

分类号: TP274

单位代码: 10110

学 号:

中 北 大 学
硕 士 学 位 论 文

传感器管理理论与方法研究

硕士研究生 郝 永 飞

指导教师 林 都 教 授

学科专业 导航、制导与控制

2005 年 03 月 日

图书分类号 TP274

密级 非密

UDC

硕 士 学 位 论 文

传感器管理理论与方法研究

郝 永 飞

指导教师（姓名、职称） 林 都 教 授

申请学位级别 工 学 硕 士

专业名称 导航、制导与控制

论文提交日期 2005 年 03 月 02 日

论文答辩日期 2005 年 03 月 日

学位授予日期 年 月 日

论文评阅人

答辩委员会主席

2005 年 03 月 日

本人声明

我声明，本论文及所有研究工作是由本人在导师指导下独立完成的，在完成论文时所利用的一切资料均已在参考文献中列出。

作者： 郝永飞

签字： 郝永飞

2005 年 03 月 日

传感器管理理论及方法研究

摘 要

随着科学技术的发展,传感器性能的极大提高,各种面向复杂应用背景的多传感器系统大量涌现。同时适应现代武器系统和作战效能的需求,20世纪70年代起多传感器信息融合技术便迅速发展起来。由于对这一技术认识的不断深入,对多传感器信息融合起反馈控制作用的传感器资源管理这一研究领域便应运而生。本文立足于传感器管理理论及方法研究,主要完成了以下工作:

1、收集和整理了已有的传感器管理的相关基本理论,如传感器管理的作用、内容、功能和模型等研究传感器管理所必备的知识。

2、首次提出将多传感器管理方式进行分类,即将传感器管理方法分为集中式管理和分布式管理,对应不同应用背景分别论证说明了分类的适用性。

3、在研究基本理论的基础上,对传感器管理在相关领域的应用进行了分析,举例显示了其实用性。

4、在研究相关文献的基础上,集中分析了基于线性规划方法的传感器管理算法,如基于效能函数的传感器管理算法和基于分辨力的传感器管理算法。通过对以上算法的分析,首次提出了效能结合浪费的传感器管理算法,并通过计算机仿真验证了其可行性。

5、通过研究各种传感器管理算法,尤其是对一些线性规划的传感器管理算法进行了分析比较,提出了采用有限集合统计理论来评价各算法性能的统一方法。

关键词: 数据融合, 传感器管理, 线性规划, 传感器分配

The Theory and Method's Research of Sensor Management

Abstract

With the rapid development of science and technology, the performance of the sensor is advanced ,and the multi-sensor system for the complex context is emerged in large numbers. At the same time, it is necessary for modern weapon systems and battle efficiency .In the beginning of 1970s,the multi-sensor management is quickly developed. Because of gradual realization, the multi-sensor management which plays a feedback role in multi-sensor data fusion starts to exist. In this dissertation, the theory and method of sensor management are studied and the main contributions are as follows:

1. Collecting and trimming the basic theory of the multi-sensor management, for example, the function, context, model of the sensor management and so on which are the indispensable knowledge to study the sensor management.

2. The classification of sensor management method is put forward firstly, which is centralized management and decentralized management. The adaptation of the classification is proved for different example to different context.

3. Through studying the basic theory, different application of the sensor management is analyzed, and its necessary is demonstrated by real examples.

4. Through researching relative materials, the sensor management algorithm of the linear programming is analyzed, for instance, the sensor management of efficient function. In addition the sensor management algorithm of combination of efficiency and waste is posed initially and proved by computer simulation.

5. Through researching the various sensor management algorithm, especially analyzing and comparing the linear programming algorithm, the theory of FISST (finite-set statistics) is put forward to be used to apprise the performance of the sensor management algorithm .

Key words: data fusion, sensor management, linear programming, sensor assignment

目 录

1. 绪论	
1.1 引言	1
1.2 课题的目的和意义	1
1.3 国内外研究现状	3
1.3.1 信息融合技术及其发展	3
1.3.2 多传感器管理技术及其发展	4
1.4 论文工作安排	7
2. 传感器管理基本理论	
2.1 引言	8
2.2 传感器管理与数据融合的关系	8
2.2.1 数据融合的定义	8
2.2.2 数据融合系统的功能模块	8
2.2.3 数据融合闭环系统控制模式的构成	9
2.3 传感器管理基本任务	10
2.3.1 传感器管理的目的和用途	10
2.3.2 传感器管理的内容	11
2.3.3 传感器管理的分类	12
2.4 小结	17
3. 传感器管理模型	
3.1 引言	18
3.2 传感器管理功能模型	18
3.2.1 传感器管理功能	18
3.2.2 功能模型框图	24
3.3 传感器管理数学模型	27
3.4 小结	28

4. 传感器资源管理的应用

4.1 引言	29
4.2 以网络为中心的传感器资源管理	29
4.2.1 协同传感器资源管理概念	29
4.2.2 协同传感器资源管理实现基本要素	31
4.3 传感器丰富环境下的传感器管理	33
4.3.1 传感器丰富环境	34
4.3.2 通用传感器管理和计划	36
4.3.3 应用于传感器丰富环境的传感器管理模型	38
4.4 小结	40

5. 传感器管理算法

5.1 引言	41
5.2 基于效能函数的传感器管理算法	41
5.2.1 建立效能函数	41
5.2.2 传感器资源分配算法	43
5.2.3 一种改进的传感器资源分配算法	44
5.3 结合浪费函数的多传感器管理算法	44
5.3.1 改进的浪费函数	45
5.3.2 效能函数结合浪费函数的线性规划算法	45
5.3.3 仿真举例	46
5.4 基于分辨力增量的传感器管理算法	48
5.4.1 分辨力函数	48
5.4.2 一种多目标跟踪的传感器分配方法	49
5.5 小结	50

6. 传感器管理算法分析和比较

6.1 引言	51
6.2 基于效能函数和效能结合浪费的传感器管理算法比较	51

6.2.1 理论比较·····	51
6.2.2 仿真举例比较·····	52
6.3 基于分辨力传感器管理算法与前两种算法比较·····	58
6.3.1 理论比较·····	58
6.3.2 算例仿真·····	59
6.4 多传感器资源管理算法评价·····	62
6.4.1 多传感器多目标系统信息描述·····	62
6.4.2 多传感器多目标有限集合统计定义·····	63
6.4.3 多传感器资源管理信息度量·····	66
6.5 小结·····	67
7. 结论·····	68

参考文献

致谢

攻读硕士期间发表的论文及所取得的研究成果

1. 绪 论

1.1 引言

随着科学技术的不断进步，特别是微电子技术、传感器技术、信号检测与处理技术、计算机技术和网络通信技术等的飞速发展，多传感器数据融合技术得到广泛应用。为充分发挥多传感器信息融合系统的性能，必须在环境条件允许情况下，对有限的传感器资源进行合理配置，由此便产生了多传感器管理，它也逐渐成为多传感器管理信息融合系统的一个重要组成部分。

1.2 课题的目的和意义

一、课题着眼于当前国内外研究较热的信息融合进行分析，主要对国内研究较薄弱且处于启蒙阶段的数据融合组成部分的传感器管理部分进行理论分析。目的是要构建其理论框架，一是将当前所研究的传感器管理理论进行综合。二是将传感器管理内各层次各模块进一步细化，并分析各模块间的关系，进一步完善这一领域的基础理论。

二、传感器管理的目的和意义

二十世纪七十年代以来随着科学技术的发展，传感器性能获得了极大的提高，各种面向复杂应用背景的传感器系统大量涌现。此时，军事上高技术兵器尤其是精确制导武器和远程打击武器的出现，已使战场范围扩大到陆、海、空、天、电磁多维空间中。为了获取最佳作战效果，在新一代作战系统中依靠单传感器提供信息已无法满足战场要求，必须运用包括微波、毫米波、可视红外激光、电子支持措施（ESM）和电子情报技术（ELINT）等覆盖宽广频段的各种有源和无源探测器在内的多传感器集成，来提供多种观测数据，通过优化综合处理，实时发现目标、获取目标状态估计、识别目标属性、分析行为意图和态势评估、威胁分析、提供火力控制、精确制导、电子对抗、作战模式和辅助决策等作战信息。在多传感器系统中，由于信息表现形式的多样性，信息数量的巨大性，以及要求处理的及时性，都已大大超过了人脑的信息综合处理能力。军事 C⁴I（指挥、控制、通信、计算机和情报）系统中和各种武器平台上以及许多民用领域上都得到了广泛的应用。

信息融合在近三十年来越来越受到人们的关注，但并未有一个统一的定义。在文献[1]中概括为：利用计算机技术对按时序获得的若干传感器的观测信息在一定准则下加以自动分析，优化综合以完成所需的决策和估计任务而进行的信息处理过程。这一定义指出了：各种传感器是信息融合的基础，多源信息是信息融合的加工对象，协调优化和综合处理是信息融合的核心。由此看，传感器是信息融合的信息来源载体。这时便提出了新的问题。传感器资源的相对不足，目标环境机动性增强，不确定性增加，这些都加剧了传感器对目标的有效分配难度。当多个传感器同时用于多个目标的检测、跟踪和识别时，必须解决传感器与目标之间以及检测、跟踪和识别之间的资源调度问题，也就是如何在一定条件下，合理充分利用传感器资源且满足系统最优性能的要求。此外，受客观环境的限制使某些传感器不能充分发挥其功能，为了某种军事目的而对传感器使用所提出的具体限制，再加上传感器资源本身的限制，这些都需要对传感器资源（包括传感器本身的资源以及传感器之间的资源）进行协调分配，以使系统发挥最佳的整体性能。另外，多传感器信息融合的发展，传感器管理有必要作为一个单独部分来研究，因为作战和操作环境的日趋复杂，将传感器管理完全交给操作员来操纵已不能适应变化形势的要求。因此，建立一套传感器自动管理系统不仅大大提高了信息融合系统的精度、合理地利用了传感器资源，而且大大减轻了操作员的身体和心理负担。

作为信息融合组成部分的传感器管理逐渐受到了重视。传感器管理的目的^[1]就是利用有限的传感器资源，满足多个目标和扫描空间的要求，以得到各具体特性的最优化度量值（检测概率、截获概率、传感器自身的发射能力、航迹精度或丢失概率等），以这个最优准则对传感器管理进行合理科学的分配。简单讲传感器管理的核心问题就是依据一定的最优准则确定目标选择何种传感器以及该传感器的工作方式及参数。

自动化传感器管理有许多优点。它可以有效利用有限的传感器资源；可以有效利用有限的操作员资源。在军事上还可以保持友好的跟踪态势；保持传感器融合和协同；可以改进位置估计；可以支持火力控制。

三、本课题对未来的价值。课题着眼于传感器管理基本理论和方法研究。尽可能将本领域国内外研究现状进行综合和分析，从中理出一个全面细致的框架。为今后进一步将传感器管理进行建模，向实际应用发展奠定理论基础。目前来看国内将传感器管理自动化引入军事和民用几乎很少，即使有的话也处在浅层的研究报告阶段，这时便显出本

课题的研究对本领域后续发展的意义。

1.3 国内外研究现状

1.3.1 信息融合技术及其发展^[2,3]

讲传感器的研究动态,首先要介绍信息融合的发展状况。国外对信息融合技术的研究起步较早。早在 1973 年,美国研究机构就在国防部的资助下,开展了声纳信号理解系统的研究。从那以后,信息融合技术便迅速发展起来,不仅在各种 C^3I 系统中尽可能采用多个传感器来收集信息,而且在工业控制、机器人、空中交通管制、海洋监视、组合导航和管理等领域也在朝着多传感器的方向发展。20 世纪 70 年代末,在公开出版的技术文献中开始出现基于多传感器信息综合意义的融合一词。20 世纪 80 年代,传感器技术的飞速发展和传感器投资的大量增加,使得军事系统中的传感器数量急剧增加;超远程武器的出现和发展,从根本上改变了 C^3I 系统的信息处理方式;军事指挥员由于对敌我武器系统的超远程能力的认识,开阔了视野,因而需要更多的信息和数据,更加强调速度和实时性。为此,信息融合的研究工作成了军工生产和高科技开发等多方面所关心的问题,而 C^3I 战场的信息融合技术更受到重视。1988 年,美国国防部把信息融合技术列为 90 年代重点研究开发的二十项关键技术之一,且列为最优先发展的 A 类。美国三军政府组织—实验室理事联合会(JDL)下设的 C3 技术委员会(TPC³)专门成立了信息融合专家组来组织和指导有关的工作。在学术方面,从 1987 年起,美国三军每年召开一次信息融合学术会议,并通过 SPIE 传感器融合专集、IEEE TVans. ONAES、AC 等发表有关论著;与此同时 IEEE 系统和控制论会议,IEEE 航空航天与电子系统会议,IEEE 自动控制会议,IEEE 指挥、控制、通信和信息管理系统(C^3MIS)会议,国际军事运筹学会议,国际雷达、控制与判决、信号处理等会议也不断地报道信息融合领域的最新研究和应用开发成果。为了进行广泛的国际交流,1998 年成立了国际信息融合学会(International Society of Information Fusion 简称 ISIF),总部设在美国,每年举行一次信息融合国际学术大会。1985 年以来,国外先后出版了 10 余部有关信息融合方法的专著。其中,Llinas 和 Waltz 的专著《多传感器数据融合》和 Hall 的专著《多传感器数据融合中的数学技术》对信息融合研究的内容、应用和公共基础作了全面的系

统的论述；Favina、Studer 的《雷达数据处理》、Blanckmann 的《多目标跟踪及在雷达中的应用》、Bar-Shalom 等人的《跟踪与数据互联》与《多目标多传感器跟踪原理与技术》，和由 Bar-Shalom 主编的连续出版物《多传感器多目标跟踪方法与进展》则综合报道了信息融合在多目标跟踪领域的新思想、新方法和新进展。在海湾战争结束后，C³I 中加入计算机建立了以信息融合为中心的 C⁴I 系统。其技术成份在科索沃战争中发挥了重大作用。

国内关于信息融合技术的研究起步较晚。20 世纪 80 年代初，人们开始从事多目标跟踪技术研究，80 年代末开始出现相关技术研究报导。90 年代初国内形成高潮。在政府、军方和各种基金部门的资助下，国内一批高校和研究所开始广泛从事这一技术的研究工作，出现了许多理论研究成果。与此同时，也有几部信息融合领域的学术专著和译著出版，有代表性的有：董志荣和申兰的《综合指挥系统情报中心的主要算法—多目标密集环境下的航迹处理方法》、周宏任、敬忠良和网培德的《机动目标跟踪》、杨靖宇的《战场数据融合技术》、敬忠良的《神经网络跟踪理论及应用》、康耀红的《数据融合理论及应用》及刘同明、夏祖勋和解洪成的《数据融合技术及应用》等。有代表性的译著有：赵宗贵等人的《多传感器数据融合》和《数据方法概论》、张兰秀等人的《跟踪和数据互联》与《水下信号和数据处理》等，20 世纪 90 年代中期，信息融合技术在国内已发展成为多方面关注的共性关键技术，出现了许多热门研究方向，许多学者致力于机动目标跟踪、分布检测融合、多传感器跟踪与定位、分布信息融合、目标识别与决策信息融合、态势评估与威胁估计等领域的理论及应用研究，相继出现了一批多目标跟踪系统和有初步综合能力的多传感器信息融合系统，目前新一代舰载、机载、弹载和各种 C³I 系统正在向多传感器信息融合方向发展，预计本世纪初将有一批多传感器信息融合系统投入使用。

1.3.2 多传感器管理技术及其发展^[4,5]

作为信息融合系统组成部分的多传感器管理的研究则相对较晚。

传感器管理应用了许多领域的技术，例如：决策论或效用论、信息论、线性规划、动态规划、模糊集合论、群论、人工神经网络以及知识系统或专家系统。

线性规划应用于传感器管理的有：Nash^[6]发表的一篇将优化技术应用于传感器管理

的文章,在这篇文章中他使用线性规划对被跟踪目标确定传感器与目标分配,他使用卡尔曼滤波器协方差阵的迹作为目标函数中的代价系数。同时他还使用了伪传感器的概念以处理松弛的传感器分配。

Fung、Horvitz 和 Rothman^[7]基于贝叶斯概率论和流程图建立了一个传感器管理机构。

动态规划应用于传感器管理的有: Malhotra^[8-10]讨论了传感器管理的时间特性并将序列决策过程描述为一般的马尔可夫决策过程。动态规划是解决马尔可夫过程的一种方法,它是根据最终状态并反向执行确定最小费用的一种递推算法。但在列举动态规划的每个可能行为时会产生组合爆炸。David A. castanon 则提出一种近似方法,以解决动态规划带来的组合爆炸问题。David A. castanon^[11]还提出了一种基于最大检测概率的传感器管理方法,该方法实际上也采用了动态规划,这种方法对单目标检测具有较小的错误率,但对多目标检测错误率甚大,原因是该算法一旦发现检测概率最大的目标,就不再去搜索其它目标。Wasburn 等^[12]提出一种传感器管理方法,该方法是基于动态规划预测未来传感器管理决策的效果。

决策论或效用论应用于传感器管理的有: Bier 和 Rothman^[13-15]使用布尔矩阵定义一种基于传感器能力和有效性的传感器与目标配对,利用传感器性能模型预测传感器对目标的效能,以便量化各备选传感器分配方案的临界效益。探测、跟踪和识别距离模型利用航迹文件的有效数据,可以进一步预测量测性能,这样就可以估计出每个可能的配对值,并用来计算一个分配目标函数。Manyika 和 Durrant-Whyte^[16,17]使用决策论的方法解决了分散化数据融合系统中的传感器管理问题。Gaskell 和 Probert^[18]也基于决策论方法建立了一个可移动机器人的传感器管理框架。

专家系统应用于传感器管理的有: Leon^[19,20]描述了战略传感器网络中的传感器管理和控制的专家系统。Hui 和 Patrick J.^[21]针对飞机导航的传感器,给出了一个专家管理系统,此系统控制传感器的使用以获得最优导航性能。Cowan, Rosa A.^[22]给出了一个模拟的专家系统,用于典型战术飞机的传感器管理,并对使用和不使用专家系统的跟踪性能进行了报导。

知识推理和模糊决策论应用于传感器管理的有: Mplina Lopez^[23]等提出了一种传感器管理方案,该方案通过使用基于知识推理和模糊决策论实现了传感器管理的任务。

神经网络应用于传感器管理的有：Jing Zhongliang 和 Xue qin Wang^[24]使用一个向后更新神经网络在条件变化情况下跟踪机动目标，其目标跟踪方案使用并行卡尔曼滤波和神经网络以改善位置速度和加速度的精度。

信息论和其它应用于传感器管理的有：Hintz 和 McIntyre^[25-32]等首先提出将信息论度量方法用于规划单传感器跟踪多目标，他们使用期望的熵变（由协方差的范数描述）作为期望信息增量以确定哪一个目标将被更新。用这种度量方法可以使每个采样间隔的信息量最大化。Hintz 还将这种度量方法扩展到自动目标识别系统。McIntyre 和 Hintz 在一个仿真程序中同样使用信息论中的熵，以实现对目标搜索与跟踪的传感器资源分配。Schmaedeke^[33-35]使用分辨力增量作为 Nash 线性规划目标函数中传感器分配费用，以确定传感器对目标的资源分配。Schmaedeke^[36]又讨论传感器管理与非线性滤波的近似解法。Kastella^[37,38]以及 Schmaedeke 和 Kastella^[39]应用分辨力增量以确定一个传感器的分辨率层次。Kastella^[40-46]，Kastella 和 Musick^[47]用概率分部函数来表示目标存在于离散检测单元的概率，然后计算分辨力增量来确定对目标的搜索（目标静止）和跟踪（目标运动）。Pierre Dodin 等人^[48]在法国 FUSION' 2000 国际会议上以 Kullback-Leibler 熵作为目标函数，又引入单个传感器组成的伪传感器，对目标和传感器进行有效配对。Mahler^[49-56]和 Goodman^[50]利用随机集合论将 Hintz 和 Kastella 的基于信息论的传感器管理方法推广到更一般的情况，使得解决更为复杂的传感器管理系统成为可能。

国内对传感器管理的研究更晚，相关文章特别少。王国宏等人^[57]提出了多传感器数据融合系统的自适应传感器管理方案，本方法利用了位置融合似真度和目标类型融合一致因子，较为简单。刘先省^[58]等人基于效能函数提出了一种传感器管理方法，这种方法实质上是一种线性规划，通过传感器特性与目标的有效配对以及目标优先级排序；建立线性规划的目标函数，并利用传感器与目标的配对和目标优先级排序定义一个浪费函数，将浪费函数用于对目标函数作适当的修改；将传感器分为单传感器和多传感器资源进行科学合理分配。田康生等人^[5]对序贯卡尔曼滤波在多传感器多目标跟踪中的应用情况进行了分析，提出了一种基于费歇信息增量的多传感器对多目标的分配方法。国内还有其它一些文章不过大部分是在重述和扩展国外的相关研究。

1.4 论文工作安排

第 2 章研究了多传感器管理的一般概念、作用和分类等基本理论。第 3 章具体论述了多传感器管理的功能，得到了功能模型和数学模型。第 4 章举例说明了多传感器管理的应用。第 5 章在研究多传感器管理算法的基础上，提出效能结合浪费的管理算法。第 6 章将基于线性规划方法的传感器管理算法进行了比较，构想出采用有限集合统计方法来评价传感器管理算法性能。第 7 章总结全文并对本领域作出了展望。

2. 多传感器管理基本理论

2.1 引言

本章概述了传感器管理的基本理论，主要从一般传感器管理概念出发，分析了传感器管理与数据融合关系，明确了传感器管理的目的、内容和一般功能。

2.2 传感器管理与数据融合的关系

2.2.1 数据融合的定义

数据融合技术是指对按时序获得的多传感器的观测数据或已经处理后的数据在一定准则下加以分析、处理和综合，以完成需要的估计和决策所进行的处理过程。

从军事角度讲，数据融合理解为：对来自多源信息进行检测、关联、相关、估计和综合处理，以得到更加精确的状态估计、目标种类识别以及完整、及时的态势和威胁评估。

数据融合作为一门跨学科的综合信息处理技术，涉及到决策论、认识论、模糊理论、估值论、通信、数字信号处理、计算机科学及人工智能等多个学科。面向对象技术、网络计算、开放的体系结构、分部处理、定性知识表达和多媒体技术等都是实现数据融合的重要支撑技术。

2.2.2 数据融合系统的功能模块

一般的多传感器数据融合系统主要有以下几个功能模块：

数据协调管理模块：将多传感器数据统一在一个共同时空参照系中，将同一层次各类数据转化成同一种表达式，即实现数据配准。然后将同一目标或环境的观测数据进行关联，一般称为数据关联。

数据优化合成模块：依据一定的优化准则，在不同层次上合成多源数据。

传感器协调管理模块：包括传感器的有效性确定、时间预测、任务分配和排序、工作模式和探测区域的控制等功能。

多传感器数据融合不仅是一个数据处理概念，同时也是一个系统概念。多传感器数

据融合一方面强调对传感器数据的优化综合,另一方面也十分重视对传感器资源的优化管理,以最大限度地获得目标有用信息,从而达到对传感器资源的最佳利用和整个系统性能最优。

2.2.3 数据融合闭环系统控制模式的构成

数据融合系统各部分的制约关系,把数据融合中心的功能划分为一级(低级)数据融合子系统和二、三级(高级)决策支持子系统,同时称传感器部分和传感器管理部分分别为传感器子系统和传感器管理子系统。因此,得到由传感器子系统、数据融合子系统、决策支持子系统和传感器管理子系统构成的数据融合闭环系统的控制模式,如图 2.1 所示:

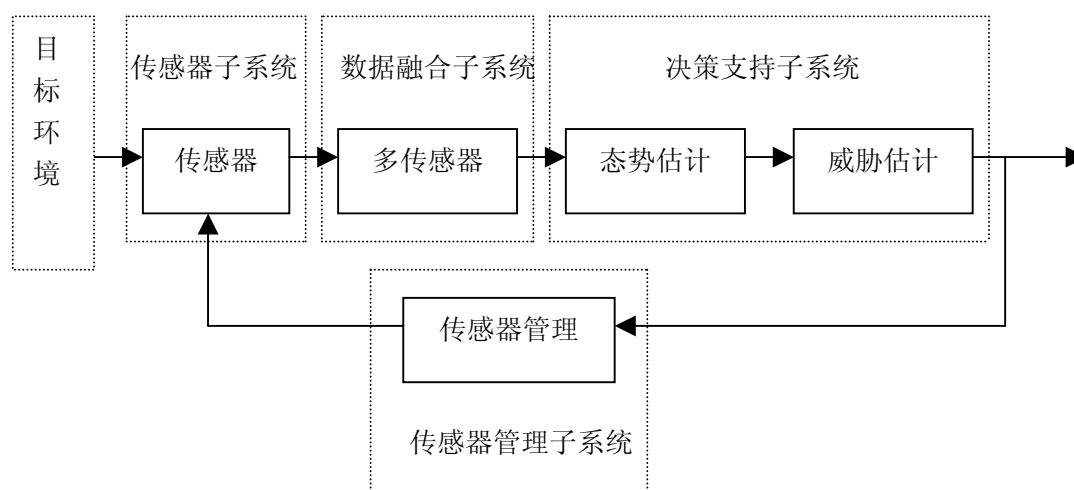


图 2.1 多传感器数据融合闭环系统控制模式方框图

Fig.2.1 The block-diagram of the multisensor data fusion close-loop system control mode

在由传感器子系统、数据融合子系统、决策支持子系统和传感器管理子系统构成的闭环控制模式中,传感器子系统作用相当于整个数据融合系统闭环控制模式的探测装置;数据融合子系统的功能是对传感器子系统探测的作战环境的信息进行融合处理以获得状态估计和目标属性,并为决策支持子系统提供进一步融合处理的结果和传感器管理子系统提供反馈的依据;决策支持子系统接收一级融合处理的结果,以进行二、三级态势和威胁分析,其融合结果一方面为传感器管理提供依据,另一方面为 C^4I 系统中的指挥、控制提供可选方针,经决策后选择的武器优先级又为传感器管理提供了依据;传感

器管理子系统根据上述几方面提供的反馈依据，形成传感器管理方案后直接对传感器资源进行配置。因此，传感器管理子系统对形成数据融合系统的闭环控制模式起着不可替代的反馈调节作用。总之，这四个子系统相互联系、相互作用、相互制约形成了一个具有反馈控制机制的、实时的数据融合系统的闭环控制模式。

分析各部分的组成，可进一步将多传感器数据融合闭环控制模式的方框图细化为结构图 2.2 所示：

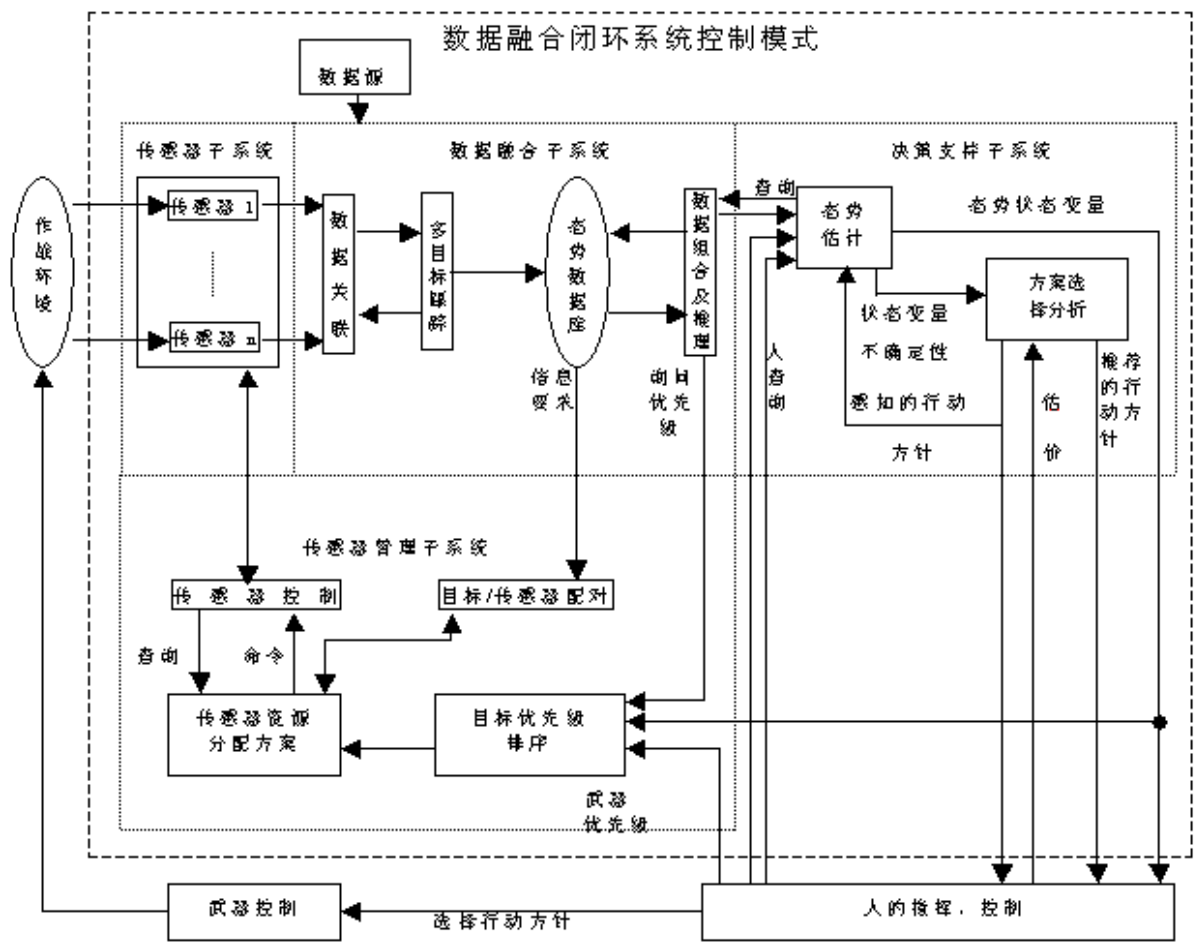


图 2.2 多传感器数据融合闭环系统控制模式结构图

Fig.2.2 The structure diagram of the multisensor data fusion close-loop system control mode

2.3 传感器管理基本任务

2.3.1 传感器管理的目的和用途

一、传感器管理的目的

传感器管理（也称传感器控制）的目的^[2]就是利用有限的传感器资源，满足对多个目标和扫描空间的要求，以得到各具体特性的最优度量值（检测概率、截获概率、传感器自身的发射能力、航迹精度或丢失概率等），以这个最优准则对传感器资源进行合理科学的分配。简单地讲，传感器管理的核心问题就是依据一定的最优准则，确定目标选择何种传感器以及该传感器的工作方式和参数。

二、传感器管理的用途

传感器管理主要适合于如下三类情况：

第一类，应用包含复杂的多模式传感器情况，如允许快速改变模式和指向的电子扫描雷达。这种能力要求传感器能够非常灵活地调整目标扫描时间和复现目标时间，以便维持航迹和一定的照射目标时间，从而获得目标特征的测量。这种传感器的管理需要对搜索中的传感器指向、航迹更新的回波采集的优先级加以控制，它们分别由概率、航迹精度和目标分类精度所确定。为完成所有任务最有效地利用时间是这种传感器管理的目标。从电子扫描发展战略上看，如陆基雷达、舰载预警雷达和机载雷达就是属于此类传感器设备。

第二类，应用包括安装在一个平台上的多传感器系统。在这种情况下传感器的管理就是对各个传感器的不同特性及时效的最有效利用。

第三类，应用包括在地理上分布的传感器网络。一种情况是多个传感器观察同一个目标，以便获取定位数据；另一种情况是当一个目标由一个传感器的监视区域进入另一个传感器监视区域时，后一个传感器可以代替前一个传感器对目标进行跟踪控制。

2.3.2 传感器管理的内容

尽管由于不同传感器的物理特性和担负的任务不同，对传感器的要求也不一样，但是我们认为传感器管理的基本内容应该包括以下三个方面：

一、空间管理

给出传感器的搜索检测方位，对于监测应用来说，传感器的视野（FOV-field of view）必须有规律地移动（即扫描），以搜索并截获新的目标，或者周期性地重复再现目标点，以获得一条运动目标的航迹。

二、时间管理

在传感器必须与其它传感器或与目标环境中的事件同步的情况下（例如目标检测、航迹跟踪、电子对抗），要求对传感器的操作进行定时管理。

三、模式管理

许多传感器的工作模式是可变的，模式管理就是通过对传感器内部参数的设定来选择传感器具体的工作模式，这包括对传感器的孔径（FOVs）、搜索模式、信号波形、功率级和处理技术的选择。

由此看在一个多传感器系统中，不仅包含由多个传感器组成的互补体系（其中每个传感器都有较强的目标探测和分辨能力），而且要适当地管理这些传感器，按某种工作准则获得最优的数据采集性能。这些数据采集准则包括探测和跟踪性能、搜索范围和速率、发射控制、搜索范围对时间的连续性及目标识别等。运行于多目标环境中的传感器系统，要求将目标按威胁程度、截获时机以及传感器的需求等因素加以排列，以便将传感器科学合理地分配给目标。由于不同传感器的特性和承担的任务不同，对传感器的要求不同。传感器管理的内容包括空间管理、时间管理、模式管理，它由实际应用的信息需求、目标、事件的优先级等众多因素驱动。

2.3.3 传感器管理的分类

由于多传感器的不同平台放置(地理位置不同)和实施管理过程中的不同程度综合，出现了多传感器管理的不同类型。沿袭数据融合的分布式融合和集中式融合，便引出了多传感器管理的分布式管理和集中式管理。结合现代多传感器管理应用领域，尤其在军事上多平台多方位多群体联合协作，例如在陆、海、空、天协同作战过程中，将极大程度地存在协同问题，各个兵种或作战单位对外部信息的感知基本上还是以传感器为主。这时对不同平台的传感器如何管理将是一个值得考虑的问题。可以这样讲，对于高层数据融合决策，那么应用而生的便是分布式的传感器管理因为它需要将整个战场信息进行综合，而后对各传感器分配和发出命令（仅仅对于整个数据融合中的多传感器管理部分进行讨论）。相对而言，对于低层数据融合中的传感器管理，由于所涉及的传感器不是太多，同时实际任务的局限性，最佳地采用集中式管理。

在讨论两种方式的多传感器管理之前，首先看一下多传感器管理在整个数据融合中

的地位。以图 2.3 为例的数据融合闭环系统控制模式构成，从图中我们一目了然地明白了多传感器管理在数据融合环境中作用和地位。同时，引发我们对多传感器管理的不同方式的思考。

一、集中式多传感器管理

集中式多传感器管理的定义，所谓集中式传感器管理就是在多传感器数据融合中

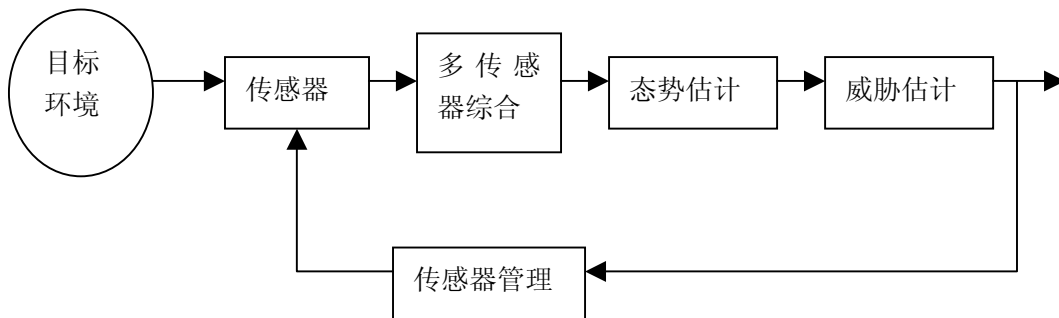


图 2.3 多传感器数据融合闭环系统控制模式方框图

Fig. 2.3 The block diagram of the multi-sensor data fusion close-loop system control model

将目标信息集中处理之后，若需对外部环境进行精确测量时，直接将数据融合系统的要求和操作人员的命令输入到传感器管理中心，由管理中心将命令转化成各种指令输入到各传感器。它主要应用于较低层次少量传感器的环境中。因为此时传感器信息量较少可以直接将所有信息进行融合，也便于对传感器集中管理和对各个传感器下发指令。

集中式传感器管理如图 2.4 所示，它的特点主要在于可以直接将信息进行提取，防止信息丢失，有较高的信息传输率，同时也便于对多传感器进行独立分配指令，各传感器可以有较好的独立工作环境，而不利之处在于融合中心和传感器管理系统的计算量较大。

二、分布式传感器管理

分布式传感器管理是指将各传感器信息先按类型特点进行分类处理，之后再送入融合中心，在得到数据融合系统命令之后，传感器管理中心要将命令进行提取分类，给不同层次、不同类型的传感器发出不同的指令，它主要应用于较高层的数据融合中，此时传感器信息量较大，要象集中式传感器管理那样处理信息是不可能的，而是要进行分层管理与控制。

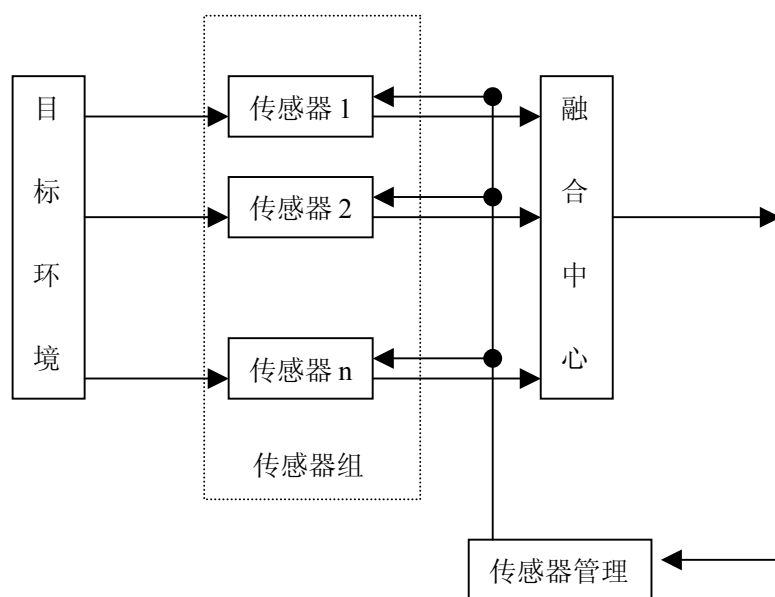


图 2.4 集中式传感器管理

Fig.2.4 centralized sensor management

分布式传感器管理如图 2.5 所示，由数据融合的不同方式来定传感器管理的方式，在图 2.5 中可以看到传感器管理在调节命令传感器回路中加入子传感器管理回路环节，有助于将整体传感器管理的任务进行分担，有利于传感器管理中心对同一类传感器或任务分别进行命令反馈，控制各子传感器。在进行分布式传感器管理中，首先要将各个传感器进行分类，之后再处理，管理时当接收到要进行管理的命令时先将命令分类，比较之后计算是往哪一个子传感器管理中心送，送达的命令在各子传感器管理中心要进行细化，将高层命令转化成传感器能接收的指令，而后分送到各传感器。

三、分析比较

两类多传感器管理方法各有适用之处，各有所长。有时在同一传感器管理环境两种方式都可以采用。不过一般情况下两种传感器管理方式更建议结合使用，这样有助于利用两者的优势。

分布式多传感器管理和集中式传感器管理的比较：

(1) 对于融合中心所获取的信息量，前者一般较为抽象，而有时有一定的信息丢失，后者所有的信息都传入融合中心，无论是有价值的还是无价值的全部输入。

(2) 针对融合中心计算量。前者计算量较小，因为信息在进入融合中心之前已经预先得到处理，后者由于所有的传感器数据都进入了最后的融合中心，计算量较大。例

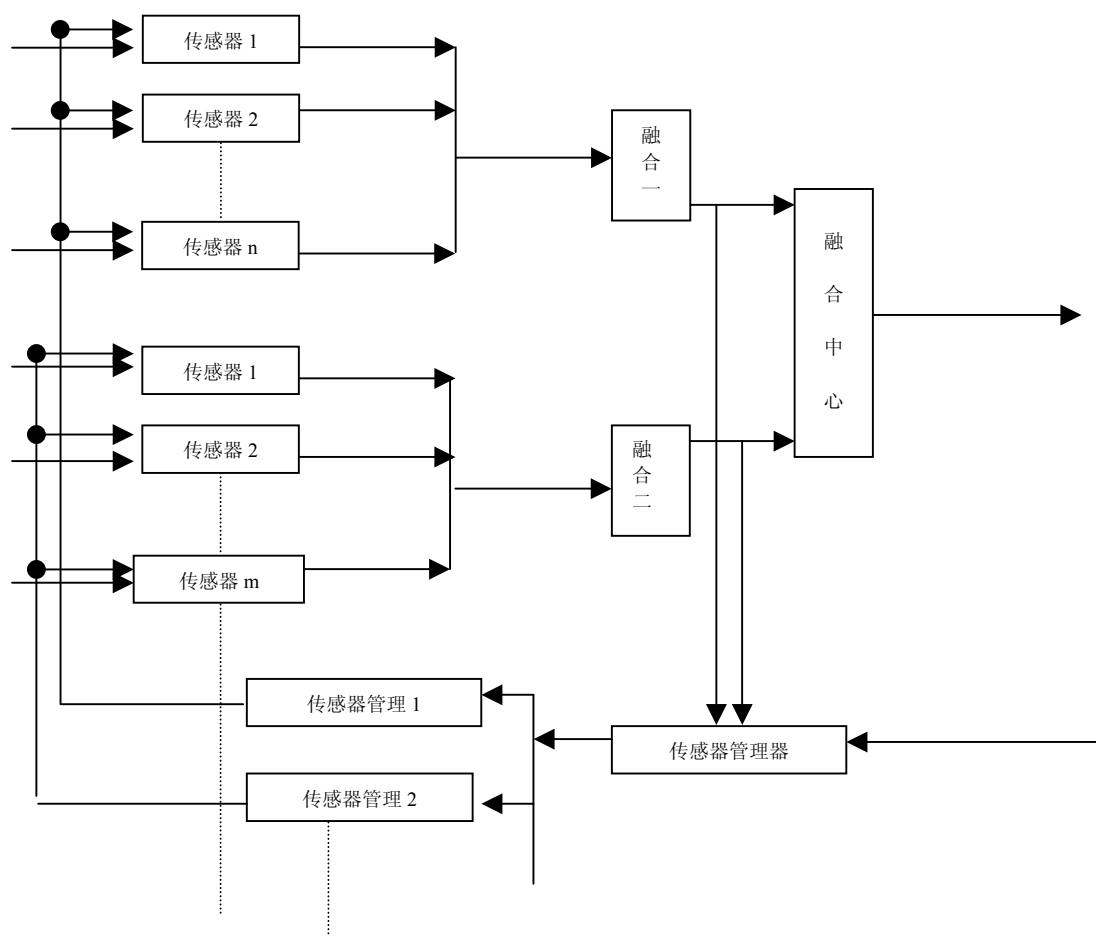


图 2.5 分布式传感器管理

Fig.2.5 distributed sensor management

如用计算时间看，一个 $n \times p$ 的传感器组（ n 个传感器，所测信息用 p 子长来编码），若 n 个传感器被分为 5 组，那么最后进入融合中心的数据将为 $5 \times p$ 。用主频为 633 兆赫的计算机来计算 $n \times p$ 矩阵的协方差，若 $n=1000, p=8$ 时，两者计算时间相差 2.58 秒（计算机精度为 0.06 秒）。这仅仅是一个简单的举例，考虑并不完善，忽略了其它因素。

（3）对传感器管理中心来说，后者比前者更便于管理，后者由操作员给出的指令或数据融合中心给的指令，需要获取更详细的相关信息可直接发送指令给相关传感器。而前者要先进行指令分类处理，而后再分送给各子传感器管理中心，最后送给各传感器。由此，前者给传感器管理中心的任务较后者要重的多。

（4）在传感器管理连接上，分布式传感器管理所连接较复杂，但省料；集中式传感器管理连接简单但费料。

四、实例分析

(一)、集中式传感器管理的实用性

对于不同的境况要采用不同的传感器管理方法这是事实。(拿两个平台上的目标跟踪来分析)。

图 2.6 显示了基本情况。相同的可分配任务的两个传感器 S1 和 S2 被放置在两个互相独立的平台上。他们用来跟踪两个目标 T1 和 T2。首先定性分析独立集中式管理和非集中式管理之间的差别。假定目标 T1 从左至右沿着高于并平行于两个传感器中心的连线的路线进入指定区域。目标 T2 与目标 T1 有相同的轨迹，但是从它是从右至左在两个传感器的下方。在实例开始时目标 T1 对于传感器 S1 更可测，同样目标 T2 对于传感器 S2 更可测。在这种情况下，传感器 S1 和传感器 S2 不能同时处理相同的目标，所以不会存在数据融合，每一个目标在给定的时间内仅有一个传感器有效地跟踪，我们比较两种可能的传感器管理计划：非协同式传感器管理和协同式传感器管理。

我们采用集中式传感器管理方式对传感器进行管理，对于非协同式传感器管理各个传感器跟踪指定的目标，两个平台共享他们的报告，数据输入到每一个平台的多目标跟踪器上，可以得到传感器 S1 平台上实验性融合输出的 K-L 效用测量。由于在此种情况下传感器较少采用集中式传感器管理方式。当带有集中式传感器管理的协同式跟踪时。传感器 S1 和传感器 S2 任何时间都指定跟踪离它最近的目标。在前半部分两个目标报告与非协同式是一样的，但当目标到达中点时，两个传感器将交换目标。此时也能得到实验性融合数据输出的 K-L 效用测量。由引文[59]可知采用集中式传感器管理方式时的整个融合系统的性能要优于非协同跟踪的情况。

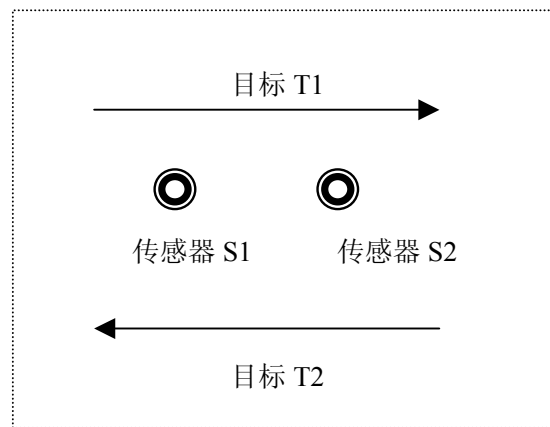


图 2.6 检测协同式对非协同式的传感器管理的情况

Fig.2.6 Scenario for testing cooperative versus noncooperative sensor management

(二)、多传感器环境采用分布式管理的情况（多层次传感器融合情况）。

由于单个传感器具有不确定性、观测失误和不完善性的弱点，因此单层数据融合限制了系统的能力和鲁棒性。对于要求具有高的鲁棒性和灵活性的高级系统，可以采用多层次传感器融合的方法。此时的传感器管理就要采用分布式传感器管理的方法。低层融合方法可以融合多传感器数据；中间层次融合方法可以融合数据和特征，得到融合的特征或决策；高层融合方法可以融合特征和决策，得到最终的决策。

针对对象机器人这样的多传感器融合系统，要采用分布式传感器管理，对多层次传感器融合中的多类传感器分类和分布式管理。下面举例说明这一问题。

机器人是采用多传感器的系统，当然也是传感器资源丰富的环境。ANFM 是瑞典默奥大学所开发的野外自治导航车^[60]。它以 iRobot 公司生产的 ATRV 系列导航车为基础，安装了摄像机、红外探测器、GPS、惯性导航和超声波等传感器。在数据融合上，GPS 和惯性导航结合来进行定位，那么在传感器管理中要将两者中的传感器划归一类进行管理。超声波传感器、红外探测器和摄像机来测距，这三者中的传感器进行管理得到精确测距的目的。针对总体的融合中心和控制目的，若对 ANFM 进行全局控制，传感器管理中心获得命令之后要将命令分类，然后分别送到各个子传感器管理中心，子传感器管理中心再将命令转化成指令输入到各传感器，以致得到准确的外部信息融合机体的完美控制。

2.4 小结

本章收集和整理了传感器管理的相关基本理论。传感器管理与数据融合的关系，引入了处于数据融合系统闭环上的传感器管理子系统，基本上将传感器管理的作用和地位给出了直观的表达。之后，分别介绍了传感器资源管理的目的、用途、内容和分类，在多传感器管理的分类这一节，提出了多传感器管理的集中式管理和分布式管理，并将两者进行了比较，分析了它们的特点，研究了各自的适用性。

3. 多传感器管理模型

3.1 引言

本章立足于传感器管理模型的建立，首先建立传感器管理的功能模型，而后建立了应用于具体领域的数学模型，这样为下一步具体实现传感器管理奠定了基础。

3.2 多传感器管理功能模型

3.2.1 传感器管理功能

一、目标优先级

当传感器资源有限而又有多个目标存在时，把传感器分配给这些目标前必须估计每个目标的重要性，设置目标优先级。根据多传感器数据融合系统的不同，目标建立优先级的方式可以分为：自主建立优先级和协调建立优先级。首先分析给出目标建立优先级的因素如表 3.1 所示：

(一)、自主建立优先级

表 3.1 列出了五个因素的各类参数。表中的所有量化因素可以独立使用，也可以将其中一部分组合起来使用。自主建立优先级便是传感器首先为每个目标计算出各因素的数值，并定义一个合成的优先级，然后根据操作人员输入的其它信息再对目标加权或补偿计算优先级。具体地讲，对于每一个目标都可以计算出它的身份、信息需求、威胁、攻击时机和火控需求的参数值，然后使用这些参数的一个函数来计算它的优先级，这个函数可以是代数式、贝叶斯推理等合成准则。

(二)、协调建立优先级

当使用两个以上的多传感器平台检测目标时，需要考虑各个平台之间的协调，以便统一进行目标排列。此时目标优先级的建立首先是目标分组并把所有的传感器平台分配给这些目标组。目标分组的方法有许多，例如可以按照目标相对于传感器平台的空间位置来划分，也可以按照传感器相对于目标进行观测所能达到的最大综合效能来划分。其次是分配给单传感器平台的目标组中的各目标要自主建立优先级。

表 3.1 决定目标优先级的因素

Tab.3.1 The factor of deciding targets priority

类 型	具体量化因子	
身 份	目标归属（敌、友、中、不明）	
	目标型号或分类	
	目标的杀伤力	
信息需求	空间定位精度	
	目标的识别状态	
	航迹估计的精度	
	探测目标时所需要的	航迹滤波器协方差 达到规定的跟踪精度需要的复现率
敌方威胁	目标型号	
	到目标的距离	
	目标运动速度	
	目标离开或接近的时间	
	目标杀伤力	
	与目标的武器射击弹道有关的我方目标位置	
攻击时机	与我方武器射击弹道有关的目标位置	
	目标到达检测或攻击点的时间	
	目标对我方武器的检测概率	
火控需求	对目标所使用的传感器/武器系统的状态（锁定、跟踪、飞行等）	
	飞行中制导武器的运动时间	

二、传感器对目标的分配

当传感器系统工作在一个多目标环境中，传感器管理机构自然要考虑并解决多传感器多目标的分配问题。当需要监测的目标相对于传感器的数目和传感器的观测范围来说还较少时，传感器的分配问题不太复杂，比较简单的一种传感器分配方法是：用一种传感器去引导其它传感器，例如用一种分辨力较低但是视野很大的传感器进行大范围内的

快速搜索，以获得对目标所处位置的估计，然后引导高分辨力的传感器转向预测的目标位置进一步检测。但是，当环境中的目标分布密度较高，或者说目标数目远远多于传感器数量时，传感器资源相对有限，问题就不那么简单。对于这种情况的处理一般有两种可选方案：一种是采用时间片轮转法，例如，在同时对多个目标进行轨迹跟踪时，按一定的时间周期，轮流更新所有目标的航迹文件；另一种方法是首先建立目标之间的相对优先级，相对优先级较高的目标被跟踪、检测的频率也越高。

合理的传感器分配应该使多传感器系统的综合检测性能达到最优，具体来说，当把 m 个同类传感器分配给 n 个不同目标时，要求所有传感器的合成视场覆盖所有目标并且对任一目标的漏检率最小；当把 m 个不同类型的传感器分配给 n 个目标时，要求基于一个或几个因素的某一目标函数最优化，这些因素包括：

（1）有目标的总覆盖区域监视空间的大小。每个目标的搜索区域都对应着一个复现率，它是保持现有航迹或者探测到新目标所要求的传感器最小检测次数。

（2）航迹估计的连续性及估计的精度。

（3）传感器发射控制。主动式（有源）传感器发射的信号可能会被敌方传感器发现。

（4）目标的分类方法。

建立了分配准则之后，传感器分配问题一般可以通过线性规划方法来解决。分配准则是满足以下条件的目标函数：

（1）能够计算互不相容的每种分配方案的最大价值和最小价值。

（2）从数学上定义传感器使用的线性约束条件。

（3）能够量化有限的传感器资源。

Nash^[30] 对这种传感器分配问题提出了一种形式化表示结构，并在考虑了传感器的能力限制和目标覆盖要求（即每个目标至少由一个传感器来监测）的情况下，给出了多传感器对多个独立目标的分配方法。这种方法使用了一个增广的分配矩阵，它不但包含了所有的单一传感器/目标配对，还包括能够分配给每个目标的传感器所有可能的组合。如图 3.1、图 3.2 所示。

		目 标					
		1	2	...	m		
传 感 器	1	C_{11}	C_{12}	...	C_{1m}	a_1	传 感 器 能 力
	2	C_{21}	C_{22}	...	C_{2m}	a_2	
	\vdots			\vdots	
	n	C_{n1}	C_{n2}	...	C_{nm}	a_n	
		1	1	...	1		
覆盖要求约束							

图 3.1 基本的传感器—目标分配矩阵

Fig.3.1 The basic sensor-target allocation matrix

		目 标						
		1	2	...	m	$m + 1$		
单 传 感 器 传 感 器 组 合	$\left\{ \begin{array}{l} 1 \\ 2 \\ \vdots \\ n \\ n+1 \\ \vdots \\ n' \end{array} \right.$	$\left[\begin{array}{cccccc} C_{11} & C_{12} & \cdots & C_{1m} & 0 \\ C_{21} & C_{22} & \cdots & C_{2m} & 0 \\ & \cdots & \cdots & \cdots & \\ C_{n1} & C_{n2} & \cdots & C_{nm} & 0 \\ C_{n+11} & C_{n+12} & \cdots & C_{n+1m} & 0 \\ & \cdots & \cdots & \cdots & \\ C_{n'1} & C_{n'2} & \cdots & C_{n'm} & 0 \end{array} \right]$	a_1	传 感 器 能 力 约 束				
		1	1		
覆盖要求约束								

图 3.2 增广的传感器—目标分配矩阵

Fig.3.2 The extended sensor-target allocation matrix

在图 3.2 中，为了把组合传感器的分配情况也包括进来，增广矩阵的维数由 n 扩展到 n' ： $n' = 2^n - 1$ 。增广矩阵的元素 C_{ij} 是每个分配的代价函数，以及为了得到传感器分配的初始解而附加的一系列零向量（松弛变量），另外还有表示每个传感器的最大跟踪能

力的量 a_i 。

在这种情况下，备选解可以视为判定变量 X_{ij} ($X_{ij} = 0$ 表示不把传感器 i 分配给目标 j , $X_{ij} = 1$ 表示把传感器 i 分配给目标 j) 的一个矩阵，它满足目标覆盖要求和传感器跟踪能力约束，并且使如下的描述多传感器系统综合能力的目标函数达到极大：

$M = \sum_{i=1}^{n'} \sum_{j=1}^{m+1} C_{ij} X_{ij}$ 。约束表示为判定变量矩阵 $(X_{ij})_{mn}$ 的一个函数。

(1) 最大跟踪能力约束（每行之和应该等于传感器跟踪能力）：

$$\sum_{j=1}^{m+1} X_{ij} = a_i \quad i = 1, 2, \dots, n'$$

(2) 目标的覆盖约束（必须保证有一个单一传感器或传感器组合已分配给了这个目标）：

$$\sum_{i=1}^{n'} X_{ij} = 1 \quad j = 1, 2, \dots, m, m+1$$

其中目标函数是表 3.1 中列出的一部分或全部因素的综合函数，其中的每个因素值表示如果采用这种传感器分配方案在某个方面（如信息需求、攻击时机、威胁等）所能得到的效益。

三、传感器接口

每个传感器的运行都要求传感器管理系统控制和选择传感器的工作模式、定时和计时。控制传感器运行的方式主要有四类：

(1) 全局控制方式

这种命令控制建立了传感器运行的全部参数。对于不具有并行或分时多路复用工作方式的传感器，这是对传感器的单一控制状态。对于那些允许按扇区，或者按扫描航迹并行操作的传感器，除了对指定的扇形区域或指定的目标活动区域外，这也是一种主要的控制方式。

(2) 分扇区控制

可以将一些传感器的监测空间划分成不同的扇区，在不同的扇区内选择传感器不同的参数。例如，对于机械扫描监控雷达，整个 360° 的监视空间可以被划分成如下的四个

扇区。

序号	扇区（度）	模式	脉冲重复频率	能级	备注
1	0—65	OFF（关机）	OFF	OFF	将发散波瓣减至 30°
2	65—175	搜索（多普勒）	600	高	远距离搜索
3	175—225	脉冲（多普勒）	250	中	跟踪目标
4	225—0	搜索（多普勒）	600	低	远距离搜索

传感器控制管理系统必须提供各扇区的空间坐标，如起始和终止的方位角，同时也需给出各扇区的工作模式和参数。扇区控制数据的存贮和工作模式或参数的选择控制开关可以直接设置在传感器中，或者，若接口允许，这些控制信息也可以由数据融合系统的管理员直接从外界实时地输入。

（3）指定目标的控制

类似地，我们可以指定传感器去完成某个监测扇区中的特定功能，另外，对特定的传感器也可以指定不同的目标，例如周期性地跟踪复现或者持续地发射检测信号以搜索目标特性数据。传感器管理系统必须提供目标的估计位置和方位，以及关于估计和模型参数的搜索范围，并将它们分发给传感器，以控制传感器对目标的动作。

（4）搜索控制

传感器管理系统可能要求传感器搜索一个特定的空间，这时除了要设置传感器的工作模式外可能还会给出空间的限制参数（如方位、距离、高度界限等），以及检测信号的滤波参数，以便根据目标属性特征（如目标型号、高度、速度等）来限制传感器探测目标的种类。

四、传感器的指示与交接

进行传感器管理的根本目的是为了协调各种传感器的观测行为，以提高整个系统的监测效能。传感器的指示与交接是传感器行为协调的两个典型的例子。所谓传感器“指示”就是利用来自于一种传感器的检测信息去引导另一种传感器来对准同一个目标或事件。当传感器 A 向传感器 B 移交监测目标或者火控任务从传感器 A 转向传感器 B 时就出现了“交接”。

需要考虑进行传感器指示和交接的原因有如下几种：

（1）当一个目标即将脱离系统中某一传感器的监测控制而进入其它传感器的观测

范围（时间或空间）时，应该及时提示这些传感器以使它们迅速发现该目标并恢复其航迹。

（2）一个传感器能探测到一个目标，但仅能提供一些有限的空间测量（如带有唯一方位数据的无源传感器信息）或标识信息。在这种情况下，为了获得目标更全面的信息有必要指示另一个传感器去收集所需的其它方面的目标数据。

（3）一个无源传感器可能获取来自一个发射体的唯一的方位数据，它需要指示另一个远程定位传感器去采集其它方位数据，以便对该目标进行协同定位（例如 Stansifield 分析、三角法测距等）。在这种情况下，指示传感器应该向被指示的传感器提供特定的数据，如发射体属性，时限、预测的搜索方位等，以辅助其搜索。

（4）系统的主传感器可能在检测并识别到一个敌方目标后，指示自动武器（如导弹）对其实施攻击，自动武器本身携带的导航传感器必须在主传感器指引下截获并锁定目标。在这种情况下，自动武器上的传感器性能（分辨率、灵敏性等）出于成本上的考虑通常低于主传感器。

一般情况下，用来指示的传感器视场较大，但分辨率较低，被指示的传感器视场较小，但分辨率高，因此传感器的指示和交接功能在一定程度上节约了传感器资源。

传感器在指示和交接过程中必须进行两类处理：指示传感器必须向被指示传感器提供充分的信息以指明一个目标，被指示的传感器必须到指定的范围内去搜索那个指定的目标，并证实已经截获了该目标。传感器指示的方式主要有如下两类：

（1）静态指示

在简单情况下，指示传感器直接把被指示传感器引导到自己的视场中心进行检测，此时，在这个中心位置上正确指示概率 $P(Q)$ 可以作为一个给出了指示传感器的误差估计量的视场函数来计算。

（2）动态指示

在复杂情况下，为了获得一种更高的正确指示率 $P(Q)$ ，被指示传感器不能固定在一个点探测，而应该根据指示传感器的误差统计量来选择一种特定的搜索模式，并按照这个模式在指示传感器的视场内进行搜索和检测。

3.2.2 功能模型框图

在第一节具体讲述了传感器管理具体功能之后，本节将各部分内在关系以功能模型加以表示。一般的传感器管理功能如图 3.9 所示：

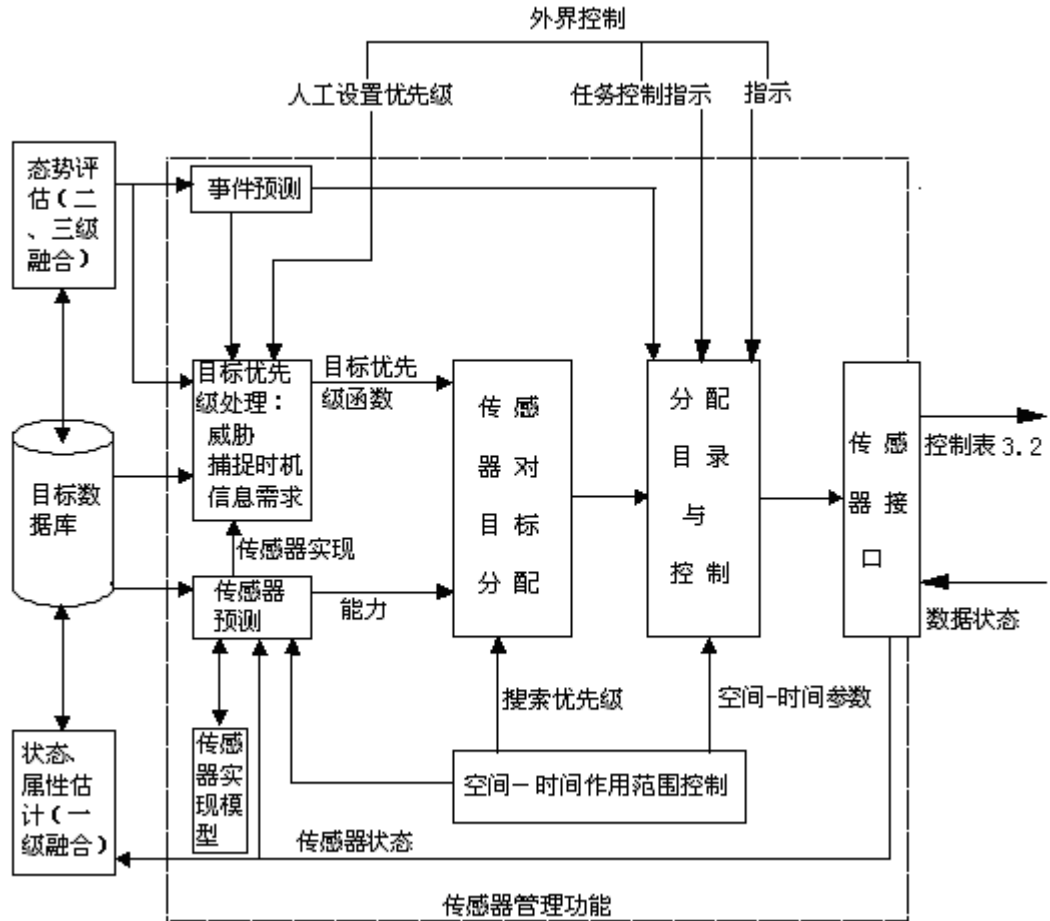


图 3.9 通用传感器管理功能

Fig.3.9 Comprehensive sensor management function

表 3.2 通用传感器控制

Tab.3.2 Comprehensive sensor control

类 型	传感器的控制输入
模式控制 功能	开机/关机控制
	传感器工作模式选择：能级（有源传感器）、波形或处理模式（远距搜索、高分辨力窄覆盖跟踪等）、扫描跟踪或航迹扫描
	传感器处理参数：判断门限、检测、跟踪、识别准则
空间控制 功能	指示坐标系（视域的中心位置）
	视域选择
	扫描/搜索率
	扫描/搜索模式选择
	控制各传感器参数：传感器坐标、扇区的工作模式
	设置指定目标的参数：目标或航迹的索引、坐标或搜索空间、使用的工作模式、预测的出现时间、传感器在目标上驻留时间
时间控制 功能	模式、扇区控制的起/止时间
	指定扇区的查看驻留时间
	对目标、搜索的指定驻留时间
	最大容许发射功率周期
报出控制	基于目标属性的报告过滤：我、敌或两者、高度分层过滤、按致命程度过滤
	基于空间属性的目标过滤：最小/最大距离限制、高度分层过滤、空间区域过滤
	指定的目标优先级

3.3 传感器管理数学模型

为了对传感器管理进行量化，本节给出如图 3.10 所示的传感器管理数学模型^[61]。每个传感器对目标可以执行三种任务，分别是检测、跟踪和识别。传感器对目标先检测，后跟踪，再识别，并将获得检测、跟踪和识别的结果送到信息空间进行融合处理，融合处理的结果：未被检测目标 PDF（概率分布函数）、已进行跟踪目标的状态估计及协方差阵、被识别目标的特征向量，这些都将成为传感器管理的重要依据（通过定义度量性能标准来实现）。信息空间的具体构成如图 3.11 所示：

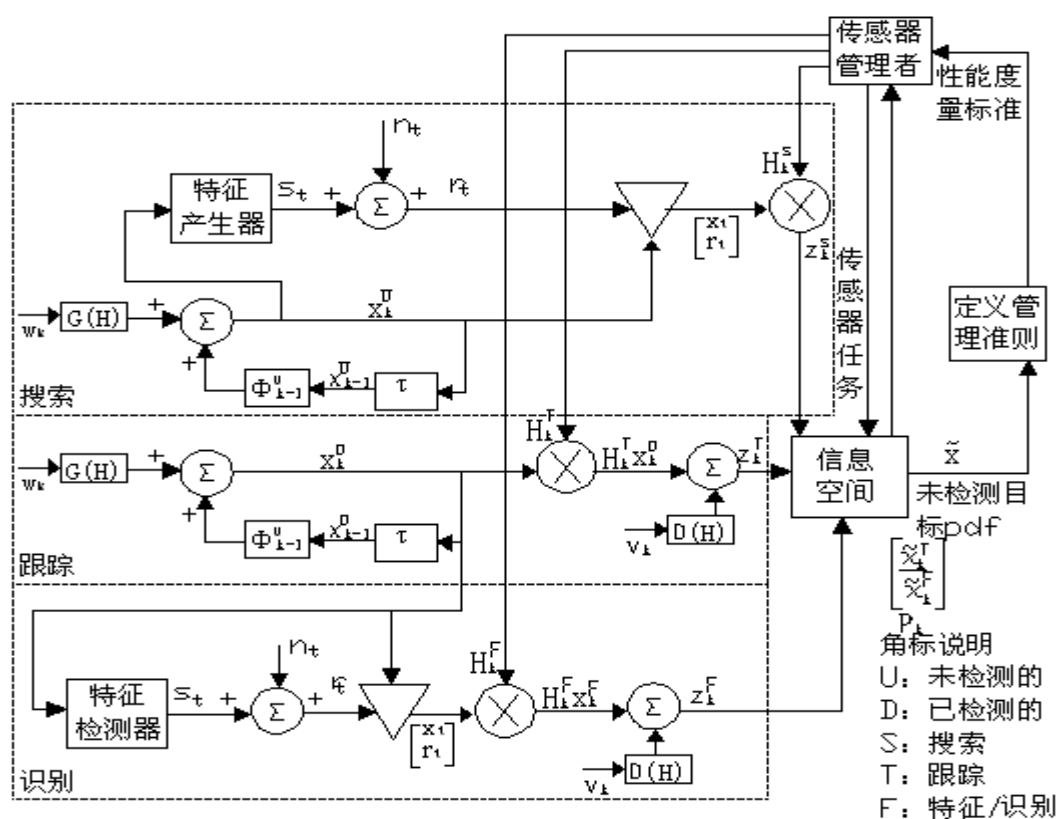


图 3.10 传感器管理数学模型

Fig.3.10 Mathematical model for sensor management

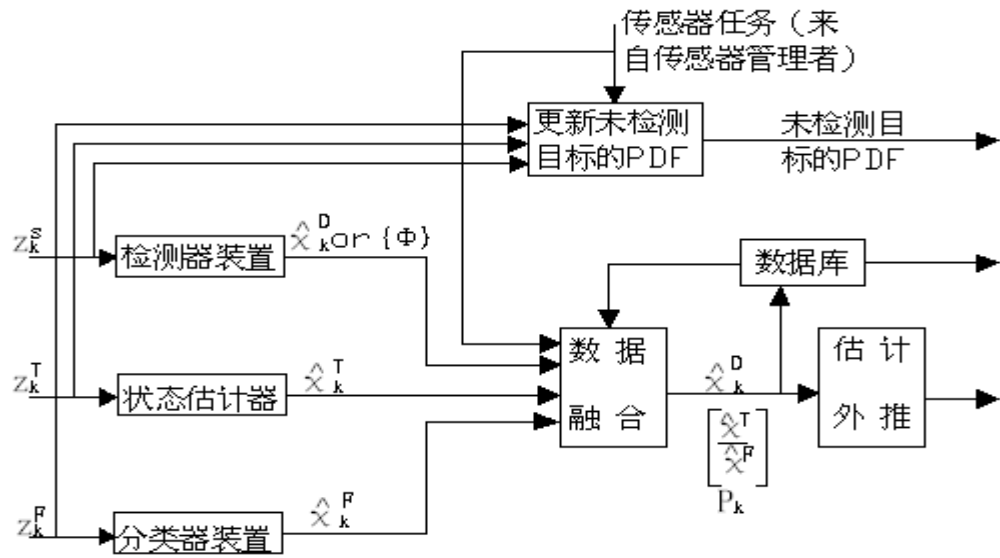


图 3.11 信息空间

Fig.3.11 Information space

3.4 小结

本章在对传感器资源管理功能细化的基础之上，引入功能模型更加明确了各功能的作用和相互之间的关系。传感器管理功能是传感器管理要具体完成的工作，这在解决实际问题中是不够的，要进一步将各功能进行量化，便引入了传感器管理数学模型。

4. 多传感器资源管理的应用

4.1 引言

随着科学技术的高度发达,数据融合技术的发展日新月异,它不仅在军事上有迅速的发展,而且在民用上也有广泛的应用和革新。数据融合技术应用如:信息战、C³ISR系统、航空航天技术、现代化作战武器、机器人技术、空中交管系统、组合导航技术等等。不过信息战对于我们来讲并不是一个新的名词,现代作战环境下。研究不止浮于数据融合的表面,已经深入到了各分系统中。本章着重介绍数据融合的多传感器资源管理部分在相关领域的典型应用。

4.2 以网络为中心的传感器资源管理

在以平台为中心的作战兵力中,传感器往往只应用于对某一武器或作战系统的支持。在以网络为中心的作战兵力中,作战系统及各平台的联网使得传感器管理归结到了作战兵力所关注的信息体系结构问题。在以网络为中心的美国海军作战中,各传感器都是为了满足整个作战兵力的需求而存在,超越了以平台为中心体系结构中传感器只支持单一平台需求的限制。以网络为中心的传感器资源管理,必须把作战兵力理解成一个统一结成系统中,具有良好互操作性的分系统,而不是水面、水下和空中平台的松散集合。这样的作战兵力层次思想,使得系统发展的焦点开始从传统的烟囱式系统结构及无协同意向的平台中心转向以优化资源利用为目的的,超越平台界线的扁平式系统结构。

4.2.1 协同传感器资源管理概念

海上作战兵力主要包括水面、水下和空中平台(航母、巡洋舰、驱逐舰、护卫舰、两栖战舰、预警机、战斗机和潜艇),传感器系统,武器系统,通信系统,决策节点(如战术指挥中心),决策者和操作员。传统上,海军作战兵力框架是在平台为中心的基础上建立起来的,各平台自主、独立的完成某一作战任务(如空中威胁和导弹防御,水面、水下作战,排雷战,登陆战和信息战),无法以协同的方式来实时或近实时的完成战术任务。

以平台为中心的海军模式不能发挥传感器和武器的全部潜力（如图 4.1 所示）。从图 4-1 中可以看出，平台的有效作战范围要比传感器和武器的最大作用距离都要小，即传感器和武器资源没有被充分的利用。图 4.2 描述了在传感器到射手的时间域内，武器可以进行准确射击（即在有效作战范围内）要比目标处在武器射程内的时间晚。这虽然把焦点放在某一平台上，但也可以把它推广到多平台中去。多个平台的介入导致问题越趋复杂，然而有效的管理可能会使得兵力资源的稳定增长。

平台的增加能够扩大系统的探测范围，提高作战能力，减少系统损耗并缩短从传感器到射手的整个时间域。但是，它使系统更加的复杂和不确定。带来了如信息过载，更复杂的决策和成一定趋势增长的资源竞争等一系列问题。

协同传感器资源管理系统从某一作战兵力的角度，以协同的方式对分散的各平台上的传感器资源进行管理。它是一个由一系列紧密耦合并分布在各平台上的处理机组成的同步指控系统

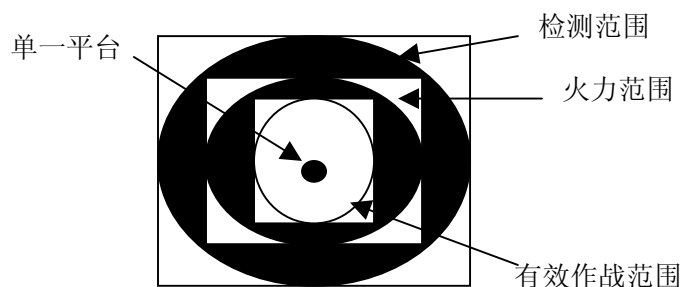


图 4.1 以平台为中心的海军模式图
Fig.4.1 Platform-centric Navy Model figure

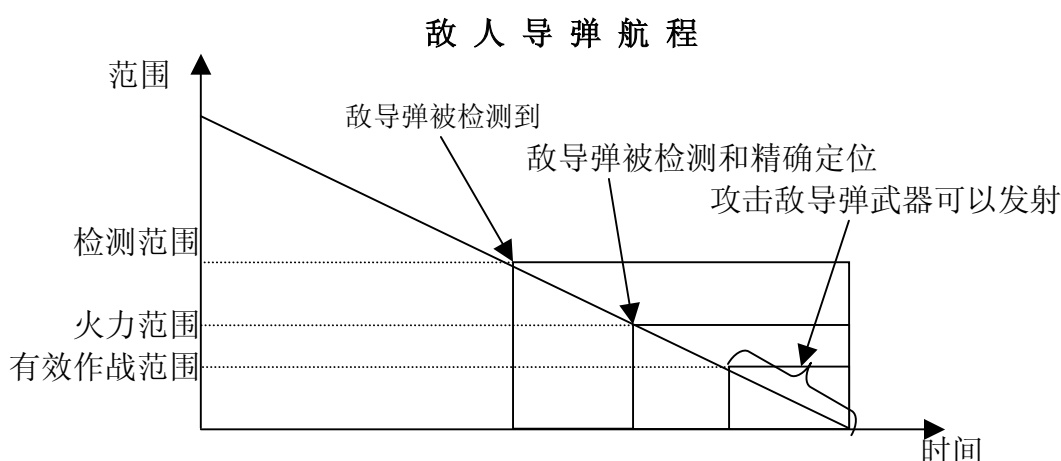


图 4.2 以平台为中心的海军时间-范围图
Fig.4.2 Platform-centric Navy time-range figure

4.2.2 协同传感器资源管理实现基本要素

以网络为中心的传感器资源管理有三个必要条件。一是信息优势的获取。有关于战术战场空间和作战兵力资源（传感器性能和状态、武器性能和状态、通信系统性能和状态等等）的信息必须及时、准确并连续的传给各作战兵力以优化传感器指令和控制。二是在平台链接管理中采用更高层次的自动化以支持优化的平台间通信。另外，人与自动辅助决策系统间的互操作能力是传感器资源管理系统设计的关键因素。也就是说作战兵力范围的同步信息数据库、平台间智能链接管理和人机交互性能是以网络为中心的传感器资源管理系统的核心。

一、OP/CTP/FCP BF 信息数据库

COP（Common Operational Picture）指的是由用于任务分配计划和兵力管理的非实时的战术信息组成的态势图。它主要包括：敌、我、中各方的行动过程，对敌方所拥有的先验知识，以及文化、政治和地理特性。CTP(Common Tactical Picture)指的是由用于指导兵力资源管理的近实时的战术数据和信息组成的态势图。FCP(Fire Control Picture)指的是由用于武器控制的、实时火控质量数据组成的态势图。

BF 信息数据库是基于 COP、CTP 和 FCP 信息集成的统一数据库，数据库中的信息是贯穿整个战场作战兵力的同步信息。占据信息优势地位的潜在要求是充分利用分布在各平台上的传感器和通信资源，以满足大量的分布在各个方位的信息用户的需求，而且这种需求是实时变化的。

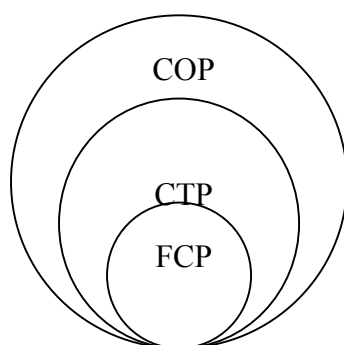


图 4.3 作战兵力的三个信息域

Fig.4.3 The three information range of battle force

图 4.3 描述了作战兵力的三个信息域，为了获取信息优势，作战兵力必须保证三个信息域的连续性。例如，一个决策者可能在 COP 或 CTP 发生变化时才发现目标位置、状态或属性的变化。这可能就是因为延时或在不同的时间框架中观察的结果。由于三个

信息域的更新频率是不同的，FCP 获取数据的时候 CTP、COP 可能仍未发现数据变化。在没有协同传感器资源管理时，要保证信息域间的连续性是很困难的。

二、自动化的智能链接管理

在以网络为中心的传感器管理中，一个很重要的条件就是在整个作战兵力范围内自动的控制数据分发。通信带宽的限制主要是由通信设备的局限性引起的，这些局限性使得系统在数据分发过程中浪费了大量的时间。为了充分的利用带宽，系统必须智能的根据信息用户的需求来分发信息数据。战术信息用户包括操作员、决策者、C4ISR 系统和资源管理系统。任务预先改变或者在操作过程中改变，将引起用户需求的变化。智能的数据分发是建立在自动的、分布式的链接资源管理系统基础上的概念。链接资源管理系统在每一平台上都安装了一个智能处理器（也称链接管理器）。其功能如下：

- (1) 决定信息接收用户或决策节点的需求
- (2) 跟踪什么信息数据是可获取的
- (3) 决定通信的可行性
- (4) 给其他链接管理器发送指令，以控制和管理信息传输和传输节点
- (5) 根据需求传输信息数据

三、人机交互

在半自动传感器系统中，机器处理、融合数据并支持火力控制，但传感器的控制仍然人工进行，如图 4.4 所示。这也是目前美国海军的现状。在全自动的传感器系统中，传感器管理器在操作员的引导下提供反馈并控制传感器，如图 4.5 所示。

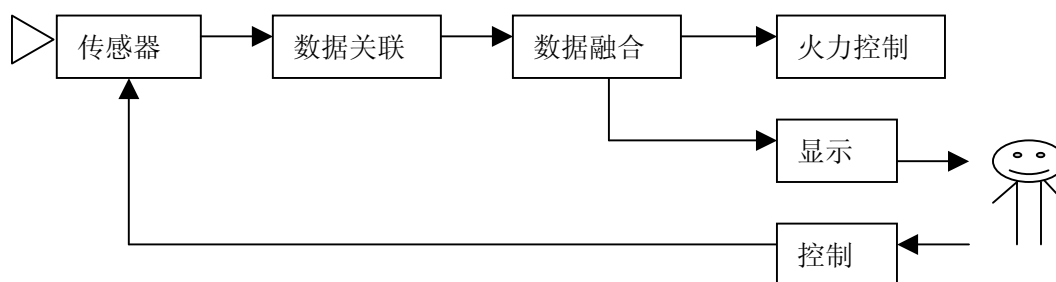


图 4.4 半自动传感器管理系统

Fig.4.4 Semi-Automatic Sensor Management System

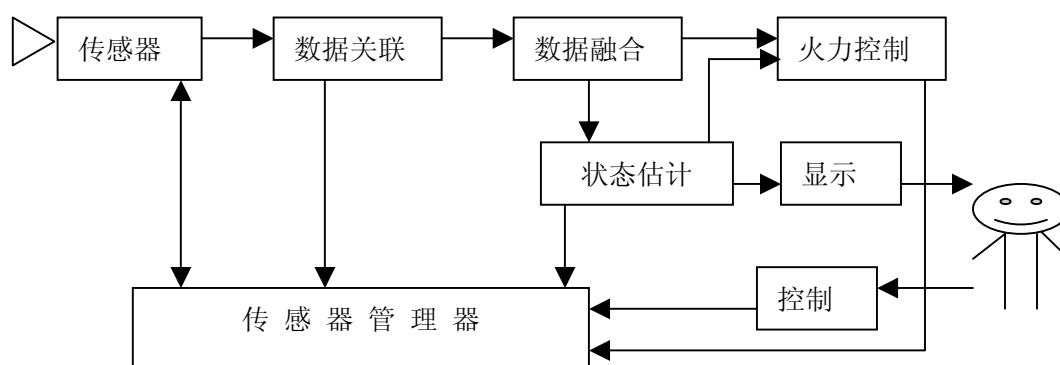


图 4.5 自动传感器管理系统

Fig.4.5 Automatic Sensor Management System

同时可以看出自动化传感器管理的优点如下：

- (1) 减轻操作员的负担
- (2) 能更快的适应战场环境
- (3) 使得有更详细信息细节支持传感器的调整

协同传感器资源管理的采用将有许多益处。它可以使战场态势图所表示的态势更准确；减小传感器耦合工作的区域；扩大监视范围；减少作战兵力反应时间；优化各种资源的利用等。

4.3 传感器丰富环境下的传感器管理

廉价传感器的激增和最近几年微电传感器装置的引入促进了尖端系统的发展，这些系统在传感器丰富环境中运行去检测系统性能和提供更高程度的自动化。一个传感器丰富环境有成百上千的、廉价的、普通非模式的、被动的传感器组成一个并列获取数据的传感器网。这是与其它传感器环境像 C³I 有有限数量的、昂贵的、多模式的、主动的传感器组成去搜索、跟踪和识别目标所相反。传感器丰富环境的例子从带有数百传感器和伪传感器的航空器 HUMS(health and usage monitoring systems 状态和使用检测系统)到尖端半自动系统像美国海军提出的拥有超过 20 万传感器和伪传感器的 DD-21 摧毁者。

多传感器融合、数据融合或者后验数据处理技术是不能单独地处理由这些系统所产生的大量的数据的。例如航空器 HUMS 即一个相对较小的传感器丰富环境通常每年要获得和储存来自于良好航空器的 10^9 字节数据和来自这种航空器编队的 10^{12} 字节的数

据。例如美国海军正在计划应用于 SH-60 直升机编队的通用 HUMS 分阶段进行装备，分十年安装大约 450 架航空器，被安装的 HUMS 单元将在以每月 $3-9 \times 10^{12}$ 的速度在搜集数据和已搜集超过 400×10^{12} 的航空器状态数据。既然一个典型的 HUMS 将在任何故障事件中迅速增加有效的数据决策，那么当在航空器飞行中一个单元故障时这个大量的数据就被复合。明显美海军的困难是积累数据的处理和管理。

传感器丰富环境例如 HUMS 是数据丰富和信息平乏，特别是在人机界面。数据丰富、信息平乏的传感器丰富环境是一类新问题需要有一个关联的和通用的传感器管理方法去避免繁重的计算、储存和人力资源。不像 C^3I 中大多数传感器资源已经被集中，而传感器丰富环境有很多的传感器，每个传感器目的是以最大数据率持续地对一个特征参数做特定的测量。然而，在传感器丰富环境中，系统状态估计没有被传感器限制而是限制于处理器性能、网络宽度和人机界面。这样必须从仅仅收集大量的数据向满足这些数据收集需要的数据分析和信息需要的决策转变。

4.3.1 传感器丰富环境

传感器丰富环境并不是一个新观点。许多关于静止机器人的文献，包括传感器丰富的大规模、静止系统的观点，也涉及到大量传感器在有效操作和管理这些系统的复杂反馈控制中发挥了至关重要作用的高度分布、自动系统的观点。几个作者^[62,63,64]记录了一些通用的静止机器人的例子，如：自动空间探测、化工厂控制、卫星星群、电网及其它。尽管静止传感器不是传感器工作的唯一单元，虽然它们不是用来获得周围的信息但也发挥了重要的作用，尤其是在检测系统状态上。

尽管应用有所不同，但是传感器丰富环境具有共同的特征：

- (1) 大量传感器和伪传感器
- (2) 高度分布
- (3) 紧密相关
- (4) 非模式传感器
- (5) 静止的、可能是重叠的传感或者监视容量
- (6) 固定的传感器
- (7) 廉价的传感器

- (8) 被动而不是主动的传感器
- (9) 传感器型式多样
- (10) 持续的、协调的数据获取

一个传感器丰富环境具有许多传感器，在直升机 HUMS 中，大约有 1,700 个传感器和伪传感器，任务是用来检测航空器的状态，检测 HUMS 系统本身的状况和检测在操作中的数据流。表 4.1 显示了直升机子系统和各子系统中所用传感器数。表 4.1 不易明白的是有的传感器要用在多个子系统中。例如，一个装配在航空器重心的三轴加速度计。

表 4.1 装备有 HUMS 的直升机各子系统的传感器分布

Tab.4.1 Distribution of Sensor on a HUMS-equipped Helicopter Among Various Subsystems

航空器子系统	传感器或伪传感器数
航空器状态和控制	158
发动机	344
辅助电能单元	7
主齿轮箱	29
辅齿轮箱	59
辅助系统	12
中间齿轮箱	37
尾翼齿轮箱	31
驱动轴/悬挂轴	84
飞行控制	202
旋翼轨迹和平衡	179
水压和润滑	134
外部挂载	26
油料系统	47
HUMS 状态和自检	304
发动机突起齿轮箱	26
冲击板	13

表 4.1 也显示了系统的分布状况。在这个例子中大约有 1,700 个传感器和伪传感器被分配于 17 个子系统中。当然, 传感器数量和子系统数量可能会更多, 特别是大规模和复杂系统。但大规模系统像静止机器人和宇宙飞船通常使用传感器数据来作为控制的基础, 在一个传感器丰富环境中传感器数据可能被用来稳定系统但也用来检测系统各种状况。传感器丰富环境也是紧密相关的, 意思是在子系统之间有重要数据的共享和相关作用。相反, 有些人则建议大规模系统相互关联要少一些, 因为它们物理上是分散的, 要用分布式的方法来控制和管理。

用于传感器丰富环境的传感器通常是非模式的。例如它们只有单一操作模式。一个好的例子就是一个加速度计。在 C^3I 应用中, 多模式传感器像多模式雷达就是标准。传感器的选择模式能力对传感器的分布和使用带来了限制。在传感器丰富环境中, 传感器的固定模式意味着传感器的监测和感知容量是预知的。

4.3.2 通用传感器管理和计划

多传感器系统依靠数据融合技术, 结合来自于相似或不相似的传感器管理数据, 目的是为了给出系统状态的估计。结合来自于多传感器的数据和信息的协作好处是众所周知的, 特别是在 C^3I 中多个、主动的和多模式传感器用于改善系统性能, 增加冗余和为传感器故障提供安全保证。长期以来已经认识到管理这些同质的和分布的传感器系统需要一个传感器管理系统为所有传感器和测量装置的自动或半自动控制规定条件。实质上是一个传感器管理系统把信息需求转换成了由一套传感器和伪传感器所执行的一组行动。然而, 直到最近多传感器管理解决方法已经成为对具体问题所优化的专门进行解决的办法。这个限制在很大程度上被 McIntype 和 Hintz 所完成的通用、分层传感器管理模式所缓解。这一管理模式是为多传感器 C^3I 系统中用来分配和控制传感器资源的独立运行方法而提供的。

信息论的分层传感器管理模式如图 4.6^[65]所示。在图 4.6 中被分隔出来的传感器管理模型层次是显然的。从图 4.6 中看出, 操作人员向任务管理者提出信息需求, 同时已经形成的任务和目标储存在任务管理器中。在 C^3I 系统中, 任务管理器直接把战术和战略目标转化成信息需求而不用担心这些信息需要是如何被传感器管理系统所满足的。换句话说, 任务管理器并不关心使用哪一个传感器或测量方法, 而仅要求在已给定的优先

级和时间限制内去完成测量。

图 4.6 中层次的下层便是信息实例器。信息实例器是将信息需求转化为一列满足这些信息需求的合理的功能。可以使用的功能不会具体到单个传感器而是推测出测量

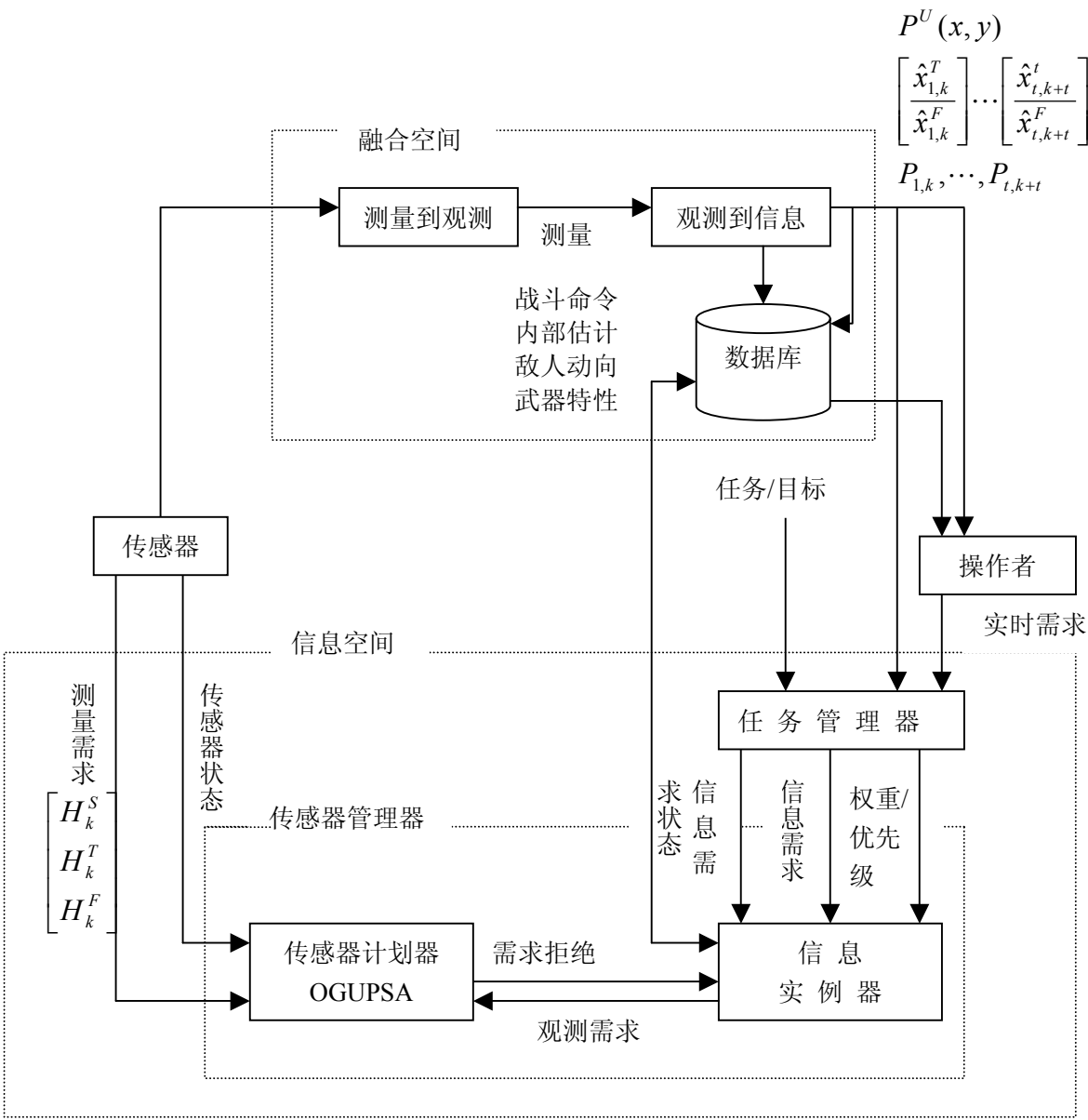


图 4.6 通用传感器管理和计划模型

Fig.4.6 Comprehensive Sensor Management and Scheduling Model

形式（例如范围、范围比例等）和所需要的测量精度等。信息需求向观察需求的转化是一个两维矩阵并且已经定义成使用功能表。来自于信息实例器的观察需求已传到传感器

计划器, 传感器计划器能将观察需求对应到一个或多个传感器来满足观察需求和时间需求, 像其它传感器管理系统的组成部分一样, 传感器计划器并不关心数据如何被使用, 而仅关心观察数据能得到一组传感器或伪传感器的满足, 这些传感器或伪传感器要根据它们的灵敏度和获得需求测量以及其它传感器可利用或操作限制的时间入口来排队。此传感器管理模型使用由 Zhang 和 Hintz 提出的 OGUPSA (On-line, Greedy, Urgency-driven Preemptive Scheduling Algorithm) 来计算。

尽管由 McIntyre 和 Hintz 提出的传感器管理器仅仅由传感器计划器和信息实例器组成, 但全部传感器管理过程被分成两个部分即“融合空间”和“信息空间”。融合空间允许传感器测量去结合使用数据融合技术作为系统状态迹的估计。信息空间由传感器管理器和任务管理器组成, 它们一起把来自外部世界的或系统的信息转化为内部的数学表示而提供一种有效的方法。

4.3.3 应用于传感器丰富环境的传感器管理模型

上面提到的传感器管理模型是具体应用于 C^3I 的。然而, 模型容易扩展用于其它场合, 包括传感器丰富环境。传感器管理模型的一些方面必须改善适合于传感器丰富环境, 特别是模型本身的结构, 同时一些具体组成部分, 包括信息实例器和传感器计划器。数据融合算法也必须被重新调查改进。

一些作者已经建议分布式估计和控制模式对这里所讨论的传感器丰富环境是适合的^[66,67]。我们能扩展分布式管理方法, 并将它应用于按系统功能或物理界限所分隔的全局分布式传感器管理的情况。通过这种方法, 一个独立的传感器管理器和任务管理器分配于每一个子系统。好处在于可应用的功能表和可应用的传感器表的容量的减小。如果像以往用单一传感器管理器去管理传感器丰富环境中的信息需求, 那么以上两表将可能包含有几百几千个单元(许多单元是零元素)。尽管用稀疏矩阵技术可以解决这个问题, 但分隔问题和处理可利用功能表和可利用传感器表的尺寸要更为有效。但是分布式系统扩展当前的传感器管理模型对传感器管理提出了一些问题, 即: 任务管理器和信息实例器也需要按不同的系统目标分隔。这便又引起另外一些困难, 即向子系统的传感器分配全局目标, 保持各不同传感器间的一致和在不同子系统传感器管理器中协调需求和反应。

不过通过混合方法即将分层、集中和分布模式混合进行使用，我们将缓解所提出的问题。其中的一种方法如图 4.7 所示。在此任务管理器已从传感器管理器中分离出来但仍处于传感器管理层的顶端，这里任务管理器仍然要把任务目标转化为信息需求。信息实例器与前面所述模型并未改变。相关的可应用功能表也没有改变，只是容量要大一些。

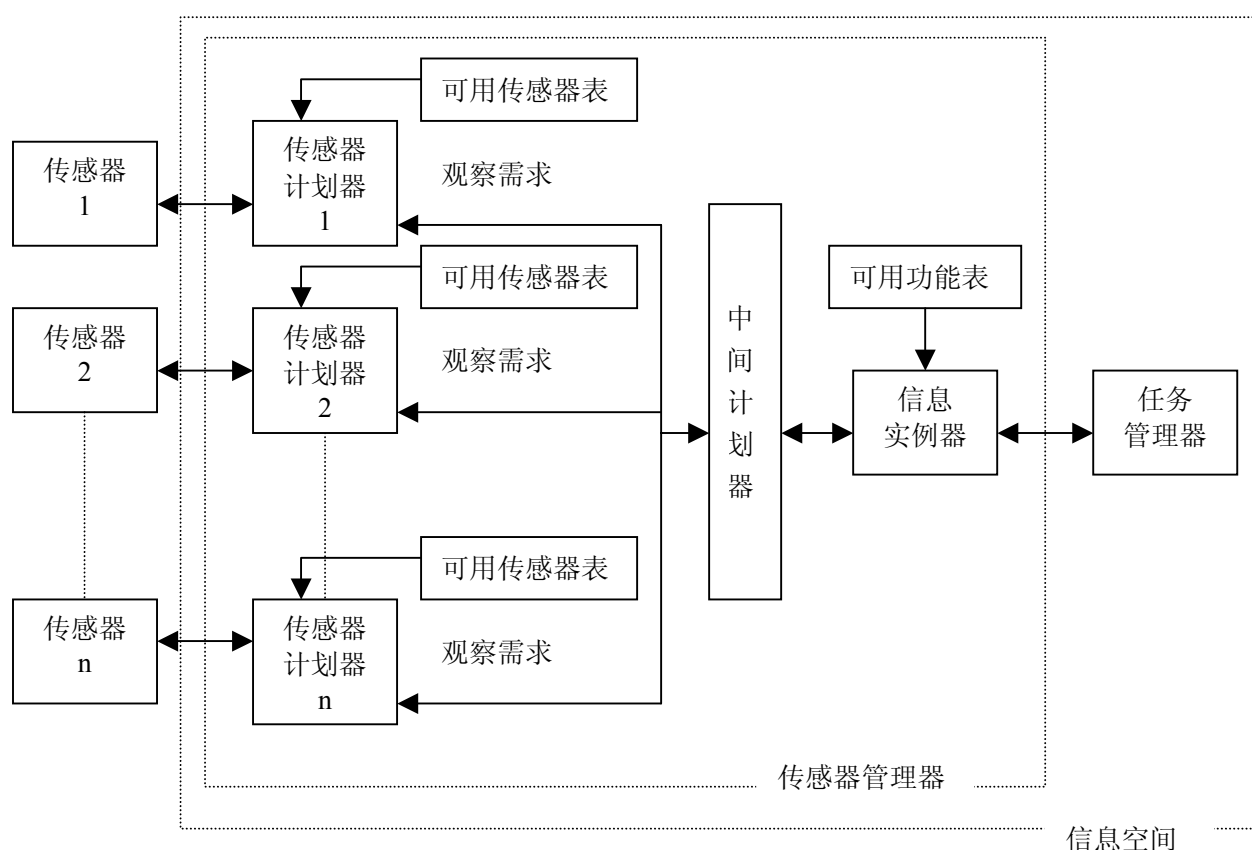


图 4.7 传感器丰富环境传感器管理系统

Fig.4.7 Sensor Management System for Sensor Rich Environment

传感器计划器成员已从基本传感器管理器中做了修改，这样它可以分布在空间上不同的子系统中，各分布单元仅执行相应子系统，使其满足信息需求。尽管传感器计划器的数量增加到几个并引入了中间计划器，但传感器管理的这一基本功能并未改变。中间计划器模块的引入，仅仅是将原来单一传感器计划器所完成的任务细化到多个子传感器管理器。中间计划器是一个分离矩阵，它将来自于信息实例器的可用功能转变到能满足信息需求的可用传感器计划器中去。中间计划器的可用功能表基本上是一个带有单独传感器计划器可用功能表的对角阵模块。矩阵并不完全是对角阵，尤其是存在伪传感器需要协调去测量数据时。也就是一个单一传感器计划器可以被细分为一些独立传感器计划

器，仅仅是当一组传感器不能满足信息需求是，需要中间计划器去进行协调。图 4.7 很容易看到由 McIntyre 和 Hintz 提出的传感器管理器功能并未改变。仅仅是扩充了传感器计划器和增加了中间计划器。然而，问题分隔的合理性仍然与 McIntyre 和 Hintz 最初研究动机有关，即它允许去分析和优化传感器管理器的每个单元，信息空间和融合空间以及应用的独立性。

4.4 小结

本章举例说明了传感器资源管理的应用。两个典型的例子分别从不同的角度和应用领域对传感器资源管理进行了阐述。以网络为中心的传感器资源管理立足于协同这一基本方式对美海军作战环境中的传感器进行管理，达到了精确和自动的数据融合。而以多传感器丰富环境的传感器资源管理则将应用于 C³I 系统中的管理模式进行了推广和扩充，使其更接近于实际需求。通过举例也充分体现了多传感器管理的实用性。

5. 传感器管理算法

5.1 引言

传感器管理在实现过程中要有一定的准则, 由此本章介绍了应用于传感器管理的各种算法。基于各种算法, 我们可以将抽象的分析化为具体的管理方法。本章的总体思路是先介绍各种算法基础, 而后将算法应用于传感器管理的实际, 有必要时要举出实例进行仿真验证。

5.2 基于效能函数的传感器管理算法^[68]

传感器管理就是利用有限的传感器资源, 满足对多个目标和扫描空间的要求, 以得到各种具体特性的最优度量值, 并以这个最优准则对传感器资源进行科学合理的分配。

传感器管理的核心问题就是依据一定的最优准则, 确定目标选择何种传感器以及该传感器的工作方式和工作参数。传感器管理的范围包括: 空间管理、模式管理和时间管理, 它由实际应用的信息需求、目标、事件的优先级等众多因素驱动。

传感器管理的功能包括: 目标排列、事件预测、传感器预测、传感器对目标的分配、空间和时间范围控制、配置和控制策略。

5.2.1 建立效能函数

首先引入传感器(伪传感器)-目标配对函数及目标优先级排序函数, 然后建立效能函数。

一、传感器(组合)-目标配对函数

定义 1 函数 $q_{ij}(x_1, x_2, \dots; y_1, y_2, \dots)$ 为一个传感器(组合)-目标的配对函数, 且满足 $\text{Max}\{q_{ij}(x_1, x_2, \dots; y_1, y_2, \dots)\}=1$ 和 $\text{Min}\{q_{ij}(x_1, x_2, \dots; y_1, y_2, \dots)\}=0$ 。

函数 $q_{ij}(x_1, x_2, \dots; y_1, y_2, \dots)$ 的参数由两部分构成, 一部分来自传感器的品质因素, 另一部分来自目标数据的概率值。

品质因素反映特定传感器对目标监测能力的侧重点不同。如对一些普通多脉冲雷达,

它对目标动力学特征的检测能力要强于对目标身份、状态方面的检测能力。

概率值指经过初步数据融合后目前对该目标已得出的一部分概率估计。如航迹滤波的协方差和目标身份、型号的初步概率估计。它反映了目前该传感器对这一目标的配对效能。

至于函数 $q_{ij}()$ 的形式很难用一个具体的数学表达式来表示。第 i 个传感器对第 j 个目标配对函数记为 $q_{ij}()$, 在量化计算时, 一个可行的方法是对照参数表直接赋值。如一部机载多脉冲雷达来说, 目标航迹滤波协方差值可由若干阈值分为若干段, 按目标当前航迹滤波协方差所处的阈值区间直接给配对函数赋值。目标航迹滤波协方差越小, 表明航迹越精确, 则对雷达的进一步需求减小, 所以配对函数的取值也应越小。对敌我识别器来说, 可简单认为身份已明的目标 $q_{ij}()=0$, 身份不明的目标 $q_{ij}()=1$ 。如何科学合理量化配对函数 $q_{ij}()$, 还有待进一步研究。

二、目标优先级函数

目标优先级建立方法在第 3 章中有详细的解释, 这里只考虑单一平台的传感器管理问题, 故采用自主式建立目标优先级。影响目标优先级排序的因素很多, 通常情况下设置目标优先级的重要因素如下所示:

- 1) 身份(ID): 根据军事目标的联系内容确定的目标身份(敌、我、不明)和类型(如战斗机、轰炸机、导弹运载工具、侦察机、运输机)是确定目标优先级的关键因素。
- 2) 信息需求(IM): 需要附加传感器信息以建立、提炼、更新被检测目标的位置和身份, 这是建立优先级的另一因素。
- 3) 威胁(TR): 每个目标对我军造成的威胁程度, 在设置目标优先级时是个被动因子。
- 4) 时机(CH): 这个因子是使用我方武器打击并摧毁目标能力的一个度量值。
- 5) 火控雷达(FR): 若数据融合系统使用的传感器同时担负火控功能, 则必须考虑与监视要求有关的那些工作的优先级。
- 6) 外部命令(EC): 主要指飞行员的直接干预。

定义 2 p_j (ID, IM, TR, CH, FR) 为一优先级排序函数, 它的取值由以上前五个因素经过适当的运算求出的优先值经排序后而获得的结果。当有外部命令(EC)作用时, 优先级

最高,取 $p_j(\cdot)=1$ 。

$p_j(\cdot)$ 函数的具体表达式不仅是个数学问题,更重要的是需要实践经验。但不管 $p_j(\cdot)$ 函数形式如何,由它确定的目标优先级应满足以下基本要求:

- 1) 已被我机武器系统锁定的敌方目标类应排在最前;
- 2) 我方武器系统已能攻击的敌方目标类应排在次一位;
- 3) 确认为敌方目标和状态不明目标类应靠后;
- 4) 我方目标类排在最后。

一个最简单也最实用的表达式就是对上述五类参数线性加权求和,即

$$p_j(\text{ID, IM, TR, CH, FR}) = \alpha \times \text{ID} + \beta \times \text{IM} + \gamma \times \text{TR} + \varepsilon \times \text{CH} + \eta \times \text{FR}$$

通过合理选取加权系数 α 、 β 、 γ 、 ε 和 η ,以满足上述四个基本要求。

三、效能函数

定义 3 任一传感器(组合) i 对任一目标 j 的效能函数 $\text{ef}_{ij}(\cdot)$:

$$\text{ef}_{ij}(p_j, q_{ij}) = \omega \times \overline{p_j}(\cdot) + \zeta \times q_{ij}(\cdot),$$

其中 $\overline{p_j}(\cdot) = 1/p_j(\cdot)$, 即目标优先级越高,其对应的效能函数值越大;目标优先级越低,其对应的效能函数值越小。而 ω 、 ζ 是两个加权系数,反映了配对和优先级对效能的影响不同。 ω 、 ζ 的具体取值有待进一步研究(仿真给出了几组加权系数的选择)。但优先级的影响一定要比配对大,这是一个基本原则。由定义知 $q_{ij}(\cdot)$ 最大值为 1,而 $\overline{p_j}(\cdot)$ 最大值也为 1,因此 $\text{ef}_{ij}(\cdot)$ 是一个小于等于 1 的正数。

5.2.2 传感器资源分配算法

考虑多传感器对多目标分配问题,即一个传感器(伪传感器)可分给多个目标,目标的数目受该传感器(伪传感器)的最大跟踪能力 t_i 约束,伪传感器由其中的最小跟踪能力决定;一个目标至少有一个(也可有多个)传感器扫描。设传感器有 m 个,其组合有 $m' - m$ 个,目标数为 n 。由 $\text{ef}_{ij}(i=1, \dots, m'; j=1, \dots, n)$ 组成效能阵 Ef , 设解矩阵为 X , 则 X 是一个 $m' \times n$ 并全由 0 或 1 组成的矩阵,其中 $x_{ij}=1$ 表示传感器 i 分配给目标 j , $x_{ij}=0$ 表示不

分配。由此得到传感器资源分配算法如下：

最优准则是综合效能最大, 即

$$E = \sum_{i=1}^{m'} \sum_{j=1}^n (e_{ij} \times x_{ij}) = \text{Max} \quad (\text{式 5.1})$$

最大跟踪能力约束为

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = t_i, \quad i=1,2,\dots,m' \quad (\text{式 5.2})$$

对目标覆盖约束(不能漏扫)为

$$\sum_{i=1}^{m'} x_{ij} \geq 1, \quad j=1,2,\dots,n \quad (\text{式 5.3})$$

根据式 5.1 至式 5.3 式, 利用已有的多种通用线性规划算法可实现快速求解。

5.2.3 一种改进的传感器资源分配算法

引入浪费函数, 对上述传感器资源分配算法进行修改。此处定义函数:

$$w_{ij}(\cdot) = \frac{q_{ij}(\cdot)}{p_j(\cdot)}$$

若 $q_{ij}(\cdot)$ 较大, 表示一定程度上传感器 i 对目标 j 的配对能力较强, 而此时若目标 j 优先级较低, 表示此时目标 j 不需要重点考虑, 而此时 $w_{ij}(\cdot)$ 的值会较大, 可见 $w_{ij}(\cdot)$ 表示一定程度上传感器 i 对目标 j 的浪费, 故称 $w_{ij}(\cdot)$ 为浪费函数。

这里改进的传感器管理算法指的是通过求出基于效能的传感器资源管理算法的结果, 找到最优解, 再找到次优解, 然后同时比较两种情况下的效能和浪费。比较的结果就是: 如果效能差不多, 则取浪费较少的方案; 如果效能相差甚多, 则取效能较大的方案。

5.3 结合浪费函数的多传感器管理算法

随着数据融合系统的不断完善, 多传感器管理子系统作为数据融合系统的重要组成部分, 逐渐地被分离出来独立进行研究。最早由 Nash 提出基于线性规划的多传感器管

理算法，之后线性规划在多传感器管理中的应用不断完善。本文在引文[67]定义的效能函数作为目标函数的基础之上，通过重新定义浪费函数，将效能和浪费结合作为基于线性规划的多传感器管理的目标函数，使该方法更简捷高效。

5.3.1 改进的浪费函数

此处对 5.2.3 的浪费函数进行改进，定义如下：

$$w_{ij}(\cdot) = \frac{\xi \times q_{ij}(\cdot)}{\omega \times \overline{p_j}(\cdot)}$$

在前人定义的浪费函数 $w_{ij}(\cdot)$ 基础之上，在 $\overline{p_j}(\cdot)$ 、 $q_{ij}(\cdot)$ 前乘权系数 ω 、 ξ 表示他们实际在效能函数中所占的比例，由此更能反映浪费程度。

5.3.2 效能函数结合浪费函数的线性规划算法

一、基于效能函数算法

设单传感器有 m 个，伪传感器有 $m' - m$ 个，目标个数为 n 。则 $e_{ij}(\cdot)$ ($i=1, 2, \dots, m'$, $j=1, 2, \dots, n$) 表示一个 $m' \times n$ 的效能矩阵。设解矩阵为 X ，它由 0 或 1 组成， $x_{ij}=1$ 代表传感器 i 分配给目标 j ； $x_{ij}=0$ 表示传感器 i 不分配给目标 j 。

基于效能函数的线性规划标准型为：

$$E = \sum_{i=1}^{m'} \sum_{j=1}^n (e_{ij} \times x_{ij}) = \text{Max} \quad (\text{综合效能最大})$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = t_i, \quad i=1, 2, \dots, m' \quad (\text{传感器最大跟踪能力约束})$$

$$\sum_{i=1}^{m'} x_{ij} \geq 1, \quad j=1, 2, \dots, n \quad (\text{传感器对目标覆盖约束})$$

二、结合浪费函数的算法

在基于效能函数的线性规划算法基础之上，再加上下面的式子便构成效能结合浪费的线性规划多传感器管理算法。

$$W = \sum_{i=1}^{m'} \sum_{j=1}^n (w_{ij} \times x_{ij})$$

此处的 x_{ij} 是效能优化中满足要求的解矩阵。单独由效能给出多传感器管理分配方法会造成传感器资源的浪费，不利于传感器资源的有效利用，由此引入浪费值。在效能函数的定义中提到 ω 、 ξ 两个权值，它们在满足一定条件下变化时会得到一系列效能值（E 值），而此时对应状态下的浪费值（W 值）并不相同。由此提出定 ω 、 ξ 两个权值的大小问题，由于它们涉及到效能值和浪费值的大小，我们在保证效能最高的情况下要求兼顾浪费。这时取满足条件的 ω 、 ξ 值下的一系列浪费值的平均值作为所希望的浪费，因为在权值 ω 、 ξ 变化时，效能和浪费基本成单调递减变化，当然并不是严格的关系，同时浪费值的变化比效能值要快，所以考虑取浪费的期望处的权值 ω 、 ξ 作为定效能时对应的权值。

5.3.3 仿真举例

一、任务设定

设装备有数据融合系统的战斗机处于临战状态，机载传感器有三种，传感器 1 为敌我识别器，传感器 2 为合成孔径雷达和传感器 3 为前视红外雷达；同时三个传感器协同工作可以锁定目标，另外各传感器的最大跟踪能力为 4。从某一时刻起，10 个目标进入该战斗机作战空域，各目标类型如表 1：

表 5.1 目标类型

Tab. 5.1 Target type

目标	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
类型	友 机		敌 战 斗 机						敌轰炸机	

该战斗机应首先识别出友机 A 和 B，而后对其他飞机进行相关处理，达到一定精度后锁定目标并攻击。根据任务要求和作战需要，多传感器管理部分要对重点目标回扫，回扫时间应在规定范围内。仿真结果要满足如下要求：第一次回扫，定出 ω 、 ξ 的值，传感器 1 回扫目标 A 和 B，识别出友机。再进入第二次回扫，威胁最大的敌机同时被三

个传感器回扫并锁定，下一步受到攻击。

二、仿真结果^[69]

首先给出由数据融合系统和直接赋值的多传感器管理系统的初始相关数据，如表 5.2 所示。

由原始数据可以通过改变权值得到对应的效能和浪费，如表 5.3 所示。

由表 5.3 的 W 值取平均值，即为 11.3432，此时对应的 $\omega=0.67$ ， $\xi=0.33$ 。再由权值定效能为 7.0148。这时便得到理想的优先考虑效能又兼顾浪费的传感器管理结果，如图 5.1 所示。

表 5.2 第一次回扫初始数据

Tab. 5.2 The 1st initial data taken

	目标	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
优先 级因 素量 化值	虑波协方 差	0.954	0.965	0.984	0.984	0.985	0.974	0.952	0.911	0.952	0.965
	身份信息	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	目标锁定	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	武器状态	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	类型信息	0.853	0.884	0.734	0.808	0.641	0.707	0.735	0.734	0.799	0.801
配对 值	传感器 1	0.745	0.846	0.635	0.654	0.845	0.745	0.652	0.698	0.868	0.741
	传感器 2	0.584	0.654	0.568	0.712	0.499	0.563	0.542	0.654	0.785	0.784
	传感器 3	0.754	0.658	0.548	0.654	0.589	0.654	0.711	0.566	0.633	0.756

表 5.3 对应权值的效能浪费表

Tab. 5.3 The efficiency and waste of the right

ω 值	0.9000	0.8000	0.7000	0.6000	0.5000
E 值	6.4792	6.7084	6.9407	7.1876	7.4363
W 值	2.3898	5.3770	9.8074	15.2560	23.8860

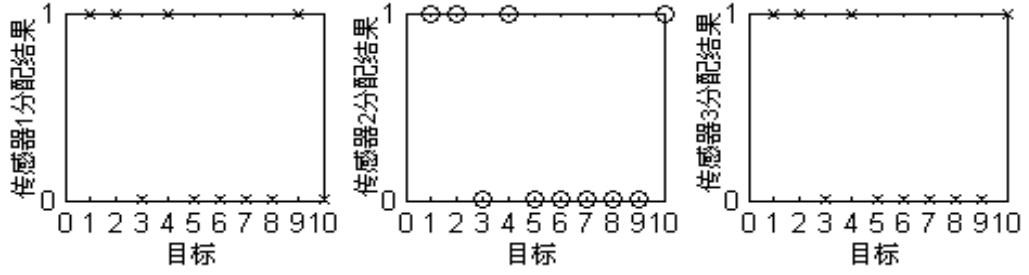


图 5.1 第一次回扫 $\omega=0.33$, $\xi=0.67$ 时的分配结果

Fig.5.1 Allocating result of the 1st scanning

通过仿真，我们看到重新定义浪费函数有效地确定了权值，由此而定出了兼顾浪费的效能，避免了以前相关文章的人为指定权值。仿真结果完全满足任务第一步的要求，即：传感器 1 对目标 A 和 B 的回扫，同时对其他 8 架飞机进行了航迹滤波和身份型号识别。

5.4 基于分辨力增量的传感器管理算法

分辨力（即混合熵）是信息的度量，可以用来衡量信息的多少。甚至可以作为一种信息距离来衡量两个函数的近似程度。本章利用分辨力求取跟踪系统的目标函数，再加上传感器资源的约束条件，利用线性规划对目标跟踪中的传感器资源进行了分配。

5.4.1 分辨力函数

设一有限离散集合，其元素 $t(t=0, \dots, T)$ 互斥。 $p(t)$ 和 $q(t)$ 是关于 t 的两个概率分布，则 $p(t)$ 和 $q(t)$ 间的分辨力（也称混合熵）定义为：

$$D(p(t); q(t)) = \sum_{t=0}^T p(t) \log(p(t)/q(t)) \quad (\text{式 } 5.4)$$

这种分辨力也称作 Kullback-Leiber 信息。分辨力本身就是一种信息度量。这是由于 $q(t)$ 为任一目标取状态 t 的先验概率，而 $p(t)$ 为任一目标依据量测取状态 t 的后验概率。若 $p(t) = q(t)$ ，则 $D(p(t); q(t)) = 0$ ，表示测量没有带来任何新信息。若 $D(p(t); q(t)) \neq 0$ ，

说明量测带来了新信息。一般来说，后验概率不应小于先验概率，因此 $D(p(t); q(t)) \geq 0$ 。

所以 $D(p(t); q(t))$ 可以作为一种信息度量。在传感器管理中，通过计算检测单元 c 在第 k 次量测的 D_k 和 $k+1$ 次量测前其分辨力预测值 $E(D_{k+1/k})$ ， $E(D_{k+1/k})$ 越大对应的目标更需要传感器对它作进一步量测；反之，这次量测将为系统增加最大的信息量，这就是传感器资源优化的原则。

5.4.2 一种多目标跟踪的传感器分配方法

这里讨论在一个多传感器多目标监视系统中，传感器资源的分配问题。在给定最优目标函数及传感器能力约束的前提下，使得传感器对目标实现最优分配。采用的方法是：对所有传感器与目标的配对 s, t ，当传感器 s 对目标 t 进行量测更新后，就可以计算目标 t 所获取的信息增量。但在传感器管理中需要事先预测这个信息增量，然后选择信息增量最大目标进行量测更新。而 Kalman 滤波器的误差协方差阵的外推形式刚好解决这问题。结合线性规划，在全局信息增量最大化且满足传感器能力约束的条件下，产生传感器对目标的特定分配。

考虑 S 个传感器、 T 个目标的跟踪问题。假设状态向量 \mathbf{x} 的密度函数为 $p(\mathbf{x})$ ，如果目标状态向量 \mathbf{x} 被一个传感器观测，对应的概率密度函数为 $p_1(\mathbf{x})$ ；如果目标未被观测，对应的概率密度函数为 $p_0(\mathbf{x})$ 。则信息增量 G 为：

$$G = D(p_1, q) - D(p_0, q) \quad (\text{式 5.5})$$

此处的 q 是先验概率密度函数 $q(\mathbf{x})$ 的值。

基于分辨力的传感器资源分配线性规划为：

目标函数：

$$\text{Max} C = \sum_{s=1}^{2^S-1} \sum_{t=1}^T G_{st} x_{st} \quad (\text{式 5.6})$$

约束条件：

$$\sum_{s=1}^{2^S-1} x_{st} \leq 1 \quad t=1, \dots, T \quad (\text{式 5.7})$$

$$\sum_{s \in J(k)} \sum_{t=1}^T x_{st} \leq \tau_k \quad k=1, \dots, S \quad (\text{式 5.8})$$

$$x_{st} \geq 0 \quad \text{对所有的配对 } s、t \quad (\text{式 5.9})$$

其中 G_{st} 是传感器 s 分配给目标 t 所获取的信息增量； $x_{st}=0$ 或 1 ， $x_{st}=1$ 表示传感器 s 分配给目标 t ， $x_{st}=0$ 表示传感器 s 没有分配给目标 t ； $J(k)$ 是由传感器 k 与包含传感器 k 的伪传感器的编号共同组成的整数集合； τ_k 是基本传感器 k 的最大跟踪能力。

5.5 小结

本章讨论了线性规划在传感器管理中的应用。首先得到基于效能函数的传感器管理算法，然后对它进行了改进构造了新的浪费函数，使浪费函数与效能函数密切联系，将效能和浪费结合作为线性规划的目标函数，完善了基于效能的传感器管理算法。最后引入了分辨力的概念，在分辨力基础之上又得到了传感器管理的线性规划描述。

6. 传感器管理算法分析和比较

6.1 引言

当前应用于传感器管理的理论比较多,如:效用论、信息论、决策论、线性规划、动态规划、模糊集合论、群论、人工神经网络、专家系统等。各种理论的传感器管理算法着眼点不同,应用背景不同,这样就有必要对算法进行评价。但要比较的算法首先要有可比性,然后才能具体地加以比较。本章将基于效能函数的传感器管理算法和效能结合浪费的传感器管理算法进行分析比较,接着这两种算法与基于分辨力的传感器管理算法作了比较。最后把传感器管理算法的评价统一起来,提出了基于有限集合统计的传感器管理算法评价方法。

6.2 基于效能函数和效能结合浪费的传感器管理算法比较

6.2.1 理论比较

基于效能函数的传感器管理算法基本过程。所谓的效能函数是指传感器对目标的效能度量函数,它由目标优先级函数和传感器与目标配对函数组成。目标优先级函数,其实是按照一定的准则将决定目标优先级的各因素(例如:目标身份、目标威胁、确定目标信息需求等)综合而后定出目标优先级次序。目标优先级的建立一般有两种方法,一种是自主建立优先级,指目标由中心数据融合系统或单个多传感器平台观测;另一种是协调建立优先级,这是指两个或两个以上的多传感器平台监测同一目标集合体时,需要首先考虑各平台的协调,统一排列目标和分配传感器,而后在按照自主建立优先级的方法将目标进行优先级处理。传感器与目标配对函数主要由两部分决定即传感器的品质因素和目标数据的概率值。传感器的品质因素反映特定传感器对目标监测能力的侧重点不同;而目标数据的概率值指经过初步数据融合后目前对该目标已得出的一部分概率估计。然后将目标优先级函数和传感器与目标配对函数加权组合便得到传感器对目标的效能。最后采用线性规划方法把所有传感器(包括伪传感器)与所有目标的效能综合,构成目标函数,再加上传感器跟踪目标的最大能力约束条件和目标要求传感器覆盖的约束条件这就是基于效能的传感器管理算法。

效能结合浪费的传感器管理算法基本过程。这种方法与前面的算法思路基本相同。只是在目标函数中加入了浪费指标,所谓的浪费函数反映的是在所有传感器(包括伪传感器)和目标情况下,按照一定原则确定目标优先级及传感器-目标配对后,整个系统传感器资源的浪费程度。同时浪费函数指标在目标函数中发挥作用要受到传感器对目标效能这一条件优先的制约,也就是只有在达到战斗任务要求的范围内最大限度地减小浪费。

两种算法有相似点也有不同的地方。基于效能函数的传感器管理算法是效能结合浪费的算法的基础,因此二者在理论基础和算法实现形式上是一致的,但实现过程不同,后者是前者的完善。效能结合浪费的传感器管理算法是在基于效能的传感器管理算法基础之上经过重新定义的浪费函数,将效能和浪费通过权重相互关联,使得在传感器资源管理时注重效能的前提下同时也兼顾了浪费。

6.2.2 仿真举例比较

两种算法在同一实例下分析比较,沿用 5.3 节中的例子,仿真方案和任务设定以及第一次扫描的初始数据在 5.3 节中已经给出。

首先,给出基于效能函数的一种改进的传感器资源管理算法的仿真结果。表 6.1 至表 6.3 为这一传感器资源管理算法第一次回扫的仿真。可以看出,目标 A 和 B 均被传感器 1 回扫,符合设定的第一次回扫的任务要求。从这三个表中可以看出取 $\omega=2/3$, $\xi=1/3$ 较为合适,此时既能兼顾效能又能兼顾浪费。

下面进一步给出上述传感器管理算法第二次扫描的初始数据和相应的仿真结果。其中表 6.4 为第二次扫描的初始数据,此时 A、B、D 和 I 的身份信息均为 0,这是因为第一次回扫中被传感器 1(它可以识别敌我)回扫的原因。而被传感器 2 和传感器 3 回扫的目标的滤波协方差和型号信息的数值都有所减少。由表 6.5 至表 6.7 比较可以看出,同样取 $\omega=2/3$, $\xi=1/3$ 较为合适。

表 6.1 第一次回扫 $\omega=2/3$, $\xi=1/3$ 时的分配结果

Tab.6.1 Allocating result of the 1st scanning at $\omega=2/3$, $\xi=1/3$

E=7.0043 W=22.81400										
传感器 \ 目标	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
传感器 1	√	√		√					√	
传感器 2	√	√		√						√
传感器 3	√	√		√						√

表 6.2 第一次回扫 $\omega=1/2$, $\xi=1/2$ 时的分配结果

Tab.6.2 Allocating result of the 1st scanning at $\omega=1/2$, $\xi=1/2$

E=7.41890 W=23.81600										
传感器 \ 目标	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
传感器 1	√	√							√	√
传感器 2	√	√		√						√
传感器 3	√	√		√						√

表 6.3 第一次回扫 $\omega=4/5$, $\xi=1/5$ 时的分配结果

Tab.6.3 Allocating result of the 1st scanning at $\omega=4/5$, $\xi=1/5$

E=6.70150 W=21.43800										
传感器 \ 目标	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
传感器 1	√	√		√						√
传感器 2	√	√		√						√
传感器 3	√	√		√						√

表 6.4 第二次回扫初始数据
Tab. 6.4 The 2st initial data taken

	目标	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
优先 级因 素量 化值	虑波协方 差	0.752	0.751	0.954	0.751	0.965	0.955	0.942	0.901	0.942	0.945
	身份信息	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1
	目标锁定	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	武器状态	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	类型信息	0.101	0.106	0.714	0.708	0.640	0.607	0.725	0.724	0.789	0.709
配对 值	传感器 1	0.100	0.101	0.645	0.201	0.847	0.755	0.682	0.701	0.166	0.847
	传感器 2	0.205	0.206	0.668	0.612	0.699	0.583	0.564	0.684	0.768	0.788
	传感器 3	0.125	0.146	0.648	0.614	0.599	0.684	0.721	0.586	0.643	0.766

表 6.5 第二次回扫 $\omega=2/3$, $\xi=1/3$ 时的分配结果

Tab.6.5 Allocating result of the 2st scanning at $\omega=2/3$, $\xi=1/3$

E=6.94180 W=22.42300										
传感器 \ 目标	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
传感器 1			√		√		√			√
传感器 2			√				√	√		√
传感器 3			√				√	√		√

表 6.6 第二次回扫 $\omega=1/2$, $\xi=1/2$ 时的分配结果

Tab.6.6 Allocating result of the 2st scanning at $\omega=1/2$, $\xi=1/2$

E=7.33040 W=22.17300										
传感器 \ 目标	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
传感器 1			√		√		√			√
传感器 2			√				√	√		√
传感器 3			√			√	√			√

表 6.7 第一次回扫 $\omega=4/5$ ， $\xi=1/5$ 时的分配结果

Tab.6. 7 Allocating result of the 2st scanning at $\omega=4/5$ ， $\xi=1/5$

E=6. 70150 W=21. 43800										
传感器 \ 目标	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
传感器 1			√				√	√		√
传感器 2			√				√	√		√
传感器 3			√				√	√		√

其次，给出在同一例子下效能结合浪费的传感器资源管理算法的仿真结果：

第一次回扫时的仿真结果在 5.3 节中已经给出并进行了说明。第二次回扫的仿真结果如表 6.8 所示。

表 6.8 对应权值的效能浪费表

Tab. 6. 8 The efficiency and waste of the right

ω 值	0. 9000	0. 8000	0. 7000	0. 6000	0. 5000
E 值	6. 4550	6. 6600	6. 8738	7. 0984	7. 3303
W 值	2. 3313	5. 2455	9. 6056	14. 9420	24. 1730

由表 6.8 的浪费 W 值取平均值，即为 11. 2595，此时对应的 $\omega=0. 67$ ， $\xi=0. 33$ 。再由权值定效能为 6. 9412。这时便得到理想的优先考虑效能又兼顾浪费的传感器管理结果，如图 6. 1 所示。

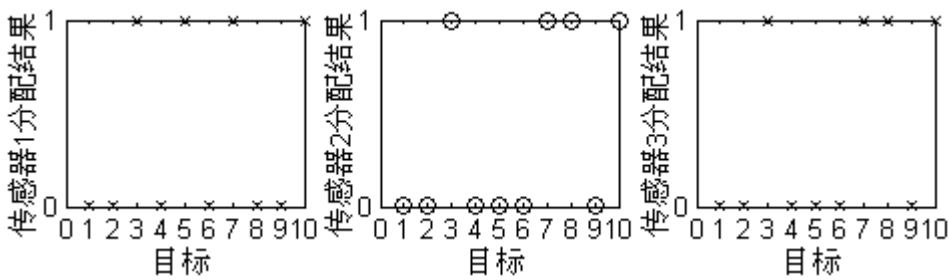


图 6.1 第二次回扫 $\omega=0. 67$ ， $\xi=0. 33$ 时的分配结果

Fig. 6. 1 Allocating result of the 2st scanning

最后，仿真结果分析比较说明：

第一，第一种算法通过人为指定 ω 和 ξ ，而后比较不同值下的效能和浪费，最后

得到分配结果；而第二种算法是在 ω 和 ξ 一系列变化之后，通过效能和浪费之间的内在关系，找出浪费的平均值再返回定出 ω 和 ξ ，由此 ω 和 ξ 得到对应的效能，此时便也得到了分配结果。

第二，两种算法的最大不同在于浪费函数的区别上。第一种算法的浪费函数为：

$$w_{ij}(\cdot) = \frac{q_{ij}(\cdot)}{p_j(\cdot)}, \quad \text{第二种算法的浪费函数为: } w_{ij}(\cdot) = \frac{\xi \times q_{ij}(\cdot)}{\omega \times p_j(\cdot)}.$$

考虑浪费是相对于效能而言的，在原有浪费函数的分子和分母上分别乘以对应的权系数，这是因为效能函数为： $ef_{ij}(p_j, q_{ij}) = \omega \times p_j(\cdot) + \xi \times q_{ij}(\cdot)$ ，既然是浪费那么就考虑优先级函数和配对函数而不考虑它们在效能函数中的比重这是不合理的，也没有完全反映两者在效能函数中的真正比例就直接引入到浪费中，因此，改进浪费函数，加入权重。

第三，图示给出两种算法的效能和浪费与对应的权重 ω 曲线。第一种算法在两次回扫时的变化曲线，如图 6.2、图 6.3 所示；第二种算法在两次回扫时的变化曲线，如图 6.4、图 6.5。

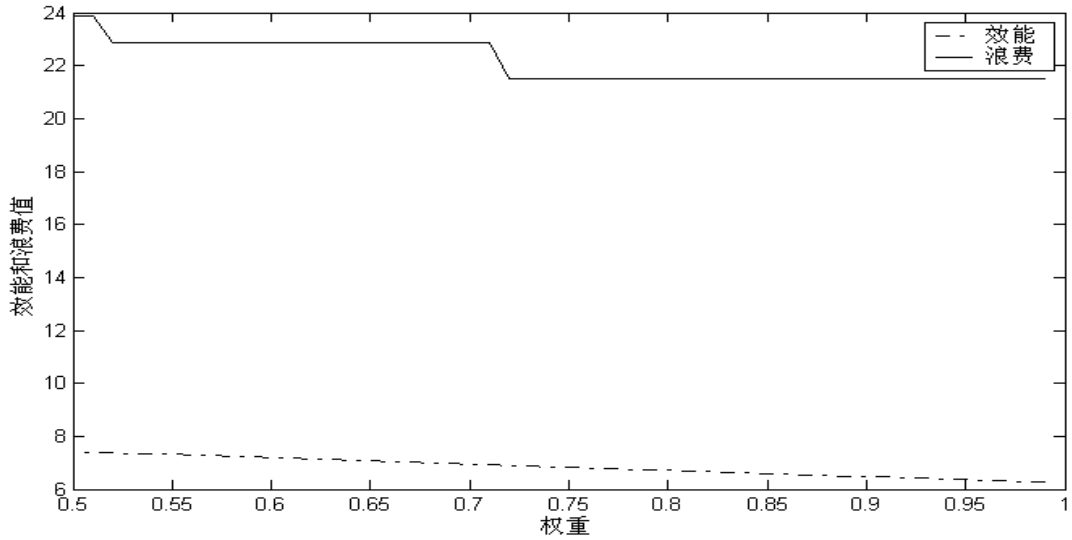


图 6.2 第一种算法第一次回扫效能浪费变化曲线

Fig.6.2 The first scanning efficiency and waste varying curve of the first algorithm

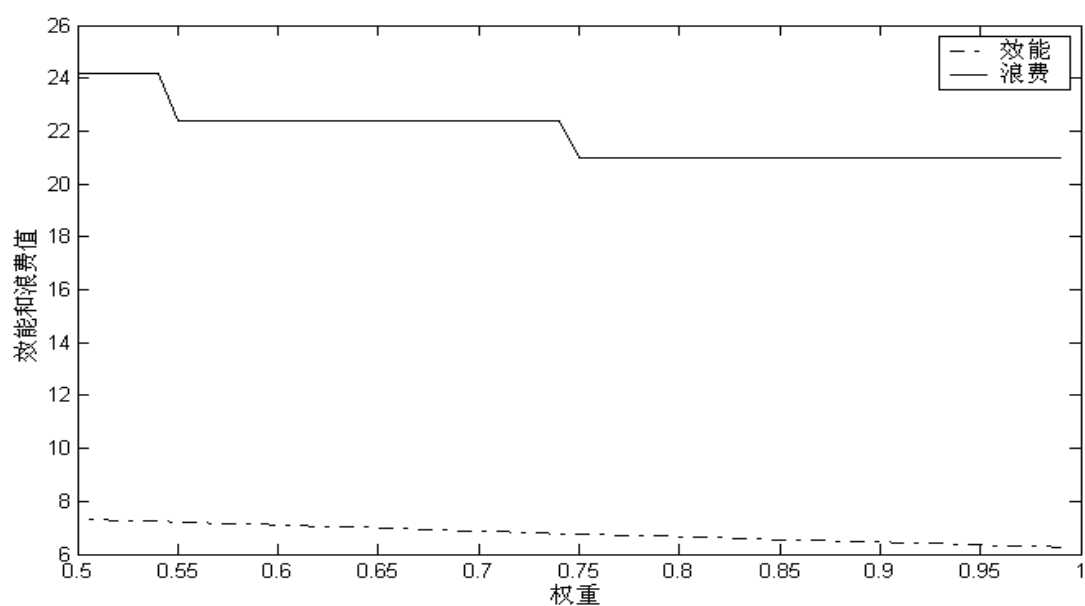


图 6.3 第一种算法第二次回扫效能浪费变化曲线

Fig.6.3 The second scanning efficiency and waste varying curve of the first algorithm

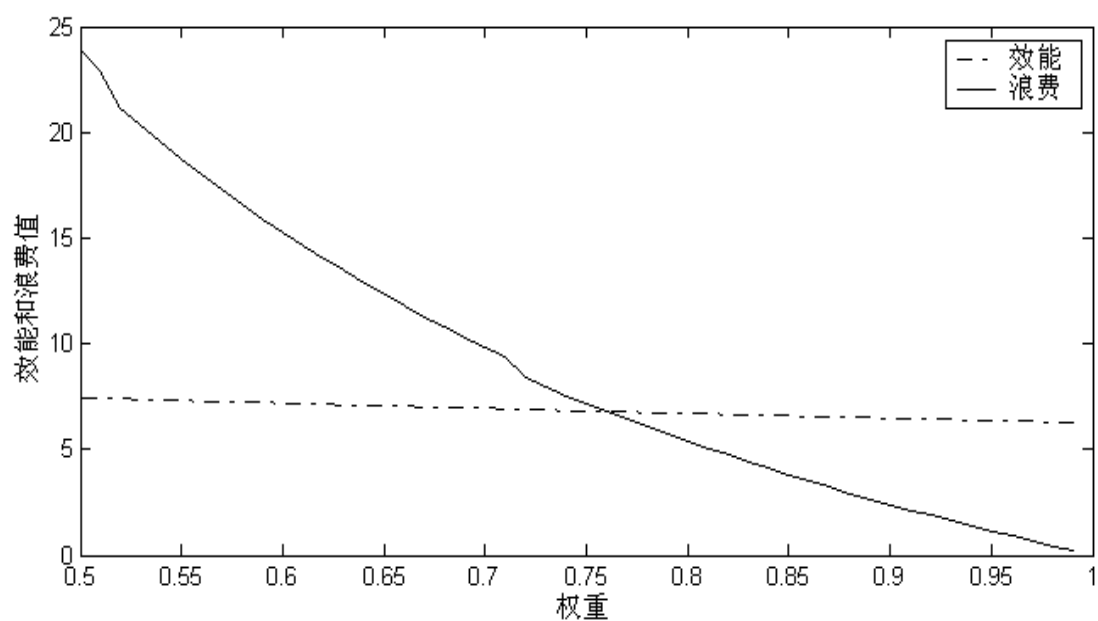


图 6.4 第二种算法第一次回扫效能浪费变化曲线

Fig.6.4 The first scanning efficiency and waste varying curve of the second algorithm

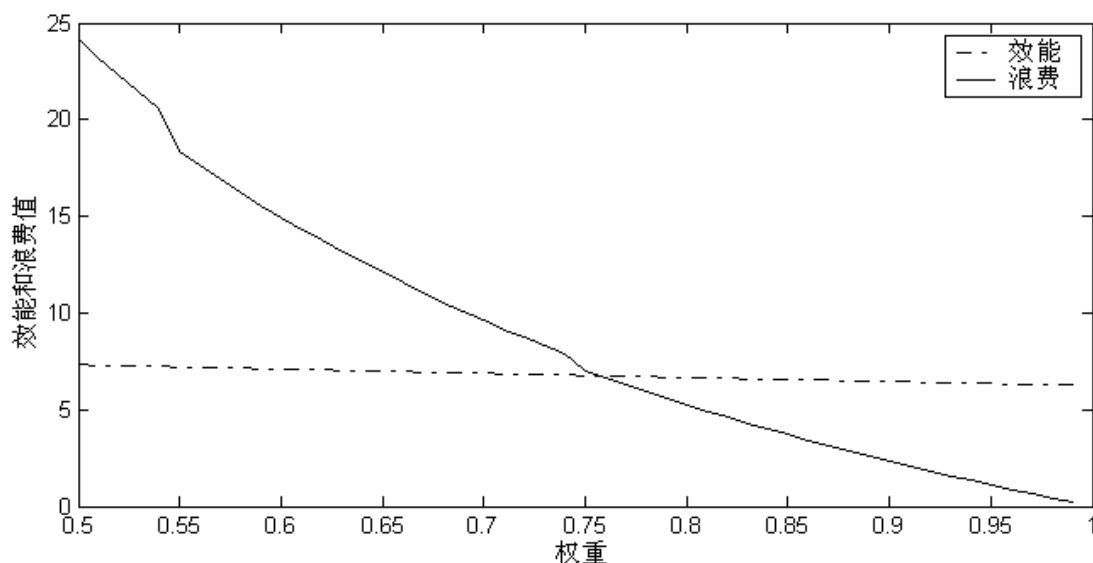


图 6.5 第二种算法第二次回扫效能浪费变化曲线

Fig.6.5 The second scanning efficiency and waste varying curve of the second algorithm

从图中可以看出：

1、两种算法对应的效能曲线基本相同，这是在理论分析中得到的，事实确实如此，因为两种算法的效能函数不变。

2、第一种算法两次回扫的浪费曲线有两点不足：一是浪费曲线随权重的变化不明确，图 6.2 和图 6.3 显示的结果看出在较大一段权重变化范围内浪费基本不变化。二是浪费是相对与效能而言的，但浪费的变化与效能的变化不对应，体现在效能不断的平稳的变而浪费保持不变。

3、图中显示第二种算法与第一种算法的浪费曲线比较更为合理一些。图 6.4 和图 6.5 中浪费和效能随着权重 ω 的增大在持续减小，但浪费的减小要快于效能，这正反映出重新定义的浪费函数的合理性。

4、在第二种算法中采用浪费权重 ω 随变化的平均值作为定权重 ω 的原因：效能的变化基本比较缓慢而浪费则较为快，那么在满足效能优先的前提下考虑将浪费减小到恰当的程度这便成为可能；在前面的分析中也可看出第二种算法的结果与第一种算法人为经验的结果基本吻合。

6.3 基于分辨力传感器管理算法与前两种算法比较

6.3.1 理论比较

基于效能函数的传感器管理算法和基本效能结合浪费的传感器管理算法两者在算法思路上基本相同，而基于分辨力的传感器资源管理算法在目标函数的定义与它们完全不同。

基于分辨力的传感器管理算法是在分辨力的基础之上利用 Kalman 滤波器计算出每一个给定的传感器与目标配对的更新协方差即：信息增量，而后构造目标函数，使信息增量最大，最终使用线性规划得到传感器资源分配结果。

三种算法的共同点在于：都采用了线性规划最后得到分配结果。

另外，三种算法比较来看，基于分辨力的传感器管理算法更科学客观精确。因为基于效能函数的传感器资源管理算法中，传感器与目标配对函数很难用一个具体的数学表达式来表示，在定量计算时，一般都对照参数表直接赋值，该算法在定义效能函数时便存在了误差，而基于分辨力的传感器管理算法初始数据可以通过融合系统直接得到，避免了许多不确定因素。

在 5.2 节的传感器管理算法中，首先要计算优先级排序和配对函数，而后得到效能函数，最后加上传感器与目标约束条件，构成线性规划来分配传感器资源。在 5.3 节的仿真例子中可见基于分辨力的传感器管理算法在给定初始数据之后分别计算出对应概率密度函数的已观测和未观测的分辨力之后，得到信息增量，由信息增量构成目标函数，最终加上约束条件，由线性规划方法得到传感器分配结果。

6.3.2 算例仿真

运用基于分辨力的传感器资源管理方法基础理论，举出如下的例子。设基本传感器为 3 个，目标为 5 个。为便于计算，设 5 个目标状态向量是一维的，其运动方程如下：

$$x_t(k+1) = x_t(k) + w_t(k) \quad t = 1, \dots, 5 \quad (\text{式 6.1})$$

$$z_t(k) = x_t(k) + v_t(k) \quad t = 1, \dots, 5 \quad (\text{式 6.2})$$

给出以下初始值：

5 个目标的初始协方差阵： $P = (0.5, 0.4, 0.35, 0.3, 0.45)$

3 个传感器量测噪声的协方差阵： $R = (0.25, 0.18, 0.35)$

过程噪声协方差阵： $Q = (0.2, 0.2, 0.2, 0.2, 0.2)$

下面计算传感器个数。基本传感器为 3 个，则传感器总数（包括伪传感器）为： $2^3-1=7$ 个，分别表示为 $S_i(i=1,\dots,7)$ ，其中伪传感器为： $S_4=\{S_1,S_2\}$ ， $S_5=\{S_1,S_3\}$ ， $S_6=\{S_2,S_3\}$ 和 $S_7=\{S_1,S_2,S_3\}$ 。整数集合 $J(k)$ 中元素为 $2^{3-1}=4$ 个， $J(1)=\{1,4,5,7\}$ ， $J(2)=\{2,4,6,7\}$ ， $J(3)=\{3,4,5,7\}$ 。

传感器 s 分配给目标 t ，产生信息增量为：

$$G_{st} = \frac{1}{2} \ln \left[\frac{|P_t(k+1|k)|}{|P_t(k+1|k+1)|} \right] \quad (\text{式 6.3})$$

其中 $P_t(k+1/k) = P_t(k/k) + Q_t(k/k)$ 表示目标未被观测时的协方差阵；

$P_t(k+1/k+1) = [P_t(k/k) + Q_t(k/k)]^{-1} + R_s^{-1}(k)$ 表示目标被传感器观测后的更新协方差阵。

表 6.9 传感器对目标信息增量阵

Tab.6.9 The extended matrix of sensor to target information

传感器 目标	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7
T_1	1.3350	1.5870	1.0986	2.0398	1.7579	1.9299	2.2710
T_2	1.2238	1.4663	0.9985	1.9071	1.6320	1.7997	2.1339
T_3	1.1632	1.4001	0.9445	1.8335	1.5626	1.7276	2.0576
T_4	1.0986	1.3291	0.8873	1.7540	1.4881	1.6499	1.9750
T_5	1.2809	1.5285	1.0498	1.9756	1.6969	1.8669	2.2048

若给出 3 个传感器的最大跟踪能力都为 2，即： $\tau_i=2(i=1,2,3)$ 对应传感器 S_1, S_2, S_3 ），则传感器对目标最优分配结果如表 6.10 所示；若 3 个传感器最大跟踪能力为： $\tau_i=2$ ； $\tau_i=1$ ， $\tau_i=1$ ，分配结果又如表 6.11 所示；若 3 个传感器最大跟踪能力为： $\tau_i=1$ ； $\tau_i=2$ ， $\tau_i=1$ ，分配结果又如表 6.12 所示。

表 6. 10 对应 τ_i 的目标分配结果

Tab.6.10 The allocation results of the τ_i

<div>传感器 目标</div>	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇
T ₁					√		
T ₂		√					
T ₃	√						
T ₄			√				
T ₅		√					
不同的 τ_i	2	2	2				

表 6. 11 对应 τ_i 的目标分配结果

Tab.6.11 The allocation results of the τ_i

<div>传感器 目标</div>	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇
T ₁		√					
T ₂	√						
T ₃			√				
T ₄							
T ₅	√						
不同的 τ_i	2	1	1				

表 6.12 对应 τ_i 的目标分配结果

Tab.6.12 The allocation results of the τ_i

传感器 目标	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7
T_1		√					
T_2	√						
T_3			√				
T_4							
T_5		√					
不同的 τ_i	1	2	1				

6.4 多传感器资源管理算法评价^[70-73]

6.4.1 多传感器多目标系统信息描述

构造和计算信息必须考虑几个要素：

- (1) 定义系统的“状态”；
- (2) 定义描述系统状态的概率分布；
- (3) 基于概率分布，计算定义的信息或信息熵

设先验分布为 q ，则先验信息熵： $H(q) = -\sum_i q_i \log(q_i)$ ，经过观测后其后验分布为 p ，

则后验信息熵为： $H(p) = -\sum_i p_i \log(p_i)$ ，观测前后信息增量为： $I = H(p) - H(q)$ 。

信息还可以用另一种度量形式—混合熵或分辨力描述：

$$I(p, q) = \sum_i p_i \log \left[\frac{p_i}{q_i} \right]$$

这种度量方法实际上就是一种“信息距离”，表示 p 与 q 的差异程度。

设连续状态向量为 $x = (x_1, \dots, x_n)$ ，在某一给定时刻，系统的信息由对应时刻状态的概率密度 $f(x)$ 确定。 $f(x)$ 对于状态的某个概率密度 $g(x)$ 的信息变化，可以用混合熵的连续形式表示：

$$I(f, g) = \int f(x) \log \left[\frac{f(x)}{g(x)} \right] dx$$

其中积分时针对所有可能目标状态的求和。

由此看出，对多目标系统定义信息必须具备以下条件：

- (1) 对多目标系统，唯一地定义所有可能状态 s ；
- (2) 在多目标的状态上，确定两个全局概率分布——现在概率分布（后验）和相比较的概率分布（先验），即 $f(s)$ 和 $g(s)$ ；
- (3) 定义一个信息表示形式：

$$I(f; g) = \int_s f(s) \log \left[\frac{f(s)}{g(s)} \right] ds$$

为此需要解决如下问题：

- (1) 定义一个多目标问题的状态；
- (2) 在多目标状态上定义概率分布 f 和 g ；
- (3) 构造表示算法输出的多目标后验概率分布 f ；
- (4) 对所有可能的多目标状态积分。

引入有限集合统计，这样对多目标系统进行描述：

- (1) 多目标状态由有限集合构成，集合的元素是普通（即单一目标）的状态，即： $x = \{(x_1, c_1), \dots, (x_n, c_n)\}$ 。其中 x_i 表示连续状态向量， c_i 表示离散状态向量。
- (2) 对多目标系统的认识由定义在有限集合上的全局（即多目标）后验概率分布表示，即：

$$f(\{(x_1, c_1), \dots, (x_n, c_n)\} | z) = n! f_{c_1, \dots, c_n}^n(x_1, \dots, x_n | z)$$

其中等式左、右两边是这一概率分布的两个等价表示。

- (3) 对整个有限集合利用集合积分可定义信息度量形式：

$$I(f; g) = \int f(x) \log \left[\frac{f(x)}{g(x)} \right] \delta x$$

6.4.2 多传感器多目标有限集合统计定义

一、全局后验分布

假设有一套传感器（可以认为是一个“全局传感器”）从一组未知数目的目标（可以认为是一个“全局目标”）获得量测。设“全局参数” $X = \{\zeta_1, \dots, \zeta_n\}$ 是 n 个目标参数 ζ_1, \dots, ζ_n 的集合，其中 $\zeta_j = (\mathbf{x}_j, \mathbf{v}_j)$ ， \mathbf{x}_j 是第 j 个目标的连续状态变量， \mathbf{v}_j 是第 j 个目标的离散状态变量（如目标类型等）。设“全局观测” $Z = \{\zeta_1, \dots, \zeta_n\}$ 是由这些传感器所获得的一个观测集合，其中 $\zeta_i = (\mathbf{z}_i, \mu_i)$ ， \mathbf{z}_i 是第 i 个传感器的连续量测变量， μ_i 是第 i 个传感器的离散量测变量。一般来说这些传感器的量测空间是不同的，不失一般性，可以假设 $\mathbf{z}_i \in R^n$ 、 $\mu_i \in U$ （ U 为有限集合），所有量测形式均为 (\mathbf{z}_i, μ_i) 。一般来说， Z 是随机变化有限观测子集合（记为 Σ ）的一个具体结果。 Σ 的统计特性由其置信度来描述，置信度定义为^[51] $\beta_\Sigma(S|X) \triangleq P(\Sigma \subseteq S)$ ，其中 X 为状态参数组成的集合， S 是量测空间的某个闭子集合。使用集合导数^[51]以求出相应于该置信度的全局概率：

$$f_\Sigma(Z|X) = \frac{\delta \beta_\Sigma}{\delta Z}(\phi|X)$$

其中 $f_\Sigma(Z|X)$ 是多传感器多目标的全局似然函数，它描述给定参数集合 X 观测集合 Z 产生的可能性，而原来的置信度可以利用这个全局密度的集合积分获得：

$$\beta_\Sigma(S|X) = \int_S f_\Sigma(Z|X) \delta Z。$$

集合积分一般定义^[51-52]为：
$$\int \Phi(Z) \delta Z = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{k!} \int \Phi(\{w_1, \dots, w_k\}) dw_1 \cdots dw_k$$

其中

$$\int \Phi(\{w_1, \dots, w_k\}) dw_1, \dots, dw_k = \sum_{\substack{w_1, \dots, w_k \\ \tau_1, \dots, \tau_k}} \int \Phi(\{(z_1, u_1, \tau_1), \dots, (z_k, u_k, \tau_k)\}) d\lambda(z_1) \cdots d\lambda(z_k)$$

其中 τ_k 用来标识提供量测的传感器。

设 X 是目标参数的随机有限子集合 Π 的一个具体实现， Z 是一个观测集合（或更一般地设 $Z^m : Z_1, \dots, Z_m$ 是一系列观测集合）。全局量测模型的形式为 $f_{\Sigma\Pi}(Z|X)$ ，则全

局后验密度定义为：给定全局先验分布 $f_{\Pi}(X)$ ，设有一参数化的全局概率分布形式 $f_{\Sigma|\Pi}(Z|X)$ ， $f_{\Sigma}(Z)$ 表示边界分布，则由贝叶斯规则定义全局后验密度为：

$$f_{\Pi|\Sigma}(X|Z) = \frac{f_{\Sigma|\Pi}(Z|X)f_{\Pi}(X)}{f_{\Sigma}(Z)}$$

其中边界概率满足集合积分： $f_{\Sigma}(Z) = \int f_{\Sigma|\Pi}(Z|X)f_{\Pi}(X)\delta X$ 。为了简化，依据一系列观测集合 Z_1, \dots, Z_m ，可以将一个全局后验密度写为 $f(X|Z^{(m)})$ 。虽然全局后验是一个单纯的全局密度，但考虑到 X 分别包含 $0, 1, 2, \dots, n, \dots$ 个元素，所以 $f(X|Z^{(m)})$ 是一系列通常密度分布形式：

$$f(\phi|Z^{(m)}), f(\{\zeta_1\}|Z^{(m)}), f(\{\zeta_1, \zeta_2\}|Z^{(m)}), \dots, f(\{\zeta_1, \dots, \zeta_n\}|Z^{(m)}) \dots \quad (\text{式 6.4})$$

其中 $\zeta_i = (\mathbf{x}_i, v_i)$ 表示 ζ_i 可以包含连续和离散状态变量。对一个全局后验，由式 6.4 可以看出下面形式是等价的：

$$\begin{aligned} f(X|Z^{(m)}) &= f(\{\zeta_1, \dots, \zeta_n\}|Z^{(m)}) \\ &= n! f((\mathbf{x}_1, v_1), \dots, (\mathbf{x}_n, v_n)|Z^{(m)}) \\ &= n! f_{v_1, \dots, v_n}^n(\mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{x}_n | Z^{(m)}) \end{aligned} \quad (\text{式 6.5})$$

这里出现 $n!$ 因子是因为单一集合 X 产生的似然，必须等于每个已排序列 $\zeta_{\pi 1}, \dots, \zeta_{\pi m}$ （对所有在 $1, \dots, n$ 上的排列 π ）产生的似然和。既然全局后验是一个全局概率密度，则它必须满足集合积分归一化条件 $\int f(X|Z^{(m)})\delta X = 1$ 或

$$\sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{k!} \sum_{v_1, \dots, v_k} \int f(\{(x_1, v_1), \dots, (x_n, v_n)\}) d\lambda(x_1), \dots, d\lambda(x_k) \quad (\text{式 6.6})$$

由式 6.5, 式 6.6 可以写为：

$$\sum_{k=0}^{\infty} \sum_{v_1, \dots, v_k} \int f_{v_1, \dots, v_k}^k(x_1, \dots, x_k | Z^{(m)}) d\lambda(x_1), \dots, d\lambda(x_k) = 1 \quad (\text{式 6.7})$$

即式 6.4 是一个联合概率事件，它将目标数 n 作为一个与其它状态变量相关联的状态变

量进行处理。

二、全局均匀分布

在信息论中，均匀分布常常具有特别重要的意义，它对应着多传感器多目标问题的全局均匀分布，其定义如下：设 D 是一个连续状态变量空间的有界域， $\lambda(D)$ 是 D 的超体积， N 是离散状态变量空间的元素数， M 是所期望的最大目标数，则如果 $X = \{f((x_1, v_1), \dots, (x_n, v_n))\}$ 是一个有限状态（有 n 个不同元素）集合，则定义：

$$u_{D,M}(X) = \begin{cases} \frac{|X|!}{MN^{|X|}\lambda(D)^X} & x_1, \dots, x_n \in D \text{ 和 } n < M \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

其中 $|X|$ 等于有限集合 X 的元素个数。这是一个关于连续状态变量、离散状态变量和目标数的均匀分布。

6.4.3 多传感器资源管理信息度量

本节讨论如何使用信息来度量多传感器资源管理算法的性能。首先定义和证明多传感器多目标的分辨力度量；然后分析给出不同度量方法的思想。

多传感器多目标信息度量。设 f 和 g 是全局概率分布函数，则 f 关于 g 的全局分辨

$$\text{力是： } I(f; g) = \int f(Z) \ln \left[\frac{f(Z)}{g(Z)} \right] \delta Z$$

其中积分是一个集合积分或使用式 6.5 和式 6.6 等价于：

$$I(f; g) = \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{v_1, \dots, v_k} \int f_{v_1, \dots, v_k}^k(x_1, \dots, x_k) \ln \left(\frac{f_{v_1, \dots, v_k}^k(x_1, \dots, x_k)}{g_{v_1, \dots, v_k}^k(x_1, \dots, x_k)} \right) d\lambda(x_1) \cdots d\lambda(x_k) \quad (\text{式 6.8})$$

多传感器资源管理的算法在定义了有限集合统计之上，可通过两种方式来判断它的性能：一是将其放入数据融合算法总体去评价，这种方式也就是判断多传感器管理算法局部对数据融合总体的满意程度。二是可以将多传感器管理算法直接由信息度量来判断，即基本情况已知时，可通过与假设理想的多传感器所提供的信息量进行比较，而估计这一多传感器资源管理算法所提供的信息量；当基本情况未知时，可通过与一个完全不合格的多传感器资源管理算法所提供的信息进行比较而估计一个算法的信息。

6.5 小结

本章将多传感器资源管理算法进行了分析比较。效能结合浪费的多传感器资源管理算法总的来讲是基于效能的多传感器资源管理算法的改进，而基于分辨力的算法对前两者又是一种更新，无论是理论基础还是实际应用都较为先进。但三种算法的基本思想是完全一致的。最后，提出了将各种多传感器资源管理算法置于有限集合统计意义下来判断其性能的方法。

7. 结 论

随着数据融合技术的不断完善,传感器管理这一分支越来越受到人们的关注,并逐渐成为研究数据融合的一个重要组成部分。传感器管理的核心问题就是根据一定的最优准则,确定目标选择何种传感器以及该传感器的工作方式和工作参数。因此,要对传感器进行管理,首先要深入细致地研究其基本理论,并客观地加以完善。本文通过对传感器管理基本理论的收集和整理,并恰当地进行分析和完善,已基本建立传感器管理的基本框架。本文的研究工作总结如下:

1、论文论述了数据融合技术,并阐述了由传感器子系统、数据融合子系统、决策支持子系统和传感器管理子系统构成的数据融合闭环系统控制模式。分析了传感器管理在数据融合闭环系统中的作用及地位,同时在整理国内外的研究现状的基础上,说明了传感器管理研究的必要性。

2、完善了传感器管理基本理论。文章在收集整理了关于传感器管理的作用、内容、用途、功能的基础之上,提出了将传感器管理方法针对不同的应用背景进行分类,即分为集中式管理和分布式管理。并举例对分类的合理性进行了说明。

3、研究了传感器管理的功能模型和数学模型。在建立了传感器管理的功能模型之上,把功能模型延伸到了通用的数学模型,为进一步的量化研究奠定了基础。

4、例证传感器管理的应用。列举美国海军在以网络为中心的传感器管理和传感器丰富环境下的传感器管理两类应用情况,用实例证明了传感器管理的实用性。

5、提出了效能结合浪费的传感器管理算法。在研究基于线性规划的一类传感器管理算法的基础上,得到了将效能与浪费相结合,并以两者综合效能最佳来得到传感器对目标的分配来解决传感器管理问题。

6、对基于线性规划的传感器管理算法进行了比较。即将基于效能函数的传感器管理算法和效能集合浪费的传感器管理算法以及两者与基于分辨力的传感器管理算法进行了比较,比较结果表明了效能结合浪费的算法优于基于效能的算法,但两者都比基于分辨力的算法劣一些,虽然它们应用领域和背景不同。最后得到了有限集合统计理论来评价传感器管理算法的方法。

在对本文总结之后，针对论文的不足及本课题的进一步研究提出了以下一些建议

传感器管理的研究起步相对较晚，同时信息战对传感器管理及其数据融合技术不断提出更高要求，因此传感器管理还有许多问题要深入研究，例如：

1、基本理论虽已较全面，但相对实际仍然缺乏，因此有必要对基本理论继续深入研究。对传感器管理的功能，要不断细化到各子功能。

2、各种新理论新方法也需要不断地恰当地应用到传感器管理中，如：模糊逻辑、神经网络和贝叶斯网等。

3、基于计算机网络的分布式、多平台、多融合中心的传感器管理及其数据融合技术的研究。

4、针对传感器管理系统，建立一闭环传递函数，分析系统的稳定性。

5、传感器管理算法的评价标准也要不断完善，有限集合统计理论虽然作为一种评价方法提了出来，但实际应用仍需要有实质性的进展。

参考文献

- [1] 杨靖宇等. 战场数据融合技术[M], 北京: 兵器工业出版社, 1994 年 12 月.
- [2] 赵宗贵等编译. 多传感器数据融合[M], 机械电子工业部第二十八研究所, 1993 年 2 月.
- [3] 何友, 王国宏等. 多传感器信息融合及应用[M], 北京: 电子工业出版社, 2000 年 11 月.
- [4] 刘先省. 传感器管理方法研究[D], 西安: 西北工业大学博士学位论文, 2000 年.
- [5] 田康生, 朱光喜. 目标跟踪中的传感器管理[J], 传感器技术, 2003, 22 (3): 27—29.
- [6] J. M. Nash. Optimal allocation of tracking resource.Proceedings IEEE Conference on Decision and control,p.1177-1180.
- [7] R. Fung, E. Horvitz, P. Rothman. Decision Theoretic Approach to Sensor Management.DTIC#AB B172227, Feb 1993, Wright-Patterson AFB, OH.
- [8] MALHOTRA P., et al. Achieving Near-Optimal Sensor Allocation Policies Throgh Reinforcement Learning, Final Report. Report No.: AD-A318335.
- [9] Raj Malhotra. Temporal Considerable in Sensor Management. NAECON'95, Proceedings of IEEE 1995 National Aerospace and Electronics Conference, Dayton, OH, May 22-26, 1995. Vol. 1(A96-13576 02-62), New York, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc, 1995 , p. 86-93.
- [10] Musick Stan, Malhotra Raj. Chasing the elusive sensor manager. NAECON'94, Proceedings of the IEEE 1994 National Aerospace and Electronics Conference, Dayton, OH, May 23-27, 1994. Vol. 1(A95-27710 06-66), New York, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc, 1994 , p. 606-613.
- [11] David A . Castanon . Optimal search strategies in dynamic hypothesis testing . IEEE Trans. On system , Man and Cybernetics , Vol . 25 , No . 7 , July 1995 , p . 1130-1138 .
- [12] R . Wasburn , A . Chao , D . Castanon , D. Bertsekas , R . Malhotra . Stochastic Dynamic Programming for Far-Sighted Sensor Management 1977 IRIS National Symposium on Sensor and Data Fusion , 1997 .
- [13] P . L . Rothman , S . G . Bier . Evaluation of Sensor Management Systems . Proceedings of the IEEE 1989 National Aerospace and Electronics Conference , NAECON 1989 , Vol . 4 , Dayton , OH , May 22-26 1989 , p . 1747-1752 .
- [14] S . G . Bier , P . L . Rothman , and R . A . Manske . Intelligent Sensor Management for Beyond Visual Range Air-to-Air Combat . proceedings of the IEEE 1988 National Aerospace and Electronics Conference , NAECON 1988 , Vol . 1 , Dayton , OH , May 23-27 1988 , p. 164-269.
- [15] P. Rothman , S . Bier . Evaluation of Sensor Management Systems . Proceedings of the IEEE 1989 NAECON , Vol . 4 , p. 1747-1752 , 22-26 , May , 1989 , Dayton , OH , IEEE: New York , NY .
- [16] J . M . Manyika , H . Durrant-Whyte . On Sensor Management in Decentralized Data Fusion . Proceedings of the 31st Conference on Decision and Control , Vol . 4 , Tucson , AZ , December 16-18 1992 , p . 3506-3507 .
- [17] J . M . Manyika , H . F . Durrant-Whyte . An Information-Theoretic Approach to Management in Decentralized Data Fusion . Sensor Fusion V . proceedings of the SPIE-The International Society for Optical Engineering , Vol. 1828 , Boston , MA , November 15-17 1992 , p . 202-213 .

- [18] A. Gaskell, P. Probert. Sensor Models and a Framework for Sensor Management. Sensor Fusion VI Proceedings of the SPIE-The International Society for Optical Engineering, Vol.2059, Boston, MA, September 7-8 1993, p. 2-13.
- [19] B. D. Leon, P. R. Heller. An Expert system and Simulaion Approach for Sensor Management and Control in Distributed Surveillance Network. Applications of Artificial Intelligence V. Proceedings of the SPIE-The International Society for Optical Engineering, Vol.786, Orlando, FL, May 18-20 1987, p. 41-51.
- [20] Addison, Edwin R., Barbara D. Leon. A Blackboard Architecture for Cooperation Expert system to Manage a Distributed Sensor Network. Proceeding Data Fusion Symp. 1987, p. 669-675.
- [21] Hui, Patrick J. EXNAV: An Intelligence Sensor Processor. Proceeding NAECON 1988, IEEE, p. 1219-1219.
- [22] Cowan, Rosa A. Improved Tracking and Data fusion through Sensor Management and Control. Proceeding Data Fusion Symp. 1987, p. 661-665.
- [23] J. M. Mplina Lopez, F. J. Jimenez Rodriguze, J. R. Casar Corredera. FuzzyReasoning For Multisensor Management. 1995 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, Vol 2, Vancouver, British Corumbia, Canada, October 22-25 1995, p. 1398-1403.
- [24] J. Zhongliang, X. Hong, W. xueqin. Information Fusion and Tracking of Maneuvering Targets with Artificial Neutral Networks. Proceedings of the 1994 IEEE International Conference on Neural Networks, Vol. 5, Orlando, FL, June 27-July2 1994, p. 3403-3408.
- [25] Hintz Kenneth J., McIntyre, Greg. Goal lattices for sensor management. Proceedings of the 1999 Signal Processing, Sensor Fusion, and Target Recognition VIII. Orlando, FL, USA(SPIE proceedings. Vol. 3365), 1999, p. 249-255.
- [26] McIntyre Gregory A., Hintz Kenneth J. Sensor management simulation and comparative study. Signal Processing, Sensor Fusion, and Target Recognition VI, Proceedings of the conference, Orlando, FL, Apr. 21-24, 1997(A97-39676 10-63), Bellingham, WA, Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers(SPIE Proceedings. Vol. 3068), 1997, p. 250-260.
- [27] McIntyre Gregory A., Hintz Kenneth J. An information theoretic approach to sensor scheduling. Signal Processing, Sensor Fusion, and Target Recognition V, Proceedings of the conference, Orlando, FL, Apr. 8-10, 1996(A96-45791 12-63), Bellingham, WA, Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers(SPIE Proceedings. Vol. 2755), 1996, p. 304-312.
- [28] McIntyre Gregory A., Hintz Kenneth J. Sensor measurement scheduling-An enhanced dynamic, preemptive algorithm. Optical Engineering(ISSN 0091-3286), Vol. 37, no. 2, Feb. 1998, p. 517-523.
- [29] Kenneth J. Hintz. A Measure of information gain attributable to cueing. IEEE Trans. On System, Man and Cybernetics, Vol. 21, No. 2, March 1991, p. 434-441.
- [30] K. J. Hintz, E. S. McVey. Multi-Process Constrained Esimation. IEEE Transaction On System, Man and Cybernetics, Vol. 21, No. 1, Jan/Feb 1991, p. 434-442.
- [31] McIntyre G. A. Comprehensive Approach to Sensor Management and Schduling, Doctoral thesis. George Mason Univ., Fairfax, VA.
- [32] J. Llinas, K. Hintz, B. Beale. Applications of Automatic control Theroy to Sensor Scheduling. Report prepared for Naval Air Warfare Center, Warminster, PA, 1992.
- [33] Schmaedeke Wayne. Information based sensor management. Signal Processing, Sensor Fusion, and Target Recognition II, Proceedings of the Meeting, Orlando, FL, Apr. 12-14, 1993(A94-29761

- 09-63) ,Bellingham ,WA ,Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers(SPIE Proceedings . Vol . 1955) ,1993 ,p . 156-164 .
- [34] Schmaedeke Wayne , Kastella Keith . Information based sensor management and IMM KF. Proceedings of the Meeting ,Orlando ,FL ,Apr . 14-16 ,1998(A99-28436 07-63) ,Bellingham ,WA ,Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers(SPIE Proceedings . Vol . 3373) ,1998 ,p . 390-401 .
- [35] V . J . Lume 1 sky , S . Mukhopadhyay , K .Sun . Dynamic Path Planning in Sensor-Based terrain Acquisition . IEEE Transactions on Robotics and Automatic , Vol . 6 , No . 4 ,pp .462-472 , August 1990 .
- [36] Friedman Avner , Kastella Keith , Schmaedeke Wayne .Sensor Management and Nonlinear Filtering Research . NASA no . 19990032046 .
- [37] K . Kastella .Event-Averaged Maximum Likelihood Estimation and Mean-Field Theory in Multitarget Tracking .IEEE Transcation on Automatic Control , Vol , 140 , No .6 , p.1070-1074 .
- [38] K . Kastella . A Maximum Likelihood Estimator for Report-to-Track Association . Signal and Data Processing of Small Targets 1993 . Proceedings of the SPIE-The International Society for Optical Engineering , Vol.2059 , Boston ,MA , September 7-8 1993 , p . 2-13 .
- [39] W . Schmaedeke and Kastella . .Event-Averaged Maximum Likelihood Estimation and Information Based on Sensor Management . Signal Processing , Sensor Fusion , and Target Recognition III . Proceedings of the SPIE-The International Society for Optical Engineering , Vol.2232 , Orlando ,FL , April 4-6 1994 , p . 91-96 .
- [40] Kastella Keith . Discrimination gain to optimize detection and classification . Proceedings of the Meeting , San Diego , CA , July 11-13 , 1995(A96-14952 02-63) , Bellingham ,WA ,Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers(SPIE Proceedings . Vol . 2561) ,1995 ,p . 66-70 .
- [41] K . Kastella .Discrimination Gain for Sensor Management in Multitarget Detection and Tracking . IEEE-SMC and IMACS Multiconference CESA'96 , Vol . 1 ,Lille France , July 9-12 ,1996 , p .167-172 .
- [42] Kastella Keith .Joint multitarget probabilities for detection and tracking . Proceedings of the conference ,Orlando ,FL ,Apr . 23-24 ,1997(A97-37873 10-63) ,Bellingham ,WA ,Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers(SPIE Proceedings . Vol . 3068) ,1997 ,p . 122-128 .
- [43] Kastella Keith , Musick Stan ,et al . The Search for Optimal Sensor Management . Proceedings of the conference ,Orlando ,FL ,Apr . 9-11,1996(A96-45742 12-35) ,Bellingham ,WA ,Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers(SPIE Proceedings . Vol .2759) ,1996 ,p . 318-329 .
- [44] Musick Stan , Kastella Keith , et al .Comparison of Sensor Management Strategies for Detection and Classification ,Final Report No.: AD-A318439 .
- [45] Friedman Avner , Kastella Keith . Emerging applications in probability(Sensor management) , Final Technical Report , May 1994-Jan . 1995 . Report No .: AD-A292781 .
- [46] Kastella Keith .Mean-field theory and multitarget tracking . Proceedings of the Meeting ,Orlando ,FL ,Apr . 5-7 ,1994 (A95-25339 06-63) ,Bellingham ,WA ,Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers(SPIE Proceedings . Vol .2235) ,1994 ,p . 388-393 .
- [47] K . Kastella , S . Musick .The Search for Optimal Sensor Management , Signal and Data Processing of Small Targets 1996: Proceedings of the SPIE-The International Society for Optical Engineering , Vol.2759 , Orlando ,FL ,April 9-11 , 1996 , p . 318-329 .

- [48] Pierre Dodin , Julien . Verliac , Vincent Nimier . Analysis of the Multisensor Multitarget Tracking Resource Allocation Problem . The 3rd International Conference of Information Fusion , Paris , France , July 10-13rd , 2000 , WECE-3 .
- [49] R . Mahler . The random set approach to data fusion . Proceedings of the SPIE-The International Society for Optical Engineering . Vol . 2234 , 1994 , p . 287-295 .
- [50] I . R . Goodman , R . P . S . Mahler , H: T . Nguyen . Mathematics of Data Fusion . Academic Publishers , 1997 .
- [51] R . Mahler . Unified data fusion : fuzzy logic , evidence , and rules . Proceedings of the SPIE-The International Society for Optical Engineering . Vol . 2755 , 1996 , p . 226-237 .
- [52] R . Mahler . Measurement models for ambiguous evidence using conditional random sets . Proceedings of the SPIE-The International Society for Optical Engineering . Vol . 3068 , 1997 , p . 40-51 .
- [53] R . Mahler . Nonadditive probability , finite-set statistics , and information fusion . Proc . 34th IEEE conference on Decision and control , New Orleans , Dec . 1995 , p . 1947-1952 .
- [54] Mahler , Ronald P . S . Global posterior densities for sensor management .
- [55] Ronald P . S . Mahler . Information for fusion managment and performance estimation . Proceedings of the Meeting , Orlando , Floda , April ., 1998 , Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers(SPIE Proceedings . Vol . 3374) , 1998 , p . 64-75 . Proceedings of the Meeting , Orlando , FL , Apr . 15-16 , 1998(A99-13701 02-63) , Bellingham , WA , Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers(SPIE Proceedings . Vol . 3365) , 1998 , p . 252-263 .
- [56] S . Musick , K . Kastella , and R . Mahler . A practical implementation of joint multitarget probabilities . Signal Processing , Sensor Fusion , and Target Recognition VII . Proceedings of the SPIE-The International Society for Optical Engineering , Vol. 3374 , Orlando , FL , April 1998 , p . 64-75 .
- [57] Wang Guohong , He you , Yang Zhi , Mao Shi yi , Ludajin . Adaptive Sensor management in Multisensor Data Fusion System . Chinese Journal of Electronics , Vol . 8 , No . 2 , 1999 , p . 136-139 .
- [58] Liu Xianxing , Pan Quan , Zhang Hongcai , Dai guozhong . Study on Algorithm of Sensor Manaement Based on Functions of efficiency and Waste . Chinese Journal of Aeronautics , Vol . 13 , No . 1 , 2000 , p . 39-40 .
- [59] Adel El-Fallah . and so on . Scientific performance evaluation for distributed sensor management and adaptive data fusion , In Signal Processing , Sensor Fusion , and Target Recongnition IX , Ivan Kadar , Editor , Proceedings of SPIE Vol . 4380(2001) .
- [60] 孙华等。多传感器信息融合技术及其在机器人中的应用[J]。传感器技术, 2003, 22 (9): 1—4。
- [61] McIntyre Gregory A., Hintz Kenneth J. Sensor management simulation and comparative study. Signal processing , sensor fusion , and target recongniton VI , Proceedings of the Conference , Orlando , FL , Apr . 21-24 , 1997 (A97-39676 10-63) , Bellingham , WA , Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers(SPIE Proceedings . Vol . 3068) , 1997 , p . 250-260 .
- [62] Krebsbach, Kurt D. and Musliner, David J., "A Refinery Immobot for Abnormal Situation Management", in Working Notes of the AAAI Workshop on Robots , Softbots, Immobots : Theories of Action , Planning , and Control , 1997.

- [63] Williams , Brian C, and Nayak ,P. Pandurang , “Immobile Robots :AI in the New Millennium”,AI Magazine 17(3),1996.
- [64] Musliner ,David J.and Krebsbach ,Kurt D ., “Applying a Procedural and Reactive Approach to Abnomal Situation in Refinery Control”,in proceedings Conference on Foundations of Computer-Aided Process Operations(FOCAPO),July 1998 ,Anowbird ,Utah .
- [65] MxIntyre ,Gregory A . and Hintz, Kenneth J . , “A Comprehensive Approach to Sensor Management , Part II:A New Hierarchical Model ”, submitted to IEEE Transactions on SMC , April 1999 .
- [66] N.R . Sandell ,P . Varaiya , M. Athans ,and M. G. Safonov . “Survey of Decentralized Control Methods for Large Scale Systems”,IEEE Transaction Automatic Control ,23(2):108-128,1978
- [67] Mutanmbara ,Arthur G.O. Decentralized Estimation and Control for Multisensor Systems ,CRC Press , Boca Raton ,FL,1998 .
- [68] 刘先省, 潘泉等。基于效能函数的多传感器管理算法研究[J], 控制与决策, 1999 年 S1 期.
- [69] 薛定宇著。控制系统计算机辅助设计: MATLAB 语言及应用[M], 北京: 清华大学出版, 1996. 7
- [70] 朱雪龙著。应用信息论基础[M] , 北京: 清华大学出版社, 2000.
- [71] 周航慈等著, 信息技术基础[M] , 北京: 北京航空航天大学出版社, 2002, 8.
- [72] 林都, 曾建平. 近程防空武器网络化跟踪系统初探[J], 华北工学院学报, 2002 (3): 23-26.
- [73] 余安喜, 胡卫东等, 多传感器量测融合算法的性能比较[J], 国防科技大学学报, 2003, 6 (25): 39-44

致 谢

在本文即将结束的时候，首先我要衷心感谢我的导师林都教授。林老师对我的严格要求、中肯教诲和热情帮助，使我终生受益。在课题研究期间，我还得到了本系郭圣权教授、任作新教授、曾建平教授的指导，许多思想都是在他们的启发和指导下得以付诸实现和完善的。在两年多的研究生学习期间，林老师言传身教，不仅在学习和工作中对我严格要求、悉心指导，在生活上也给予了我很多关心和爱护。在此，向林老师致以衷心的感谢。

在课题的研究和开发工作中，我还得到了尉存娟、马利兵、梁润华、兰彦亭、黄益绍等同学的热心帮助，在学习上给了我很大的关心和支持。在此一并向他们表示衷心的感谢。

最后，谨以此论文献给我的父母，他们对我的支持，是我前进的动力。

攻读硕士期间发表的论文及所取得的研究成果

- [1] 郝永飞, 林都. 多传感器管理分类, 华北工学院学报, 2004 年 6 月增刊。
- [2] 郝永飞, 林都, 曾建平. 遗传算法在多传感器管理中的应用, 科技情报开发与经济 (CN14-1157/N), 2004 (10)。
- [3] 郝永飞, 林都. 结合浪费函数的多传感器管理算法, 中北大学学报, 2005 (4)。