

引用格式:冯笑宇,何鹏,孙黎静,等.军用直升机光电系统地面比测试验方法研究[J].电光与控制,2019,26(6):97-99,105. FENG X Y, HE P, SUN L J, et al. Ground comparison test of electro-optic systems onboard military helicopters[J]. Electronics Optics & Control, 2019, 26(6):97-99, 105.

军用直升机光电系统地面比测试验方法研究

冯笑宇, 何鹏, 孙黎静, 程伟, 谷晓星
(航空工业直升机设计研究所, 天津 300000)

摘要: 光电系统在军用直升机中发挥着越来越重要的作用,如红外/电视成像、目标搜索、跟踪监视等。介绍了对光电系统重要功能性能进行地面比测试验的方法,减少设备试飞带来的经济、人力和时间的消耗。

关键词: 光电系统; 军用直升机; 地面试验; 比测试验

中图分类号: V271.4 文献标志码: A doi:10.3969/j.issn.1671-637X.2019.06.020

Ground Comparison Test of Electro-Optic Systems Onboard Military Helicopters

FENG Xiao-yu, HE Peng, SUN Li-jing, CHENG Wei, GU Xiao-xing
(China Helicopter Research and Development Institute, Tianjin 300000, China)

Abstract: The electro-optic system plays more and more important roles onboard military helicopters, including infrared/television imaging, target searching, tracking and monitoring, etc. The method for making ground comparison test on the important function performances of the electro-optic system is presented, which can reduce the economic cost and consumption of manpower and time associated with the flight test.

Key words: electro-optic system; military helicopter; ground test; comparison test

0 引言

随着各国大力发展和装备军用直升机、军用直升机飞行性能的提高以及先进作战系统的发展,军用直升机在战争中的作用越来越大。从现代战争来看,军用直升机的角色更多样化,既能对目标实施火力打击,又能承担反潜、运输、救援等任务^[1-3]。但军用直升机要实现较高的作战效率,除了要有快速机动性和装备武器系统外,还需装备先进的光电系统^[4]。

军用直升机的光电系统与雷达、声呐、电子支援系统等任务系统的有效协同为军用直升机完成反潜、海陆作战、搜索、战斗营救等任务提供了有力的保障^[5],尤其在目标的精确定位、识别、瞄准、自动跟踪以及武器系统精确制导等方面发挥着关键作用^[6-7]。光电系统的竞争方式主要有方案竞争和实物竞争,方案竞争存在的主要问题是产品后期研制过程中有许多不可控因素,所以用户更多地提倡实物竞争。现阶段,采用试飞比测的方法进行光电系统的考核。对有多家竞争方的项目,试飞比测不仅周期长,而且在经济和人力上投

入过大。为解决这一问题,提出了光电系统地面比测试验方法,并对此方法进行研究。

1 概论

光电系统可发现识别和跟踪所需目标,配合机载雷达、导航等系统进行目标定位^[8-9],为军用直升机携带的武器系统进行目标指引,从而为军用直升机进行综合化作战提供支援能力。根据军用直升机光电系统的主要作战使命,地面比测试验主要从光电系统的探测识别、跟踪误差、激光照射、抗干扰稳定性、抗遮挡记忆跟踪、电视/红外连续变焦能力等方面进行研究^[10-12]。

2 地面比测试验方法

试验用到的设备有差分 GNSS、全站仪、2.3 m × 2.3 m 线对靶标、2.3 m × 2.3 m 十字靶标和光斑监测设备。

差分 GNSS 和全站仪在探测、识别距离试验中用于标定转塔与目标的距离,光斑监测设备用于观看激光光斑,线对靶标为探测、识别距离试验中光电转塔观察的目标,十字靶标为跟踪相关试验中光电转塔观察的目标。

2.1 电视/红外探测、识别距离试验

使用差分 GNSS 标定观测点与靶标之间的距离,在

电视/红外模式小视场条件下对典型线对靶标(2.3 m × 2.3 m)进行探测和识别,竞争单位需同时对同一目标进行试验。

探测距离试验:被试品放置在观测点后,将 2.3 m × 2.3 m(以典型目标为例,其他目标用相同方法试验)线对靶标放置在提前标定好的起始距离处(起始距离为指标要求当天能见度距离的 60%),然后依次按商定的步长往远距离方向逐步推进。每向前推进一段距离由 4 名专家分辨判读,有 3 人或 3 人以上能发现靶标存在则视为可探测,可测出竞争单位光电系统的极限探测距离。如竞争单位均无法探测,则可以往回收缩距离,用同样方法判读,直到最后一家单位的产品无法探测为止。

识别距离试验:被试品放置在观测点后,将 2.3 m × 2.3 m 线对靶标放置在提前标定好的起始距离处,然后依次按商定的步长向远距离方向推进。每向前推进一段距离由 4 名专家分辨判读,有 3 人或 3 人以上能识别至少 3 条靶杆则视为可识别,可测出竞争单位光电系统的极限识别距离。如竞争单位均无法识别,则可以往回收缩距离,直到最后一家无法识别为止。

2.2 电视/红外跟踪误差试验

使用差分 GNSS 标定观测点与靶标之间的距离,在电视/红外模式小视场条件下对客货车挂载的十字靶标进行跟踪误差试验,重复进行 5 次,竞争单位同时参与。在指标考核距离位置使用客货车挂载十字靶标作为跟踪目标进行试验,跟踪目标沿垂直于观测方向运动,客货车车速 50 ~ 60 km/h(视为匀速行驶);现场操作人员手动捕获目标(十字靶标中心)后切换到自动跟踪模式,当跟踪框稳定地套住动态目标时,使用录像计算机对跟踪过程进行 10 s 的数据记录。

数据记录:利用录像计算机存储数据,使用试验表格记录跟踪目标丢失情况。

数据处理:利写试验过程记录表,录像计算机读取跟踪误差视频录像,按照式(1)~式(4),通过图像处理算法计算出十字靶标中心与跟踪框十字中心之间的角度偏离误差(即跟踪误差),若跟踪过程中被试品伺服出现故障,不能跟随目标移动,则该测量数据无效。对每种跟踪目标重复做 M 次试验,求 M 次小视场试验图像跟踪误差的均方根值作为最终跟踪误差结果,连续变倍和视场切换只统计跟踪过程中目标是否有丢失。

计算公式如下。

计算每次试验中,跟踪框十字中心(跟踪中心)与靶标中心之间的位移偏差均值分别为

$$X_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N |x_{j\text{跟踪十字框中心}} - x_{j\text{靶标中心}}| \quad (1)$$

$$Y_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N |y_{j\text{跟踪十字框中心}} - y_{j\text{靶标中心}}| \quad (2)$$

式中, N 为 10 s 中图像帧数。

计算 M 次试验跟踪框十字中心和靶标中心之间的位移偏离像素值为

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (\Delta X_i^2 + \Delta Y_i^2)} \quad (3)$$

式中, M 为试验次数。将偏离像素值转换为角度误差,即

$$\beta = \sigma \times \frac{\text{方位视场角}}{\text{方位像元数}} \quad (4)$$

2.3 激光照射精度试验

使用差分 GNSS 和全站仪标定观测点与靶标十字中心之间的距离,在电视模式小视场条件下使用短周期模式,每间隔 10 s 进行 1 次照射试验,共做 M 次。如图 1 所示,在指定距离处放置 2.3 m × 2.3 m 十字靶标,根据光斑监测设备靶标成像大小选择放置距离 L' 。将电视/红外切换到小视场,被试品瞄准十字靶标的十字中心,切换到自动跟踪模式,开启光斑监测设备录像后每间隔 10 s 进行 1 次激光短周期照射,共进行 M 次照射,照射完毕停止录像;使用光斑监测设备采集光斑和靶标图像数据。

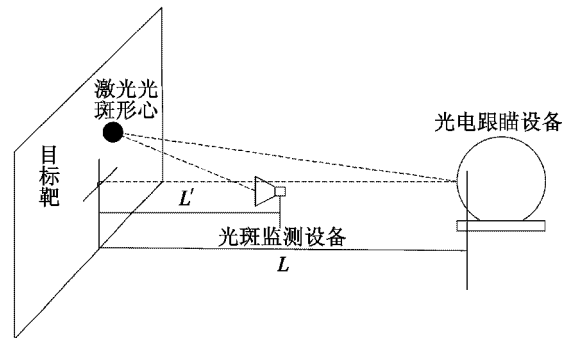


图 1 激光照射精度试验布置图

Fig. 1 Layout of laser irradiation precision test

数据处理:测量给出每个激光光斑形心与十字靶标中心之间的距离偏差,按式(5)、式(6)计算照射精度,把试验记录填写在表格里。激光照射精度算式为

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \left(\frac{R_i}{S}\right)^2} \quad (5)$$

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \sigma_j^2} \quad (6)$$

式中: σ_j 为第 j 次激光照射精度, $j=1,2,3,4,5$; M 为 1 次激光短周期照射时光斑监测仪记录的光斑总数; N 为激光短周期照射的次数, $N=5$; R_i 为 1 次短周期激光照射时,第 i 个光斑形心到十字靶标中心的距离,单位 m; S 为被试品激光窗口到十字靶标中心的距离,单位 m; δ 为激光照射精度试验的最终结果。

2.4 电视/红外抗遮挡记忆跟踪试验

使用差分 GNSS 标定观测点与靶标之间的距离,在电视/红外模式小视场条件下对客货车挂 $2.3\text{ m} \times 2.3\text{ m}$ 靶标进行抗遮挡记忆跟踪试验,竞争单位同时参与。在指定距离位置使用客货车挂载十字靶标作为跟踪目标,并使用高度超过 3 m 的篷布卡车在旁边做遮挡辅助。跟踪目标沿垂直于观测方向匀速(客货车速 $50 \sim 60\text{ km/h}$)双向行驶,单方向各 5 次,辅助遮挡车辆同方向低速行驶,被试品锁定目标后,进入遮挡区域,通过控制辅助遮挡车辆速度获得不同的遮挡时间,每种遮挡时间进行 5 次重复试验(从靶前端进入遮挡区到靶后端出遮挡区为遮挡时间)。

数据记录:从规定的最低遮挡时间开始测试,逐步延长遮挡时间(最长不超过 10 s),被试品重新捕获跟踪框十字在目标中心视为有效,低于 3 次视为本次跟踪未达标,使用录像计算机观看目标图像并进行录像,使用试验表格记录不同遮挡时间下记忆跟踪的目标是否丢失。

数据处理:试验表格抗遮挡记忆跟踪精确时间使用录像帧数统计的方法计算得到,每次的遮挡记忆时间算式为

$$T = \frac{N}{F} \quad (7)$$

式中: T 为每次试验时抗遮挡记忆跟踪时间; N 为每次试验时车辆穿越遮挡区间录像总帧数; F 为转塔图像输出帧频。

2.5 电视/红外抗干扰稳定性试验

使用差分 GNSS 标定观测点与靶标之间的距离,在电视/红外模式小视场条件下测试,竞争单位同时试验。在指定位置使用 1 辆客货车作为被跟踪目标,被试品跟踪锁定目标后,用另一辆客货车从不遮挡跟踪目标的一侧加速超车和迎面会车。跟踪目标沿垂直于观测方向双向匀速行驶(客货车车速 $50 \sim 60\text{ km/h}$),每方向各 5 次,干扰跟踪车辆与被跟踪车辆颜色不同,会车时,两辆车车速相同,超车时,干扰车辆车速高出目标车辆 $25 \sim 35\text{ km/h}$ 。

数据记录:穿越遮挡区后,被试品重新捕获跟踪框十字在目标中心视为有效,低于 3 次视为本次跟踪未达标,使用录像计算机观看目标图像并进行录像,在试验表格上记录记忆跟踪的目标是否丢失。

2.6 电视/红外连续变焦能力试验

使用差分 GNSS 标定观测点与十字靶标之间的距离,在电视/红外模式下测试,在指定距离处放置 $2.3\text{ m} \times 2.3\text{ m}$ 十字靶标,竞争单位同时参与。

全程变焦图像评判:被试品处于电视/红外分段连

续变焦的最小视场,控制从最小视场连续变焦至分段连续变焦的最大视场,然后再从最大视场连续变焦至最小视场,使用录像计算机同时记录被试品变焦试验视频,并分别进行编号。使用分析软件对录制的视频进行回放,现场由 4 名评判专家观看评判,给出变焦过程是否明显存在图像卡顿、图像模糊的意见,对同一个编号的视频,如果至少有 3 名专家认为明显存在图像卡顿、图像模糊的现象,则判断该编号视频明显存在图像卡顿、图像模糊的问题。

连续变焦光轴稳定性检测:被试品视场设置为小视场,图像十字光标与十字靶标重合。在连续变焦全程焦段上抽测 N 个位置点, 5 s 内完成 N 个位置点所在焦段从小视场到大视场的连续变焦,同时使用录像计算机录像并截取各个位置点图像。录像计算机分析软件对试验截取到的 N 个位置点图像进行分析,得到每个位置点的坐标 (x_i, y_i) , $i = 1, 2, \dots, N$; 共测量 3 次。按式(8)计算连续变焦光轴稳定性结果,填写试验过程记录,即

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [(x_i - X_i)^2 + (y_i - Y_i)^2]} \quad (8)$$

式中: σ 为连续变焦光轴稳定性参数; N 为连续变焦全程焦段上平均抽测的位置点数; x_i 为第 i 个位置点,图像十字光标 X 方向坐标值; X_i 为第 i 个位置点,十字靶标中心 X 方向坐标值; y_i 为第 i 个位置点,图像十字光标 Y 方向坐标值; Y_i 为第 i 个位置点,十字靶标中心 Y 方向坐标值。

3 结束语

本文对光电系统的重要功能性能提出了地面比测试验方法,对需要主观判断的试验项目根据约翰逊法则请专家进行判读。为激光照射精度、跟踪误差、电视/红外连续变焦能力提供了数据处理方法和算式。此测试方法可为军用直升机的光电系统地面比测试验提供参考依据,减少试飞周期、人力和经济消耗。

参考文献

- [1] 沈宏海,黄猛,李嘉全,等. 国外先进航空光电载荷的进展与关键技术分析[J]. 中国光学,2015,5(1):21-28.
- [2] 陈苗海. 机载光电导航瞄准系统的应用和发展概况[J]. 电光与控制,2003,10(4):43-46.
- [3] 李国柱,孙轶. 国外武器直升机光电系统的发展[J]. 舰船电子工程,2012,32(7):16-18,54.
- [4] 王大鹏,范惠林,侯满义,等. 轰炸机光电瞄准系统现状与发展[J]. 激光与红外,2012,43(9):978-979.

(下转第 105 页)

3 结束语

为了降低微机械陀螺仪的温度漂移,本文提出了一种基于PSO调节SVM参数的建模与补偿方法。首先,用于建模的温度漂移数据采用20 s数据(即1000组数据)平滑预处理;然后,采用支持向量机构造漂移模型,保证泛化能力。PSO方法用于优化支持向量机的参数,提高了建立模型的精度。通过大量的温度实验验证了本文方法的有效性。结果表明,与最小二乘法、BP神经网络方法相比,PSO调节SVM的补偿数据方差分别减小了81.3%和57%,最大误差分别减小54.7%和48.5%。另外,将本文方法应用于多个微机械陀螺进行补偿,效果都明显优于其他两种方法,证明本文方法有很强的泛化能力。

参考文献

- [1] WANG L, ZHANG W, ZHANG Z P, et al. Spinning frequency estimation algorithm of MEMS gyro's output signal based on FFT coefficient [J]. *Microsystem Technologies*, 2018, 24(4):1789-1793.
- [2] KOURANI A, HEGAZI E, ISMAIL Y. Electronic frequency compensation of AlN-on-Si MEMS reference oscillators [J]. *Microelectronics Journal*, 2016, 54:72-84.
- [3] WU X Z, LIU Z L, LI S Y. Influence factors and enhancement on property of micro-silicon gyroscopes [J]. *Micro-nanoelectronic Technology*, 2003, 7(8):274-277.
- [4] HE J B, XIE J, HE X P, et al. Analytical study and compensation for temperature drifts of a bulk silicon MEMS capacitive accelerometer [J]. *Sensors and Actuators A: Physical*, 2016, 239:174-184.
- [5] KUMAR P. Multilevel communication optimal least squares [C]//International Conference on Computational Science, Reykjavik, Iceland, 2015:1838-1847.
- [6] 陈辰,吕跃勇,马广富,等.基于神经网络的RLV再入段有限时间自适应姿态控制[J].*宇航学报*,2017,38(3):279-286.
- [7] VAPNIK V N. The nature of statistical learning theory [M]. New York:Springer, 1999.
- [8] 顾胜,魏蛟龙,皮德常.一种粒子群模糊支持向量机的航天器参量预测方法[J].*宇航学报*,2014,35(11):1270-1276.
- [9] FRIEDRICH S. Evolutionary tuning of multiple SVM parameters [J]. *Neurocomputing*, 2017, 64(2):107-117.
- [10] 王娟,刘明光.基于粒子群算法-最小二乘支持向量机算法的磁化曲线拟合[J].*电机与控制应用*, 2017, 44(7):26-29.
- [11] XAVIER A L, Jr, CELASCHI S. Groundwater monitoring of a hidric shortage crisis in Brazil based on LS-SVM forecasts for the city of São Paulo [J]. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 2017, 8(1):1-9.
- (上接第84页)
- [13] SU C Y, STEPANENKO Y, SVOBODA J, et al. Robust adaptive control of a class of nonlinear systems with unknown backlash-like hysteresis [J]. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 2000, 45(12):2427-2432.
- [14] 乔继红.压电陶瓷驱动器的滑模观测器反演控制[J].*科学技术与工程*,2018(1):257-260.
- [15] 左守印,王合龙,周德召,等.基于几何法求解PI逆模型参数[J].*电光与控制*,2019,26(1):47-50,60.
- [16] 林伟,叶虎年,尹冬至,等.压电陶瓷微定位控制系统的规则控制研究[J].*华中科技大学学报:自然科学版*,2005,33(5):92-94.
- [17] GAO Z Q. Scaling and bandwidth-parameterization based controller tuning [C]//American Control Conference, IEEE, 2003. doi:10.1109/ACC.2003.1242516.
- (上接第99页)
- [5] 陈希林,傅裕松,尉洵楷.机载光电瞄准系统的现状与发展[J].*红外技术*,2006,26(2):421-423.
- [6] 刘洵,王国华,毛大鹏,等.军用飞机光电平台的研发趋势与技术剖析[J].*中国光学与应用光学*,2009,2(4):269-288.
- [7] 纪明,许培忠,徐飞飞.武装直升机光电系统的发展与对策[J].*舰船电子工程*,2010,31(1):2-7.
- [8] 沈君辉,杨光,陶忠,等.舰载直升机光电系统发展及其关键技术[J].*应用光学*,2015,36(2):162-170.
- [9] 阮潇琳,文志信,单洁.美军新一代舰载直升机——MH-60S/R多用途直升机[J].*国防科技*,2011,32(4):32-35.
- [10] SHALAL-ESA A. U. S. should consider re-design of missile defense system [R]. Washington:Reuters,2014.
- [11] MOLEBNY V, ZARUBIN P, KAMERMAN G. The dawn of optical radar; a story from another side of the globe [C]//The International Society for Optical Engineering, 2010. doi:10.1117/12.850086.
- [12] CHOW B G, SILBERGLITT R, MILNE C R, et al. Toward affordable systems III: portfolio management for army engineering and manufacturing development programs [R]. Santa Monica:RAND Corporation, 2012.