

一种面向协同探测的多传感器管理系统架构

赵建恒^{1,2}, 许蕴山¹, 邓有为¹, 罗文涛¹, 杨涛¹

(1. 空军工程大学航空航天工程学院, 西安 710038; 2. 中国人民解放军94710部队, 江苏 无锡 214141)

摘要: 针对预警机面临的复杂作战环境及异类传感器带来的信息冗余问题, 在总结目前传感器管理架构研究现状的基础上, 从传感器管理系统关键技术及与其他系统的关系两方面分析了管理系统架构的设计依据, 提出了一种清晰明了的架构, 为构建预警机传感器管理系统提供了一定的理论指导。

关键词: 传感器管理; 预警机; 多传感器多目标分配; 架构; 目标指示与交接

中图分类号: V271.4⁺; TP273 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2015)06-0006-05

An Architecture of Multi-Sensor Management System for Cooperative Detection

ZHAO Jian-heng^{1,2}, XU Yun-shan¹, DENG You-wei¹, LUO Wen-tao¹, YANG Tao¹

(1. Aeronautics and Astronautics Engineering College, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China;
2. No. 94710 Unit of PLA, Wuxi 214141, China)

Abstract: Considering the complex environment for Airborne Warning and Control System (AWACS) and the information redundancy problem caused by different types of sensors, the state of research on architecture of multi-sensor management system is discussed. The basis for architecture design of the management system is analyzed based on the key technologies of sensor management and the relation between the sensor management system and other systems. Then, a new architecture is proposed, which provides a theoretical guidance for AWACS sensor management system formation.

Key words: sensor management; AWACS; multi-sensor multi-target assignment; architecture; target designation and handover

0 引言

现代预警机搭载的传感器设备类型多、数量大, 主要有相控阵雷达、红外、电子侦察 (ESM)、通信侦察 (CSM)、敌我识别/二次雷达 (IFF/SSR)、AIS 及 ADS-B 等^[1]。为充分发挥传感器资源的作用, 优化预警机性能, 需要加强对预警机传感器系统的智能化统一调度管理, 使其能够根据变化的战场环境做出实时的辅助决策, 在正确的时间使用正确的传感器作用于正确的空间获取系统所需求的信息。科学合理的多传感器管理系统架构是实现智能化统一调度管理的基础。管理架构需要快速有效地实现传感器管理的功能, 存在

的挑战主要来自两方面: 一是如何增强管理系统的性能; 二是如何控制管理系统对其他系统带来的负担。但目前国内缺乏从整体上对传感器管理架构的研究, 因此, 预警机传感器管理系统架构的设计问题亟待解决。

本文在对比现有架构的基础上, 针对预警机传感器管理系统特点, 考虑传感器管理系统关键技术之间的关系以及传感器管理系统与其他系统的关系, 完成面向协同探测的多传感器管理系统架构设计。

1 传感器管理架构研究现状

文献[2]提出一种基于偏序集和信息论的多传感器管理模型, 如图1所示; 在 M-H 模型基础上, 文献[3]做出改进, 提出 HOMS (Health and Use Monitoring Systems) 系统, 通过对传感器资源和工作模式的合理调度, 使获得的信息量最大化, 以此管理传感器; 文献[4]提出了一种基于有限集统计理论的模型, 将单传

收稿日期: 2014-07-24

修回日期: 2014-08-05

基金项目: 空军工程大学工程学院科研创新基金 (XS1101011); 陕西省电子信息系统系统集成重点实验室基金 (201107Y03)

作者简介: 赵建恒 (1990—), 男, 陕西铜川人, 硕士生, 研究方向为雷达信号与信息处理。

传感器单目标问题推广到了多传感器多目标领域。有限集统计理论将目标集视为全局目标,多传感器系统作为全局传感器,生成全局报告,优化控制目标函数使总体的不确定性降到最小。文献[5]介绍了多传感器管理系统架构的发展,给出传感器管理的微观/宏观架构;文献[6]基于知识库和推理机的方法,提出一种机载多传感器管理专家系统架构,专家系统、智能推理方法通过事先建立推理模型,再结合当前态势直接给出传感器管理方案,管理效果与推理模型关系密切,适应性较差;文献[7]基于Holon系统的基本特征,构建了协同作战网络传感器管理架构,具有支持动态重构、适度递阶控制、开放式、自相似性、网络节点间的自治性和协作性等特点;文献[8]立足于战术弹道导弹预警任务要求,建立了传感器管理的闭环融合和感知回路;文献[9]探讨了微观传感器中的策略控制问题,提出一种基于变结构多模型的策略控制方法。

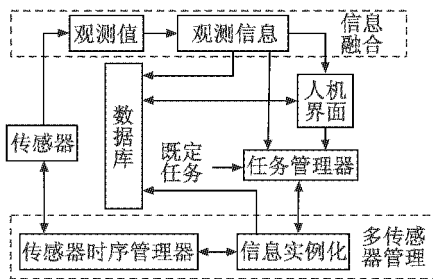


图1 M-H模型
Fig.1 M-H model

1.1 集中式

集中式架构如图2所示,该架构具有唯一的传感器管理中心,所有传感器接受其发出的任务和完成相应任务所需的工作模式,传感器仅需根据指令控制自身参数^[10]。

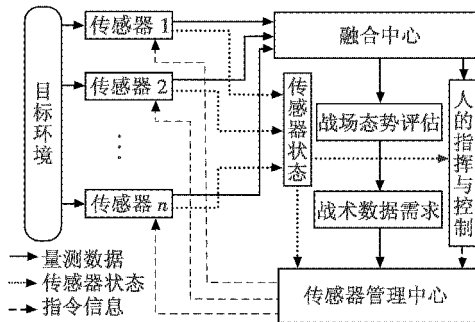


图2 集中式传感器管理架构

Fig.2 Architecture of centralized sensor management

这种架构主要在单平台的传感器管理系统中使用。传感器管理中心拥有完备的系统信息,因此任务分配、工作模式及参数设置更加精确合理。但处理多传感器多任务分配时,管理中心计算量大幅增加,致使管理效率急剧下降^[11]。

1.2 分布式

分布式架构如图3所示,该架构可用于复杂的单平台系统和多平台系统,其管理功能分布在不同位置实现。因此可在不同处理器中对数据进行分布处理,利于将快速循环(选用波形、决定驻留时间)和低速循环(目标优先级排序)分割开,使通信负载降到最小,受管理中心计算瓶颈及通讯带宽的影响很小,但任务间的冲突与竞争增加了任务分配协调的复杂程度。

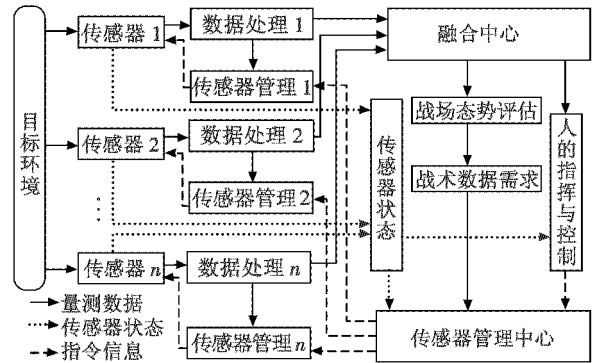


图3 分布式传感器管理架构

Fig.3 System architecture of distributed sensor management

在结合了集中式和分布式特点的基础上,文献[12]提出一种混合式体系架构,顶层是预警情报融合中心,中间层则由多个局部融合中心组成,各负责一个传感器子集;文献[13]提出一种多代理架构,利用服务器和客户端的概念模拟系统管理模块和传感器自治管理模块;文献[14]提出一种基于多代理的混合式架构,克服了融合中心的计算瓶颈问题,通过多个代理之间的相互协商分配传感器任务,管理架构高度模块化,便于实现组网。

1.3 宏观/微观式

层次化架构分为两级、三级和四级的情况,通常顶层设置管理策略、中间层负责规划和决策、底层选择传感器模式并控制具体参数,将顶层与中间层合并,形成宏观/微观式双层架构^[15]。文献[16]提出一种基于扩展OODA模型的两层式架构,实现了分布式架构和模块化的设计思想。双层架构可以进行分布式处理,传感器自身的管理功能可在传感器层实现,降低了通信负载,适用于复杂的单平台系统,但任务的协调变得更加复杂。

宏观层从全局规划多传感器多任务的分配,负责传感器的动态配置与调度,完成传感器间的互牵引,完成协同模式的选择。微观层决定各个传感器如何执行给定的任务,负责具体参数的控制^[15]。图4给出了宏观/微观管理的内部逻辑关系以及数据流程,表明传感器管理和数据融合、态势评估以及人工输入之间的关系。

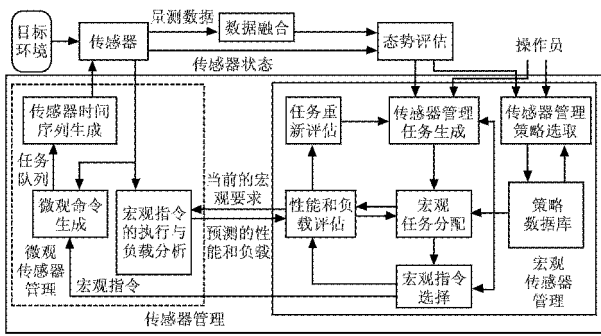


图4 传感器管理的逻辑框图

Fig. 4 Logistic frame of sensor management

1.4 网络化

随着信息战、协同作战等概念的提出和发展,武器平台趋于网络化,促使传感器管理架构从单平台向多平台和网络化方向发展。传感器获得的信息能共享给所有作战单元,从而更加充分有效地发挥传感器资源作用。文献[15]中提出一种基于多平台的传感器管理系统架构,如图5所示。

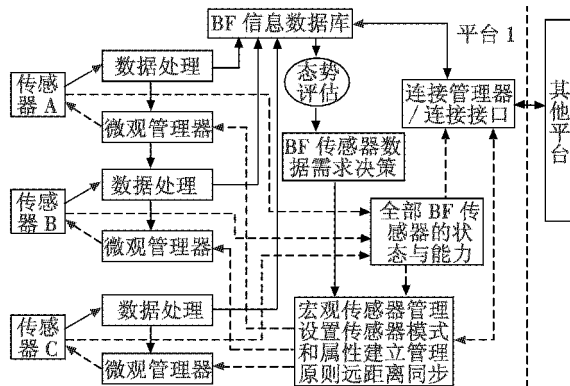


图5 基于多平台的系统架构

Fig. 5 The system architecture based on multi-platform

随着军事装备的研发及作战系统的设计不断朝网络化发展,传感器管理架构也必将趋于网络化。因此对制信息权提出紧迫需求,需解决网络节点激增时的通信负载问题,以确保各类信息能够实时、准确地传输到各作战单元,最大限度地发挥传感器资源的作用。

2 架构设计依据

科学合理的传感器管理系统架构既能增强管理系统性能,如增加资源利用率、提高协同探测能力和增强智能化水平等,又能不过度增加其他系统的负担,如数据融合系统的工作量和通信的负载。因此,传感器管理系统架构设计必须既考虑内部的关键技术,又兼顾与外部系统的关系。

2.1 关键技术

2.1.1 传感器状态监测

传感器状态监测模块可实时监测传感器状态,对

各传感器任务完成情况和负载进行评估并预测性能。任务分配与指示交接均需考虑传感器自身实时状态,且任务完成情况可对下一步管理内容做出指导,形成传感器与传感器管理之间的闭环回路,更加迅速有效地调整传感器管理策略。

2.1.2 多传感器多任务分配

传感器管理的本质是对传感器进行动态选择,即在每个管理周期内,在一定的约束条件下,解决多传感器多任务的分配问题。当用多个传感器完成多个任务时,需要优化基于任务优先级和传感器-目标配对值建立的目标函数,使某一项或几项性能指标达到最优。同时考虑约束条件:传感器自身最大探测能力、目标覆盖率以及传感器状态等。因此,建立约束条件下的目标函数,即多传感器多任务分配模型,是实现传感器管理的核心问题之一。

2.1.3 多传感器协同探测目标指示与交接

为实现异类传感器协同工作,快速获取目标准确信息,确保目标成功交接,必须解决异类传感器对目标的指示交接问题,主要包括无源传感器牵引有源传感器以及雷达传感器牵引敌我识别/二次雷达传感器两类。首先依据协同工作模式数据包确定可能进行目标指示和交接的传感器组/对,然后建立目标指示成功率、目标误交接概率与交接传感器对目标量测参数、精度之间的关系。由指示传感器向被指示传感器提供目标的充分信息,然后被指示的传感器在指定的范围内搜索指定的目标,并反馈是否成功截获该目标。

2.1.4 模式管理

模式管理可以作为管理周期的起始条件,结合获取的战场态势、宏观任务、当前任务完成情况、当前传感器状态,对下一周期内多传感器协同工作模式进行预测。随着战场态势的变化,传感器协同工作模式应当及时做出相应改变,通过合理设置协同工作模式转换的触发条件可实时自动切换,也可支持人工干预。

2.2 外部系统

2.2.1 传感器系统

预警平台上存在大量异类传感器,这些传感器探测到的原始目标信息及其自身的工作状态作为传感器管理系统的输入,经过分析和处理形成管理策略,指导传感器的下一步工作。各类传感器通过搜索和跟踪目标,为管理系统提供输入信息,后者通过分析处理对前者的探测范围和工作模式等下达指令。

2.2.2 数据融合系统

数据融合是对多源信息进行检测、关联、相关、估计和综合处理,以得到更加精确的状态估计、目标识别以及完整、及时的态势和威胁评估,为传感器管理提供输入。

传感器管理子系统作为整个融合系统的反馈环节,与传感器、多传感器信息融合、决策支持与态势估计等子系统共同构成了融合闭环控制系统,如图 6 所示。通过对系统中传感器行为的统一管理调度,实现了融合系统中多种复杂传感器的协同工作,最大程度地发挥了融合系统的能力。

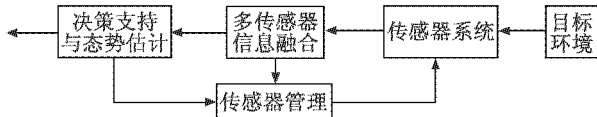


图 6 数据融合闭环控制模式图

Fig. 6 Data fusion closed-loop control model

2.2.3 数据库

信息在现代战争中发挥着不可替代的作用,战前对各方面信息的掌握情况在很大程度上决定了战争的胜负。传感器管理所需的战前先验信息均从数据库获取,主要包括目标信息数据包、传感器协同工作模式数据包、传感器工作模式数据包。数据库中包含大量且全面的先验信息,特定作战任务中由于可明确不涉及部分目标或传感器模式,可缩小调用范围,以缩减数据查询和调用的时间。

目标信息数据包:存储已列装战机的信息数据、回波特征、红外特性、动力学性能、武器威力覆盖范围和杀伤力及其机载传感器探测能力。目标识别过程中可对探测到的回波等信息与数据包中信息进行比较,以识别目标类型。

传感器协同模式数据包:存储可进行协同探测的传感器组合及适用条件、参数配置和参与协同的传感器各自的工作模式以及预期的性能指标。多传感器协同进行目标指示时,需充分考虑数据包中明确的可协同的传感器组合,并从数据包获取指示交接成功概率。

传感器工作模式数据包:存储各个传感器的详细性能信息及其各种工作模式的适用条件、参数配置和能达到的探测指标。进行模式管理及预测时,数据包中存储的适用条件可作为模式转换的触发条件。

2.2.4 信息支援

信息支援作战单元主要包括天基、空基、地面 3 部分,如图 7 所示。

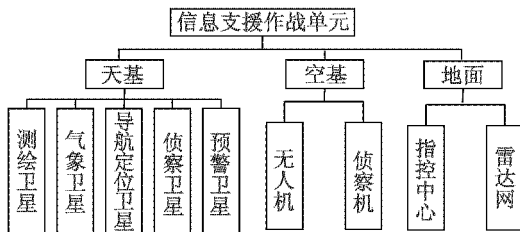


图 7 信息支援作战单元

Fig. 7 Information support combat unit

多平台全方位部署的侦测设备,通过数据链传递探测信息,可实时获取大量情报。众多侦察方式协同工作,可初步获取战场态势信息、减少侦察盲区、提高情报的可信度。为充分利用其他平台获取的信息,传感器管理系统架构中应设置相应接口。

2.2.5 人工干预

人工操作是传感器管理闭环的必要模块,但操作者不应被低级别的非战术性决策负担分散了完成主要目标的注意力。传感器管理系统适当分担了操作者的负担,完成低级别的非战术性的决策,对高级别的决策给出恰当的建议。对于总体任务指标、战略战术性的决策、突发任务、任务优先级的升降,仍需由操作员完成。当操作员认为传感器管理系统的决策不够合理时,应当有权对其进行修改。

3 建立架构

现有架构多侧重于信息融合和资源分配方面,本文结合预警机执行作战任务的基本过程,充分考虑任务分配、指示交接、模式管理之间的关系,并采用宏观/微观管理降低通信负载减少计算量,构建传感器管理系统架构,如图 8 所示。

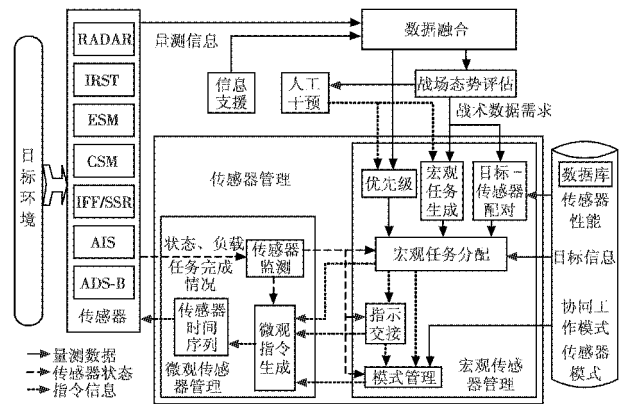


图 8 传感器管理系统架构

Fig. 8 System architecture of sensor management

将传感器的探测数据和信息支援平台获取的信息送入数据融合系统进行处理,对战场态势评估并形成目标优先级。人工干预模块读取态势评估结果并对优先级做出相应调整。

宏观任务生成模块接收态势评估结果以及操作员的输入,依据期望性能和战术数据需求情况生成宏观任务。结合战术数据需求及数据库中传感器性能特性构成目标-传感器配对函数。宏观任务分配模块根据现有宏观任务、目标优先级、配对函数、数据库信息以及实时监测的传感器信息,确定多传感器多任务的分配结果,并指导指示交接模块确定需要指示哪个传感器继续探测以及如何有效交接目标,指导模式管理模

块调整工作模式实现多传感器协同工作。微观指令生成模块将宏观管理具体化,结合各传感器调试运行状态,控制自身参数,形成传感器时间序列。传感器监测模块将传感器状态、负载及任务完成情况反馈回管理系统。

4 结束语

本文在分析传感器管理架构现状的基础上,从关键技术和外部关系两个层面对架构的设计进行研究。

结合预警机面临的典型场景、作战任务要求以及战场感知需求,梳理管理系统与传感器、数据融合、数据库、信息支援、人工干预等外部系统之间的关系。在对单平台传感器管理系统架构深入研究的基础上,重点关注宏观/微观管理架构,借鉴国内外传感器管理系统内部架构的设计,优化多传感器多任务分配、目标指示与交接、模式管理等关键技术之间的关系,提出一种适用于预警机的传感器管理系统架构,为实现预警机传感器系统的智能化统一调度奠定基础。

参 考 文 献

- [1] 陆军,酆能敬,曹晨,等. 预警机系统导论[M]. 北京:国防工业出版社,2011. (LU J, LI N J, CAO C, et al. Introduction to airborne early warning system[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2011.)
- [2] MCINTYRE G A, HINTZ K J. A comprehensive approach to sensor management, Part II: A new hierarchical model [Z].
- [3] SCHAEFER C G, HINTZ K J. Sensor management in a sensor-rich environment [C]//SPIE Proceedings, 2000. doi:10.1117/12.395093.
- [4] MAHLER R P S. Global posterior densities for sensor management [C]//SPIE Proceedings, 1998, 3365: 252-263.
- [5] 杨秀珍,何友,鞠传文. 多传感器管理系统研究现状与发展趋势[J]. 传感器技术,2004,23(1):5-8. (YANG X Z, HE Y, JU C W. Present situation and development of multi-sensor management system[J]. Journal of Transducer Technology, 2004, 23(1):5-8.)
- [6] 路志伟,李明,季晓光. 机载多传感器管理专家系统设计方法探索[J]. 电光与控制,2007,14(5):9-13. (LU Z W, LI M, JI X G. Research on design of an expert system for airborne multi-sensor management [J]. Electronics Optics & Control, 2007, 14(5):9-13.)
- [7] 杨海燕,尤政,陈轶. 基于Holon控制的协同网络传感器管理体系结构[J]. 火力与指挥控制,2011,36(7):78-81. (YANG H Y, YOU Z, CHEN Y. Sensor management architecture based on Holon control in cooperative network [J]. Fire Control & Command Control, 2011, 36(7):78-81.)
- [8] 孙新波,汪民乐,徐加强. 战术弹道导弹预警中的传感器管理研究[J]. 战术导弹技术,2011(4):38-41. (SUN X B, WANG M L, XU J Q. Study of sensor management in early warning of tactical ballistic missile [J]. Tactical Missile Technology, 2011(4):38-41.)
- [9] 陈康,刘震,阳东升,等. 传感器管理中基于变结构多模型方法的策略控制[J]. 传感技术学报,2007,20(3):663-667. (CHEN K, LIU Z, YANG D S, et al. Strategy control based on variable structure multiple model method in sensor management[J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2007, 20(3):663-667.)
- [10] NG G W, NG K H, WONG L T. Sensor management-control and cue[C]//Proceedings of the Third International Conference on Information Fusion, 2000. doi:10.1109/IFIC.2000.859823.
- [11] 罗文涛. 大型预警机传感器管理总体结构与关键技术研究[D]. 西安:空军工程大学,2013. (LUO W T. Reach on the architecture and key point of AWACS sensor management[D]. Xi'an: Air Force Engineering University, 2013.)
- [12] 李秉,王凤山,刘勇. 区域防空预警网传感器管理结构与方法研究[J]. 计算机测量与控制,2009,17(6):1181-1184. (LI B, WANG F S, LIU Y. Research on sensor management architecture and method in area air defense early-warning meshwork [J]. Computer Measurement and Control, 2009, 17(6):1181-1184.)
- [13] STROMBERG D, ANDERSSON M, LANTZ F. On platform-based sensor management[C]//Proceedings of the Fifth International Conference on Information Fusion, 2002:600-607.
- [14] 田康生,朱光喜,徐毓. 基于多代理技术的传感器管理系统[J]. 现代雷达,2004,26(2):9-13. (TIAN K S, ZHU G X, XU Y. Sensor management system based on multi-agent technology [J]. Modern Radar, 2004, 26(2):9-13.)
- [15] 杨秀珍,何友,鞠传文. 传感器管理的结构与微观传感器管理仿真[J]. 系统工程与电子技术,2004,26(11):1581-1584. (YANG X Z, HE Y, JU C W. Architecture of sensor management and simulation of micro sensor management [J]. System Engineering and Electronics, 2004, 26(11):1581-1584.)
- [16] BAR-SHALOM Y, LI X R. Multitarget-muleisensor tracking; Princi plesnad techaiques [M]. Alexandria: YBA Publishing LLC, 1995.