

文章编号:1007-1180(2011)09-0054-05

起降综合电视监视系统研究

邵俊峰

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所 激光与物质相互作用国家重点实验室, 吉林 长春 130033)

摘要:舰载机降落对舰载机的正常作战起到了关键作用。本文以美军航母电视监视系统为例,探讨了起降综合电视监视系统的主要功能和系统组成。鉴于中线监视系统的重要性,本文着重对其进行了深入探讨,并以 E2V CCD-97 型号为例分析了 EMCCD 在中线电视监视系统中的应用。通过理论方法分析了目标亮度和系统分辨率要求,证明技术参数为焦距 60 mm、 $F/4$ 的光学系统能够满足固定翼舰载机降落监视的技术要求。本文的理论研究结果为开展舰载机相关技术研究打下了基础。

关键词:舰载机助降;综合电视监视;分辨率;电子增益电荷转移器件

中图分类号: TB853

文献标识码: A

DOI: 10.3788/OMEI20112809.0054

Integrated Launch and Recovery Television Surveillance System

SHAO Jun-feng

(State Key Laboratory of Laser Interaction with Matter, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: Safe landing of shipboard aircrafts is the key issue for their missions and combats. The function and the components of integrated launch and recovery television surveillance system (ILARTS) were discussed, which took the U.S. aircraft carrier as an example. The centerline cameras were specially discussed by which the obtained information was significant for landing signal officer. The advantage of electron multiplying CCD (EMCCD) was presented for potential use in carrier landing. The technical requirement was calculated and it was found that EMCCD CCD-97, E2V Co. Ltd. with optics with $F=60$ mm, $F/4$ could fulfill the specific resolution requirement for shipboard fixed-wing aircraft landing. The theoretical analysis builds the foundation for related engineering applications.

Keywords: landing-aid for shipboard aircraft; integrated television surveillance; resolution power; electron multiplying CCD (EMCCD)

1 引言

航空母舰面积狭小, 着舰时留给飞行员的反应时间很短。在尾钩未成功钩住阻拦索时为保证飞机能够复飞, 固定翼舰载机着舰时一般需全速进场。着舰的高度、位置和角度又有苛刻要求, 在理想的下滑面 $\pm 1.4^\circ$ 范围内才能安全着陆。更为严重的是, 舰体始终存在侧倾、摇摆造成飞行甲板前冲和左右摆动, 给着舰带来了极大危险。除此之外, 起落架、阻拦索的状态也都关系着降落的安全, 任何一个环节出现问题都可能造成机毁人亡的后果。因此, 固定翼舰载机飞行员无法单独完成航母的降落任务^[1-3]。

着舰指挥官为了协助飞行员降落, 需掌握着舰机飞行姿态、高度、尾钩状态、各关键设备状态以及飞行甲板与海平面的关系等信息。采用视频摄像技术能够提供直接、重要的信息。图1为美国某航母上一次降落过程的视频记录, 飞行员盲目跟踪飞行甲板导致飞得过低, 此时着舰指挥官可以根据视频数据命令飞行员采取爬升和姿态调整措施。电视监视对着舰指挥官的决策起到了关键作用^[4]。

除了这种实时需求外, 起降过程摄像记录对于事后分析也具有重要意义。一方面, 起落过程分析可以用于考核飞行员的起降水平, 帮助飞行员改进起落技术, 也可用于新飞行员的教学观摩。另一方面, 全场记录对于事故分析具有关键作用。飞行甲

板是母舰作业的主要场所, 业务繁多, 有飞机起飞、着陆、复飞以及逃逸等过程, 全场记录能够提供飞行甲板的视频信息, 并记录舰载机进场时着舰指挥官与飞行员、各职能负责人的音频信息, 有助于发现事故的原因, 提高起落的成功率。起降综合电视监视系统就是为了满足以上需求而研制的。下面以美国舰载机为例介绍其功能和组成。

2 系统功能和组成

起降综合电视监视系统需要监视固定翼舰载机对准理想下滑道的情况, 进行信息处理并以图像形式显示, 辅助着舰指挥官进行着舰决策。起降综合电视监视系统还必须监视起飞站位的固定翼舰载机起飞情况, 跟踪监视固定翼舰载机离舰升空后的飞行情况, 并监视固定翼舰载机的着舰、复飞及逃逸过程。起降综合电视监视系统的视音频信息记录和分发子系统需要对固定翼舰载机的起降视频信息和进入航迹监视距离范围内后着舰指挥官的指挥通话进行记录, 向外设着舰指挥所内的相关站位提供实时的舰载机着舰视频信息, 向飞行指挥塔内的相关站位提供必要的舰载机起降视频信息, 根据需要向航空保障指挥管理系统提供记录的起降视频信息。

从以上功能分析可以看到, 起降综合电视监视总系统主要包括电视监视系统、显示单元、视频存储设备以及控制台等子系统。其具体工作流程为: 电视监视系统采集的数据送给起降电视监控室, 经总监控台调度, 根据实际需要, 将采集的实时或事后视频信息分发给飞行指挥塔、外设着舰指挥所、航空保障指挥系统等地点。除此之外, 起降电视监控室还需完成各视频信息的存储、视频回放、着舰指挥官音频信号录音等多重任务。

电视监视设备由中线监视设备、全局监视设备、起飞监视设备、阻拦监视设备、尾钩监视设备等构成。图2为美国航母上的电视监视设备布局。其中两套中线监视设备为凝视型电视监视系统, 还配有控制机箱设备。其余所有子系统均由电视跟踪

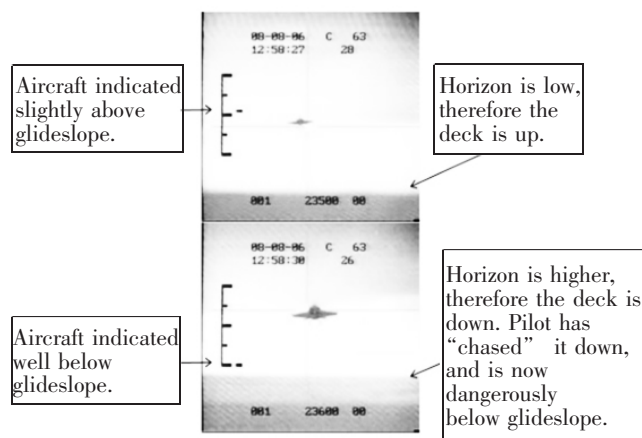


图1 中线监视相机下滑道、电子十字丝

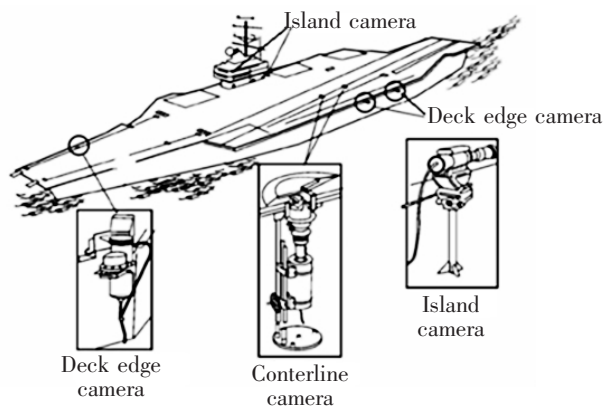


图2 电视监视设备所处位置

仪实现,除光电系统外还配有控制机箱、伺服控制机箱。

下面以图2美国航母起降综合电视监视系统为例,介绍各子系统的组成和功能。中线监视设备是起降综合电视监视系统最核心的设备。系统包括电视摄像机、相关的电力供应、监视、时统控制以及分发设备、视频记录设备。光电系统为高分辨率的、经过优化可用于白天和夜间监视的系统。两套中线监视设备安装在飞行甲板中线上相距约1.2 m的位置,安装位置下陷(不影响跑道工作),并且满足光学的技术指标要求。两个相机都位于第四阻拦索的前方。一台相机用于正常操作,另外一台作为备份,在主相机模糊不清或无法工作时启动。中线相机均备有自动压缩空气清洁装置。中线相机还配有电子“十字丝”稳定装置,能够在中线相机上生成下滑道和中线的电子十字丝,其中垂直线对应于甲板的中线,水平线对应于舰载机理想下滑道。十字丝“照明”白天为黑色,夜间为白色,以便于着舰指挥官观察。“十字丝”系统需要从母舰的陀螺仪得到母舰的惯稳参数,才能进行计算机映射计算。该系统提供两种操作模式:正常模式下,在一定范围内,母舰甲板保持静止,而十字丝和舰载机随着舰体侧倾和摇摆;在图像运动补偿模式下,着舰机和调制盘始终稳定在监视器的中心。

全局监视设备是起降综合电视监视系统的关键组成部分。由于全局监视设备用于全局监视,采用

有人值守的方式工作,可以全天候捕获通过中线相机的飞机,可以拉近视场确认飞机,然后从捕获绳索往后观察确定第几个阻拦索勾住飞机。在发生事故、灾难以及复飞的情况下,全局监视设备可以做到即时记录所有的重要信息。起降综合电视监视系统还包括起飞监视设备和阻拦监视设备,这两类设备用于记录和阻拦索勾住尾钩的状态,是起降综和电视监视系统的额外子系统,同样具有夜间工作的能力,该系统具有独立的磁带/磁盘记录仪进行记录。阻拦监视设备可以在两个中线监视设备均失效时记录降落过程。

起降综合电视监视系统显示单元在提供的视频信号监视器叠加身份确认、时间、风速、舰载机速度、停止进场以及复飞灯、甲板状态等字符关键信息。视频记录仪应能记录视频和多通道音频信号,记录仪在不需要任何处理的情况下可立即倒带重放。集成图像监视器为着舰指挥室、预飞控制室、飞行甲板控制室、指示旗部、舰长室、航管控制室、起降综合电视监视系统控制室,以及其他临时指控室提供数据通讯线路并提供重放功能。

除电视监视子系统的监视设备客户端、伺服控制客户端外,起降综合电视系统监视系统还包括全局控制台,实现整个系统的中央控制。操作人员可以根据需要选择任何一台相机的视频信号显示在监视器上,并予以分发。起降综合电视监视系统监控台工作人员的职责包括在众多相机中选择重放和录制,记录所有飞机降落时间,记录每一次飞机降落时哪一台中线相机发挥作用,在最后一架飞机降落后所有降落过程可以马上提供给所有需要的指控室。

3 中线监视系统

上文已经分析,中线电视监视系统是起降综和电视监视系统的核心设备^[4],是着舰指挥官实时获取飞行姿态、下滑道等信息的主要渠道,是着舰指挥官做出相关着舰决策的主要参考依据。中线电视监视系统的成像质量、分辨率对后端图像处理、电子学处理产生重要影响,对飞行姿态、下滑道精度

以及母舰甲板与海平面夹角的测量精度起到决定性作用。同时,该系统还必须采用微光电视监视设备,才能满足全天候工作的技术需求。

电子增益型 CCD (EMCCD) 技术是利用 CCD 自身增益的先进技术,可用于微弱信号监测^[5],动态范围大,可用于白天强照明和夜间弱照明条件的监视。EMCCD 的最小可用照度(黑白模式) $<1 \mu\text{lx}$ 。其缺点是价格相对昂贵,大部分 EMCCD 产品也存在一定寿命限制。下面以一款 E2V EM 相机(型号 CCD-97)为例讨论 EMCCD 和光学系统的具体技术指标,以满足中线电视监视系统对分辨率的要求。

3.1 目标亮度

为了保证 EMCCD 输出视频信号有较高的信噪比,目标经大气及光学系统到 CCD 靶面的照度需要满足如下要求:

$$E_m \geq E_c \quad (1)$$

式中: E_m 为 EMCCD 靶面处目标形成的照度,单位为 lx ; E_c 为 EMCCD 靶面处的最小许用照度,取 $E_c = 1 \mu\text{lx}$ 。目标在靶面上的照度为:

$$E_m = \frac{1}{4} E_0 \rho_0 \tau_0 \tau_1 \alpha \left(\frac{D}{f} \right)^2 \quad (2)$$

其中, E_0 是月夜的照度,为 $0.02 \sim 0.3 \text{ lx}$,为了保证估算准确性,取最小值 $E_0 = 0.02 \text{ lx}$; ρ 为目标反射系数, $\rho = 0.35$; τ_0 为 5 km 海面大气透过率, $\tau_0 = 0.5$; τ_1 是光学系统透过率,取 $\tau_1 = 0.5$; α 为弥散系数, $\alpha = 0.8$; D/f 是光学系统相对口径,取 $D/f = 1/4$ 。

代入以上各数据计算得到:

$$E_m = 87 \mu\text{lx} \quad (3)$$

因此,目标在 EMCCD 靶面处的照度远大于 EMCCD 摄像机靶面的最小许用照度。

为了确定电视的作用距离,在满足目标最小许用照度的基础上,还需要分析在稳定跟踪过程中,复杂的背景条件下目标与背景的对比度 C 大于最小许用目标与背景的对比度 $[C]$,即是否满足如下条件:

$$C = \left| \frac{E_m}{E_b} - 1 \right| > [C] \quad (4)$$

而夜晚天空背景在像面的照度为:

$$E_b = \frac{\pi}{4} B_b \tau_1 (D/f)^2 \quad (5)$$

其中 B_b 为背景亮度,星夜条件 $B_b = 0.002 \text{ lx}$; τ_1 为光学系统透过率,取 $\tau_1 = 0.5$; D/f 为光学系统相对口径, $D/f = 1/4$ 。将数据带入上式,计算得到

$$E_b = 49 \mu\text{lx} \quad (6)$$

则 $C = 0.7$,按国际标准 $[C] = 0.05$,考虑到电路处理噪声及背景的不均匀等因素,取 $[C] = 0.1$,计算结果 $C > [C]$,满足目标与背景最小对比度要求。

3.2 下滑道分辨率

下滑道指示精度是中线监视设备的关键指标,决定着舰载机与理想下滑道之间的偏差估计的精度,是着舰指挥官最为关心的精度。根据图像处理及作用距离的要求^[6],下滑道指示精度应达到 1 mrad ,才能实现在 3 km 远处分辨率达到 3 m 的精度,以保证后端图像处理的正常实施。根据文献 [4],已知航迹监视设备的视场为水平 6° (以着舰跑道中线为中心),垂直 2° (以理想下滑道为中心)。因此,光学系统为窄矩形视场,需采用圆视场加视场光阑的方法,保守取为 7.5° ,计算得到焦距约为 60 mm 。由此计算,单元像素 $16 \mu\text{m}$ 对应的视场角线度值为 0.16 mrad 。该值为下滑道指示精度指标的 $1/5$,因此选择 E2V CCD-97 型号 EMCCD 并配合 $F/4$ 、焦距 60 mm 的光学系统就能够满足舰载机着舰的精度要求。

4 总 结

本文以美军电视监视系统为例探讨了起降综合电视监视系统的主要功能及系统组成,并着重探讨了中线电视系统。以 E2V CCD-97 型号为例,探讨了 EMCCD 在中线电视监视系统中的应用。分析了目标亮度,表明该款相机能够满足相关的技术指标要求。并分析了系统分辨率,计算表明,技术参数为焦距 60 mm 、 $F/4$ 的光学系统能够满足监视的技术要求。本文对开展舰载机助降研究、海面大型舰只的光电系统应用打下了理论基础。

参考文献

- [1] 马世强. 航母舰载机飞行员起降训练问题分析(上)[J]. 环球飞行, 2010(9): 32-39.
- [2] 李娟, 边信黔, 夏国清, 等. 舰载机飞行仿真可视化研究[J]. 计算机仿真, 2008, 25(2): 294-298.
- [3] 陈宣仪, 刘刚, 洪冠新. 舰载机返航着舰的关键点和关键要素的分解和分析[J]. 飞行力学, 2011, 29(2): 20-24.
- [4] NAS Oceana (organization). *Landing Signal Officer Reference Manual (Rev B)* [M]. VIRGINIA: US Department of the Navy, 1999.
- [5] 韩露, 熊平. EMCCD 工作原理及性能分析[J]. 传感器世界, 2009(5): 24-28.
- [6] 王兵学, 张启衡, 刘玉清, 等. CCD 探测器搜索距离跟踪系统的作用距离分析[J]. 光电工程, 2004, 31(11): 12-15.

作者简介: 邵俊峰 (1984-), 男, 汉族, 安徽宿州人, 硕士, 研究实习员, 2009年于复旦大学获得硕士学位, 主要从事光电对抗技术的研究。E-mail: shao_junfeng@hotmail.com

《发 光 学 报》

——EI核心期刊 (物理学类; 无线电电子学、 电信技术类)

《发光学报》是中国物理学会发光分会与中国科学院长春光学精密机械与物理研究所共同主办的中国物理学会发光分会的学术会刊。该刊是以发光学、凝聚态物质中的激发过程为专业方向的综合性学术刊物。

《发光学报》于1980年创刊, 曾于1992年, 1996年, 2000年和2004年连续四次被《中文核心期刊要目总览》评为“物理学类核心期刊”, 并于2000年同时被评为“无线电电子学、电信技术类核心期刊”。2000年获中国科学院优秀期刊二等奖。现已被《中国学术期刊(光盘版)》、《中国期刊网》和“万方数据资源系统”等列为源期刊。英国《科学文摘》(SA)自1999年; 美国《化学文摘》(CA)和俄罗斯《文摘杂志》(AJ)自2000年; 美国《剑桥科学文摘社网站》自2002年; 日本《科技文献速报》(CBST, JICST)自2003年已定期收录检索该刊论文; 2008年被荷兰“Elsevier Bibliographic Databases”确定为源期刊; 2010年被美国“EI”确定为源期刊。2001年在国家科技部组织的“中国期刊方阵”的评定中, 《发光学报》被评为“双效期刊”。2002年获中国科学院2001~2002年度科学出版基金“择重”资助。2004年被选入《中国知识资源总库·中国科技精品库》。本刊内容丰富、信息量大, 主要反映本学科专业领域的科研和技术成就, 及时报道国内外的学术动态, 开展学术讨论和交流, 为提高我国该学科的学术水平服务。

《发光学报》自2011年改为月刊, A4开本, 144页, 国内外公开发行。国内定价: 40元, 全年480元, 全国各地邮局均可订阅。《发光学报》欢迎广大作者、读者广为利用, 踊跃投稿。

地 址: 长春市东南湖大路3888号

电 话: (0431) 86176862, 84613407

E-mail: fgxbt@126.com

国内统一刊号: CN 22-1116/O4

国内邮发代号: 12-312

邮 编: 130033

http://www.fgxb.org

国际标准刊号: ISSN 1000-7032

国外发行代号: 4863BM