

无人机光电与射频探测综合传感器系统综述

崔建鹏, 巩冠峰, 王刚, 朱玉祐

(中国航空工业集团公司洛阳电光设备研究所, 河南 洛阳 471009)

摘要: 介绍了机载综合传感器系统的由来, 给出了综合传感器系统的实现方法及特点。对美国“全球鹰”无人机综合传感器系统的体系架构进行了分析, 最后对我国无人机光电与射频探测综合传感器系统的发展提出了几点建议。

关键词: 无人机; 综合传感器系统; 光电探测; 合成孔径雷达

中图分类号: V279 文献标志码: A 文章编号: 1671-637X(2013)03-0049-04

A Summary on Integrated Sensor System of EO and RF for UAVs

CUI Jianpeng, GONG Guanpeng, WANG Gang, ZHU Yuhu

(Luoyang Institute of Electro-Optical Equipment, AVIC, Luoyang 471009, China)

Abstract: The history of airborne integrated sensor system is introduced, and the fulfill methods and characteristics of the system are presented. The architecture of the integrated sensor system onboard “Global Hawk” is analyzed. Finally, some suggestions are given about the domestic development of the integrated sensor system based on Electro-Optical (EO) and Radio Frequency (RF) sensors for UAVs.

Key words: UAV; integrated sensor system; EO detection; SAR

0 引言

鉴于在近几次局部战争中的突出表现, 无人机已成为信息武器装备体系的重要组成部分, 在信息支援、信息对抗和火力打击等领域发挥着不可替代的作用。

机载光电探测系统是无人机执行任务最常用的任务载荷, 光电探测系统不仅可避开敌方强大的电磁干扰, 而且加装红外探测器之后可以具有全天候的侦察能力^[1]。光电探测系统的缺点是不能在恶劣天气情况下使用, 这就为合成孔径雷达(SAR)的使用提供了广阔空间。SAR具有全天候、全天时、远距离、高分辨能力等性能, 并且还有多频段、多极化、多视向和多俯角等优点, 特别适用于大面积成像^[2]。此外, SAR还可以对地面活动目标进行检测(GMTI), 并且具有一定的穿透能力, 能够透过地表和自然植被对地表浅层下的物体进行侦察。

将SAR与光电探测系统联合使用可充分扬长避短、优势互补, 更能满足无人机作战使用需求。在典型使用方式下, 可首先使用SAR对战场进行大范围、远距离侦察, SAR发现标定目标后, 引导无人机飞向目标

区域; 进入光电探测系统作用距离后, 加装稳瞄装置及激光测照器的光电探测系统可快速识别、跟踪目标, 支持任务系统完成武器瞄准、投放, 并可引导激光制导武器攻击, 实现对地打击任务各阶段的“无缝”衔接。SAR与光电探测系统联合使用将进一步提高无人机的作战能力, 在态势感知、目标快速搜索/截获等任务能力方面都将大幅提升。

为了增强无人机获取侦察信息的能力并降低成本, 国外大力发展由光电探测系统和SAR组成的综合传感器系统^[3]。国内对于机载综合传感器系统进行研究的文献并不是很多, 其中文献[4-5]侧重于对F-22等新一代战斗机上综合传感器系统的实现进行了阐述。本文结合机载综合传感器系统的发展历程及特点, 着重介绍并分析了“全球鹰”无人机上由光电探测(EO/IR)及射频探测(SAR)组成的综合传感器系统。

1 机载综合传感器系统概述

1.1 由来

近20年来, 随着微电子、计算机和信息技术的发展及需求牵引, 航空电子系统得到了飞速发展, 并极大地提高了飞机的作战性能, 但同时飞机的成本也急剧上升。美国曾经对一架2000年出厂的现代战术隐身

飞机成本进行分析,航空电子系统成本占到飞机总成本的 40%,传感器占到航空电子系统成本的 60% (超过航空电子系统重量的 45%,体积的 75%)。

早在 20 世纪 90 年代,美国空军实验室和 JAST 计划(JSF 计划前身)项目就联合出资 3400 万美元,提出了“综合传感器系统(ISS)”计划项目,由洛克希德·马丁和麦道两家公司各组成一个小组同时展开研究,对雷达、电子战、通信导航识别等射频(RF)传感器进行综合设计,以减少机载传感器的费用、重量和体积,同时改善资源的可用性。

1.2 ISS 实现方法及特点

经过 3 次演示验证,1998 年,ISS 项目小组最终发表了他们的研究成果,即《综合传感器系统开放架构》,围绕着通用模块、资源共享、系统重构、可测试性、构架的灵活性等 5 个原则^[6],为射频电子组件定义了一个开放式系统架构(OA),综合传感器系统体系架构如图 1 所示。

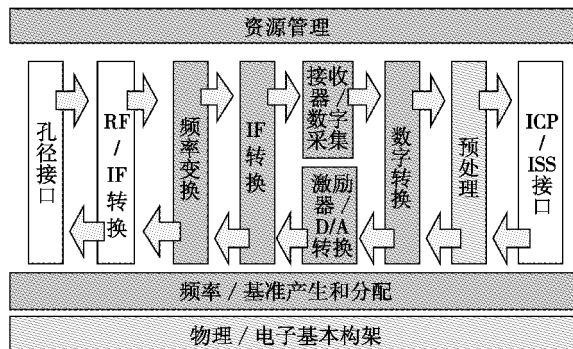


图 1 综合传感器系统体系架构

Fig. 1 Integrated sensor system architecture

综合传感器系统设计集成具有以下特点:

1) 采用综合模块化航空电子体系结构^[7],对整个传感器系统进行管理和调度,实现资源共享、功能分区和模块化结构设计;

2) 采用通用模块技术,使机上的电连接器大幅减少,系统具有低故障率、高故障检测和隔离能力,提高系统的可靠性,降低系统维护费用,提高飞机的平均无故障时间;

3) 采用规范统一的模块互连标准,使相同功能模块在机架内互插互用,不同功能模块之间正常通讯,保证系统体系架构的灵活性和扩展性;

4) 采用软件模块化设计技术,定义规范统一的软件结构及软件接口标准,提高软件的可移植性和可维护性,保证程序执行的可靠性^[8];

5) 采用信息融合技术,对传感器进行综合管理和信息融合,扩大传感器时空覆盖范围,增加传感器综合系统的置信度,提高对目标的空间分辨力,增加飞机对

战场态势的感知能力。

2 国外典型无人机光电与射频探测综合传感器系统分析

2.1 概述

“全球鹰”无人机系统是美国在 20 世纪 90 年代设立的“蒂尔”系列无人机系统研究计划中的高空长航时无人机研究专项的主要成果之一,是目前世界上技术最先进、应用最成熟的高空长航时无人机。在“全球鹰”无人机系统论证期间,为满足全天候、全天时持续侦察和监视等性能要求,在经过综合论证之后,项目组提出了装备 EO、IR 传感器和 SAR 的基本构想,并在此基础上形成了 3 个配置方案:第一方案是采用 EO 和 IR 为一体的综合光学系统,其特点是 EO 和 IR 传感器不能同时工作,并要求充分考虑选用不同波长光学折射对侦察图像的影响;第二方案是采用独立的 EO 或 IR 和 SAR,因为 EO 或 IR 传感器和 SAR 同时工作,需要考虑系统数据处理的复杂性;第三方案是研制由 EO/IR 传感器和 SAR 组成的综合传感器系统,实现软件和硬件共享,避免重复功能,简化传感器与电气系统、控制系统和链路设备等之间的交联。在经过反复论证后,项目组选择了第三方案^[9]。

事实证明,综合传感器系统出色地完成了所承担的各类侦察使命,极大地提高了“全球鹰”无人机的使用效率。

2.2 系统架构

“全球鹰”无人机综合传感器系统是由光电探测装置(包括 EO、IR 传感器)和射频探测装置(主要为 SAR)组成的综合探测系统,由 EO/IR 接收组件(ERU)、SAR 天线、SAR 发射机、SAR 接收/激励/控制器(REC)、传感器电子组件(SEU)、综合传感器处理器(ISP)、配电组件(PDU)和两个 LN-100 惯性测量组件(分别为 EO/IR 传感器和 SAR 提供惯性参数)等组成。综合传感器系统组件工作原理如图 2 所示。

EO/IR 接收组件是 EO/IR 传感器的主体,由可见光摄像单元、红外摄像单元、带精确伺服控制万向轴的 30 cm 镜头、镜头窗、滚动驱动装置和外体等组成。外体曲面和机身外形保持一致,具有保形作用。

SAR 天线由天线、万向轴、伺服机构和支架等组成,在天线外部,设计了一个较大的整体复合材料天线罩,具有良好的透波性,天线罩设计为快卸式,便于在地面对设备进行维护和更换。

REC 和 SAR 发射机为 SAR 雷达专用设备,REC 用于接收雷达的信号,对其进行变频处理,输出视频信号,以及完成对雷达工作状态的监测和控制等。发射

机用于发射高功率宽带信号。

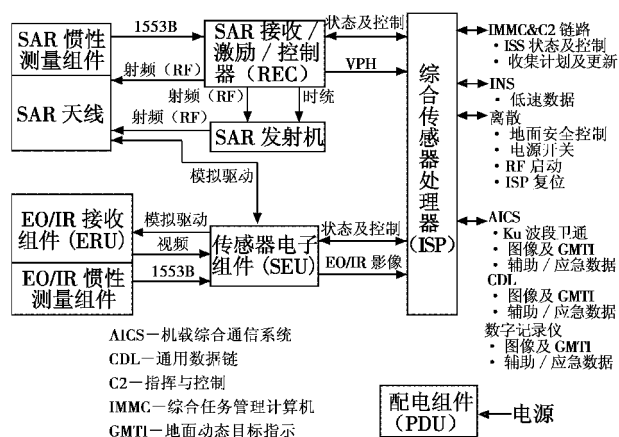


图2 “全球鹰”综合传感器系统组件工作原理框图

Fig.2 Working principal of “Global Hawk” integrated sensor systems’ unit

SEU、ISP 和 PDU 是 3 个传感器共用设备,SEU 可作为 SAR 天线使用的伺服电子组件,控制天线的转动,也可作为 ERU 的伺服及摄像电子组件,控制平台转动和相机工作。ISP 对所有传感器的成像操作进行管理,并完成相应的公共功能,包括功率控制、侦察规划、数据格式化(所有图像以 NITF 2.0 标准格式输出)和图像压缩。EO/IR 和 SAR 传感器均采用 115 V 交流电源(400 Hz)与 28 V 直流电源的供电体制,由 PDU 供电,PDU 包括断路器、开关继电器和滤波器等。

综合传感器系统与机上其他系统的交联是通过 ISP 实现的。ISP 与综合任务管理计算机(IMMC)之间为一个标准的以太网接口,采用了一个相当简单的直接报文传送协议,可以最大程度地降低系统集成的风险;与机载综合通讯系统(AICS)之间的交联基于 Mercury 计算机系统的接口适配器;与电气系统之间采用离散模拟输入、输出方式。

2.3 性能

“全球鹰”无人机综合传感器系统主要性能指标如表 1 所示。

“全球鹰”无人机采用的是螺旋式发展模式,在后续 Block 30 批次机上装备的是增强型综合传感器系统(EISS),通过安装精密光学望远镜和应用实用焦点控制技术以及提高 SAR 的发射机功率和安装更大的天线,使得 EISS 的 EO/IR 传感器和 SAR/MTI 的工作范围提高了 50%。在 Block 40 批次机上采用的是“多平台雷达技术嵌入计划(MP-RTIP)”雷达,MP-RTIP 雷达采用了有源相控阵技术。有源相控阵是指在天线阵中每个天线单元下面连接的不再是一个移相器,而是 T/R 模块,T/R 模块不仅有移相器,而且还包含有对射频信号功率放大的功率放大器,使每个 T/R 模块都像一个“独立”的

子雷达,有源相控阵雷达具有射频功率效率高、雷达隐身性能好、多功能、高探测和跟踪能力、高可靠性及形成不同形状波束的能力等突出优点^[10]。

表 1 “全球鹰”无人机综合传感器系统主要性能指标

Table 1 Performance indicators of “Global Hawk” integrated sensor system

传感器	参数	数值
EO/IR	EO 波长/ μm	0.55 ~ 0.88
	IR 波长/ μm	3.7 ~ 5
	孔径/mm	279.4
	平台转动角/ $^{\circ}$	横滚 ± 80 , 俯仰 ± 15
	宽域搜索模式幅宽/km	10
	点搜索模式/km	2 \times 2
SAR	定位精度/m	20(CEP)
	工作波段	X 波段
	带宽/MHz	600
	扫描范围/ $^{\circ}$	侧向 ± 45
	作用距离/km	20 ~ 200
	广域搜索模式分辨率/m	1 \times 1
	聚束模式分辨率/m	0.3 \times 0.3
	MTI 模式最小探测速度/ $(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$	7.4

装备 MP-RTIP 雷达的 Block 40“全球鹰”无人机比最初型号的机身更长、载荷能力更强、电子输出功率更高,翼展更宽。机载综合传感器系统采用了开放式系统架构,MP-RTIP 雷达增加了空地模式及目标自动跟踪功能,带宽更大,分辨率更高,能够跟踪缓慢移动的地面目标和低空飞行的巡航导弹。

2.4 技术分析

传感器综合一般按照射频和光电两个频段进行综合^[11]。ISS 项目最初只是针对雷达、电子战、通信导航识别等射频(RF)传感器进行研究、演示验证的,并没有涉及到光电与射频的综合。“全球鹰”无人机综合传感器系统对 EO/IR 和 SAR 两个不同频段的传感器综合进行了一次尝试,对系统架构及性能进行分析后,可以总结其具有以下技术特点。

1) 在孔径接口上对 EO 和 IR 进行了综合,由于频段的不同,没能够实现与 SAR 孔径接口的综合;同时由于 EO 和 IR 在孔径接口上的综合,EO 和 IR 传感器不能同时工作,只能是 SAR 与 EO 或者 IR 传感器一起工作。

2) 在共用硬件资源上采用了综合设计,用 PDU 为 EO/IR 和 SAR 传感器供电,用 SEU 作为 EO/IR 和 SAR 传感器的共用伺服电子组件,用 ISP 对 EO/IR 和 SAR 传感器的成像进行管理,通过硬件上的综合,有效地减轻了“全球鹰”无人机上传感器的重量和体积。

3) 对 EO/IR 传感器和 SAR 传感器组合使用,实现了远、近距离和高、低精度的组合侦察,通过这种使用模式的互补以及多传感器的信息融合计算,实现了

侦察效率的大幅提升。

“全球鹰”无人机借鉴了同时代 ISS 项目的研究成果——《综合传感器系统开放架构》中的设计理念及方法,综合传感器系统采用了开放式系统架构,并大量采用商用货架产品,通过部分功能综合、信息综合以及少量硬件综合设计,在保持先进性的同时,也有效控制了研制成本,缩短了研制周期。“全球鹰”无人机综合传感器系统是先进性与实用性结合得非常好的典范,对后续无人机的发展具有很好的借鉴意义。

3 启示及建议

无人机已经成为 21 世纪各军事强国的主要军事装备之一。在阿富汗战场上,美国使用“捕食者”系列无人机对恐怖分子进行定点清除,使用“全球鹰”无人机提供情报、监视和侦察 (ISR) 支援,这些大型无人机的使用取得了极大的成功,并引起了其他国家的兴趣。自此以后,所有军事强国都加大了对无人机的研究投入。

2011 年 3 月,美军正式推出了舰载无人空中监视和攻击 (UCLASS) 项目,期望在 2018 年前装备一种可以在航母上起降的舰载无人作战飞机,以支持舰载航空兵作战,除执行 ISR 任务外,还能够进行突防对敌打击。2011 年 5 月,美军在击毙本·拉登的行动中使用了 RQ170 “哨兵”隐身无人飞机为行动提供 ISR 支援。无人机再次引起世人瞩目,也必将再次激发各国军方的研究浪潮。

ISR 能力为军方对无人机装备的最基本任务需求,而光电探测系统与射频探测系统是无人机提供 ISR 能力的主要任务设备。对光电探测系统与射频探测系统进行综合设计是机载传感器系统发展到一定时期的必然产物,是开放式航空电子系统的关键和重要组成部分,因为它不但可以降低成本,减少重量和体积,而且通用性强,可以提高可靠性^[12]。

我国无人机的研制起步相对较晚,在对光电探测系统与射频探测系统进行综合设计时,应根据我国航空电子技术水平的具体情况,充分参考和借鉴国外先进设计理念,处理好以下几个方面的问题:

1) 重视标准的制定、执行,传感器综合的关键是总体设计、系统定义、规范标准制定、系统管理软件和标准模块的研制;

2) 重视关键技术的研究,传感器综合不仅仅是完成硬件的综合设计,要关注关键技术的研究,更应该关注光电探测系统与射频探测系统联合使用模式的创新;

3) 重视系统先进性与灵活性的统一,由于我国历史体制原因,光电探测系统、射频探测系统是由不同领域内相关科研院所承担的,因此系统综合在追求技术先进性的同时,也应该具有一定的灵活性,切忌各自为政,以缩短研制周期,推动我国无人机的快速、蓬勃发展。

参 考 文 献

- [1] 边栓成,王合龙,何磊,等. 无人机光电侦察系统稳定控制算法研究[C]//第一届中国导航、制导与控制学术会议论文集,北京:科学出版社,2007.
- [2] 孙寒冰,曲长文. 舰载无人机合成孔径雷达[J]. 中国雷达,2009(1):1-4.
- [3] 刘红漫,晋燕利. 国外军用无人机任务系统及其发展研究[C]//尖兵之翼——2006 中国无人机大会论文集,北京:航空工业出版社,2006.
- [4] 陈乃功,刘重阳. 新型作战飞机机载传感器系统特性分析[J]. 电子信息对抗技术,2009,24(6):55-59.
- [5] 苏连栋. 机载传感器综合设计技术特点及应用[J]. 飞机设计,2008,28(1):54-57.
- [6] SZKODY R. Integrated sensor system-demonstration results [C]//Proceedings 18th, St Louis: DASC press, 1999;3. B. 3-1-8.
- [7] 张凤鸣,褚文奎,樊晓光,等. 综合模块化航空电子体系结构研究[J]. 电光与控制,2009,16(9):47-51.
- [8] 黄永葵,薛秋晖,李卫民. 开放式系统结构及其标准研究[J]. 航空电子技术,2005,36(1):34-41.
- [9] 《国外无人机系统装备系列丛书》编委会. 全球鹰高空长航时无人侦察机系统[M]. 北京:航空工业出版社,2010.
- [10] 贲德. 机载有源相控阵火控雷达的新进展及发展趋势[J]. 现代雷达,2008,30(1):1-4.
- [11] 金德琨. 综合传感器系统——向纵深发展的航空电子综合技术[J]. 航空电子技术,2004,35(4):11-15.
- [12] 王建刚,晋燕利,赵春玲. 网络环境下军用无人机的发展研究[C]//第一届中国导航、制导与控制学术会议论文集,北京:科学出版社,2007.
- [13] GOLDSTEIN T, OSHER S. The Split Bregman Method for L1 regularized problems [R]. UCLA CAM Report, 2008;8-29.
- [14] ZIVKOVIC Z, VAN DER HEIJDEN F. Efficient adaptive density estimation per image pixel for the task of background subtraction [J]. Pattern Recognition Letters, 2006, 27(7):773-780.

(上接第 19 页)

ods;Evolving interfaces in computational geometry, fluid mechanics, computer vision, and materials science[M]. USA:Cambridge University Press, 1999.

- [12] OSHER S, BURGER M, GOLDFARB D, et al. An iterative regularization method for total variation-based image restoration[J]. Multiscale Model Simul, 2005,4(2):460-489.