引导信息。但是,会出现跟踪测量部位的偏移,雷达的测量天线大部分在火箭上的三级过渡段,离尾部大约40m,这就是说,160光电经纬仪跟踪部位与雷达

测量部位差40m。中心机不断选送其它外测数据时,容易产生数据的抖动,160系统机必须给予实时的修正。

跟踪部位的偏移,在初始段尤为严重,甚至会导致伺服系统抖动飞车。利用时间对其加权,也可消除以上的问题发生。加权的方法:设中心机送出的实时弹道为 A_y ,理论弹道读入的弹道为 A_1 ,理论弹道的偏差 ΔA ,则有 $\Delta A = A_y - A_1$ 。 ΔA 用公式(2)对时间加权。

电视用公式(3)加权。

$$\Delta A = (A_y - A_1) / (T/50) \quad (2)$$

$$A_v = A_v / (T/40) \quad (3)$$

2.4 综合数据分析

在40~100s时段,电视的测量数据进入稳定段,中心机开始实行连加单的引导方案,当然,我们希望中心机能对多台外测设备的测量信息进行综合评估和加权综合引导,以便提供更精确的引导信息。在这一段,主要的任务是利用电视测量数据和跟踪误差综合评估中心机的引导数据,当发现好的数据时,求出理论弹道的跟踪偏差,而且将这个偏差视为理论弹道的跟踪系差,不断对以后的理论弹道实时修正。修正量同时不断被最新的数据刷新,使理论弹道更接近实时弹道^[5]。电视脱靶量同时对160的跟踪误差实时修正,以弥补160伺服系统的跟踪误差。可以看出,当目标飞行正常时,利用理论弹道加实时修正的方法,同时具有了高准确度跟踪、长时间记忆、全程递推拟合、数字化引导和数字化跟踪。数据的综合评估优化数据,从可靠性设计上讲也提高了系统的可靠性系数。

表2 中心计算机实时接收各测量设备数据情况表

设备	开始时	结束时	状态
光电经纬仪	13.	160	"半自动跟踪"与"半自动未跟踪目标"状态频繁切换 跟踪(正常跟踪) 跟踪
3cm雷达	15.	130	
5cm雷达	55.	447.	
干涉仪A机	60.	90.	"VS锁定、S锁定"与"副2通道失锁"频繁切换

在100~165s时段,中心机的数据稳定,随着测量距离的增加,光测系统的定位准确度逐渐降低。

3 160 综合评估加权数据交换方案

图5为综合评估加权引导方框图,正如图中所示,系统计算机将电视测量数据、跟踪数据、设备状态、中心机引导数据和理论弹道同时读取,经处理后再送给160单板机实时引导,手动跟踪可随时切入和切出,以防备异常情况的发生。

为了能条理认清各种引导信息的特征和相互关

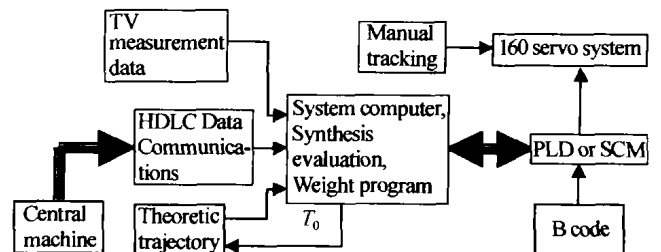


图5 160 综合评估加权引导方框图

Fig.5 160 synthesis evaluation weight boot frame
系,下文主要对中心机、理论弹道和电视测量数据综合利用进行了较详细的分析。

4 综合评估加权自动跟踪程序

为了分析方便,令各种变量分别为:

$A160(t)$ $E160(t)$ 为 160 送出的跟踪角度值;

$cAr(t)$ $cEr(t)$ 为中心机送出的弹道数据;

$ErrorA(t)$ $ErrorE(t)$ 为中心机送出的弹道数据与 160 送出的跟踪角度之差;

$TVA(t)$ $TVE(t)$ 为电视测量的脱靶量;

$f_x(t)$ $f_y(t)$ $f_z(t)$ 为实时从文本中读出的地心系理论弹道;

$SS(t)$ 为实时飞行弹道;

那么就有关系式

$$ErrorA(E)(t) = cAr(cEr)(t) - A(E)160(t) \quad (4)$$

$$TVA(E)(t) = SS(t) - A(E)160(t) \quad (5)$$

$$(4)-(5) \text{ 得: } ErrorA(E)(t) - TVA(E)(t) =$$

$$cAr(cEr)(t) - SS(t);$$

综合评估是根据飞行时间段分别利用四种判据完成的:

第一个判据是利用误差限判定中心机数据的有效性.

首先求出中心机送出的弹道与理论弹道的差,判定中心机送出的数据是否有效,判定的方法是以测量系的角度为限,根据跟踪准确度指标选定为 $10'$. 其优点是根据飞行距离的增加而增加误差限,有误差限比例放样的作用.

第二个判据是利用电视状态.

当电视测量状态有效时利用电视脱靶量进行修正,否则,保持上一帧的数据.

第三个判据是根据设备的跟踪误差判定中心机送出的数据的有效性.

设备的跟踪误差是中心机送出的数据与当时 160 伺服系统跟踪角度的差,因为设备跟踪角度不可能发生突变,中心机送出的数据假如正确,跟踪误差应该是一个稳定值,当出现跟踪误差突变时,认为中心机送出的数据无效,沿用上一帧的修正值.

第四个判据是利用电视的测量数据判定中心机数据的准确度.

当 $ErrorA(E)(t) - TVA(E)(t) < \Delta A(E)$ 时, $cAr(cEr)(t)$ 符合 $SS(t)$. 中心机送出的弹道等于实时飞行弹道. 实际上是对电视脱靶量和中心机数据的认定. 完成对测量数据的评估.

当测量数据被认定后,将极坐标系转成直角坐标系,形成对理论弹道的修正值 dx, dy, dz . 而且,仅当符合 $|ErrorA(E)(t) - TVA(E)(t)| < D$ 时 (D 为误差区域),才更新理论弹道的修正值 dx, dy, dz . 这样,只要每秒有几个好数据,就能保证对理论弹道进

行准确的修正. 如图 6 中 $t_1 \sim t_2$ 之间是利用 t_1 时刻取得的修正值实现对理论弹道的修正.

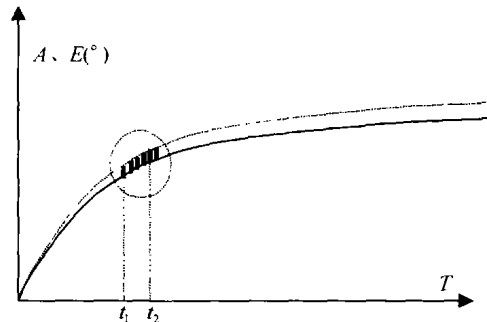


图 6 实时修正弹道跟踪曲线

Fig. 6 The curve of modifying track in real time

但是,当 160 没有跟踪到目标或者电视测量系统出现了问题时,系统始终不能满足判定条件,系统只能按理论弹道实时跟踪,出现较大的跟踪误差. 为了在这种情况下系统还能精确的自跟踪,则利用了飞行时间对引导数据实施加权. 加权的方法是根据总体对 160 设备的要求和中心机数据传输格式,将 $0s \sim 200s$ 的任务段暂分为四段,分段方法见表 1.

5 结论

光电经纬仪在空间测量中常用作姿态记录和空间定位,为获得较大的测量范围,采用望远镜头,测量视场小,容易丢失目标. 利用电视自跟踪,由于受烟雾、光照和气候的影响,经常出现错误提取脱靶量. 单独使用电视自跟踪,会导致设备抖动,严重时飞车. 初始段目标大,脱靶量提取部位的偏移,雷达的测量天线离尾部的距离都会造成外引导数据跳动,使光电经纬仪无法利用外引导跟踪的数据. 利用系统工程理论的加权评估法,充分发挥各跟踪方式的优势,对引导数据源进行综合分析,建立加权数学模型,实时进行互补和印证,不断地对理论弹道实时修正,具备了长时间记忆、全程递推拟合、数字化引导和数字化跟踪的条件,实现全程准确、稳定的自动跟踪.

参考文献

- 何照才,胡保安. 光学测量系统. 北京:国防工业出版社,2002. 7~13
He Z C, Hu B A. Optical Measurement System. Beijing: National Defence Industry Press, 2002. 7~13
- 尹义林. 经纬仪多种跟踪方式间切换问题的研究与实践. 光电工程,1990,17(4):57~62
Yin Y L. Opto-electronic Engineering, 1990, 17(4): 57~62
- 王建功. 提高光电经纬仪跟踪快速运动目标能力的一种方法. 光电工程,2002,29(1):34~37
Wang J L. Opto-electronic Engineering, 2002, 29(1): 34~37
- 张孟伟. 光电跟踪测量仪器的系统误差的修正方法. 光电工程,1995,22(6):47~51
Zhang M W. Opto-electronic Engineering, 1995, 22(6): 47~51

Using the Weight Evaluation Method to Improve 160 Tracking

Zhao Shimin, Weng Jie, Ji Guangzu Tong Lan

Taiyuan Satellite Launching Center, Technical Department, Third Section, Taiyuan 030027

Received date: 2003-05-16

Abstract The tracking mode of optic measurement system in base and problems are analyzed. The merits and defects of each tracking mode are analyzed. With the applying of the weight evaluation method of system engineering theory, the merits of each tracking mode are well exerted; the real-time complement and confirmation are made. The weight evaluation method of system engineering theory is proposed to realize the auto-tracking of 160 optic theodolite, in order to improve the precision and stability of the tracking, realize the fixed tracking and improve the echo rate of laser.

Keywords Data analyze; Synthesis evaluation; Weight tracking; Theodolite



Zhao Shimin was born in 1956 in Shandong. He received his B. S. degree in autocontrol from National University of Defense Technology. He is a senior engineer of the Taiyuan' Satellite Launching Center. His research interests are in optical measurement.