



Multisensor Information Fusion
With Applications

多传感器 信息融合及应用

何 友 王国宏 陆大铨 彭应宁 著

HE You WANG Guohong LU Dajin PENG Yingning



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

URL: <http://www.phei.com.cn>

国家科学技术学术著作出版基金资助出版

多传感器信息融合及应用

Multisensor Information Fusion With Applications

何 友 王国宏 陆大绉 彭应宁 著

HE You WANG Guohong LU Dajin PENG Yingning

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是关于多传感器信息融合理论及应用的一部专著,是作者们对国内外近 10 多年来该领域研究进展和自身研究成果的总结。全书由 15 章组成,主要内容有:多传感器信息融合研究的目的、意义、应用领域、历史和现状,状态估计与不确定推理方法,多传感器信息融合的功能和结构模型,分布式检测融合理论,集中式多传感器综合跟踪算法,分布式多传感器信息融合中的统计和模糊航迹关联算法,雷达和电子支援措施(ESM)数据关联,红外传感器目标跟踪及雷达-红外融合跟踪,多传感器信息融合中的状态估计与航迹文件管理技术,多传感器目标识别融合模型,利用属性融合技术识别雷达辐射源,最后是本书的回顾、建议与展望。本书可供从事信息工程、C³I 系统、雷达工程、电子对抗、红外、声纳、模式识别、军事指挥等专业的科技人员阅读和参考,也可作为上述专业的研究生教材。同时还可供从事激光、机器人、遥感、遥测等领域的工程技术人员参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,翻版必究。

图书在版编目(CIP)数据

多传感器信息融合及应用/何友等著. - 北京:电子工业出版社,2000.11

ISBN 7-5053-6315-8

I. 多… II. 何… III. 传感器-信息处理-技术 IV. TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 55548 号

书 名:多传感器信息融合及应用

Multisensor Information Fusion With Applications

著 作 者:何 友 王国宏 陆大钧 彭应宁

HE You WANG Guohong LU Dajin PENG Yingning

责任编辑:吴金生

排版制作:电子工业出版社计算机排版室

印 刷 者:北京民族印刷厂

装 订 者:河北省涿州桃园装订厂

出版发行:电子工业出版社 URL:<http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:21.5 字数:550 千字

版 次:2000 年 11 月第 1 版 2000 年 11 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-5053-6315-8
TN·1405

印 数:3000 册 定价:42.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页、所附磁盘或光盘有问题者,请向购买书店调换;

若书店售缺,请与本社发行部联系调换。电话 68279077

前 言

随着科学技术的飞速发展,现代战争已发展到在海、陆、空、天、电磁五维结构中进行。为了获得最佳的作战效果,在现代 C³I 作战系统中,依靠单传感器提供信息已无法满足作战的需要,必须运用多传感器提供观测数据,实时进行目标发现、优化综合处理,来获取状态估计、目标属性、行为意图、态势评估、威胁分析和辅助决策等作战信息。为此,从 20 世纪 70 年代起,一个新的学科——多传感器信息融合便迅速地发展起来,并在现代 C³I 系统中和各种武器平台上得到了广泛的应用。

多传感器信息融合(Multisensor Information Fusion)是指对来自多个传感器的数据进行多级别、多方面、多层次的处理,从而产生新的有意义的信息,而这种新信息是任何单一传感器所无法获得的。在军事领域,信息融合主要包括多传感器的检测判决融合、多传感器综合跟踪与状态估计融合、多传感器目标识别的属性融合、监视跟踪环境的态势描述和威胁估计,以及传感器管理和数据库等。它是一个在多个级别上对各传感器观测数据进行综合处理的过程,每个处理级别都反映了对原始数据不同程度的抽象,它包括从检测到威胁判断的完整过程,其结果表现为在较低级别上对状态和属性的估计和在较高层次上对整体态势、威胁的评定。信息融合可以大大地减轻指挥人员的工作量,扩大作战系统的时空覆盖范围,增加置信度,减少模糊性,改善探测,提高空间分辨力,改善系统可靠性,增加信息维数,增大电磁谱的侦测范围,可在“全景”电磁环境中执行有源和无源探测任务。除军事应用外,多传感器信息融合在工业、交通和金融等领域也有着十分广泛的应用前景。

多传感器信息融合在国防上现已发展成为一个十分活跃的热门研究领域,是多学科、多部门、多领域所共同关心的高层次共性关键技术,包括中国在内的许多国家都把它列为下一阶段重点发展的关键技术。早在 20 世纪 80 年代中期,一些西方发达国家就开始广泛开展多传感器信息融合技术的研究与应用,现已研制出“多传感器多平台跟踪情报相关处理”等近百种多传感器信息融合系统,并相继出版了 10 余部信息融合方面的专著。国内对该领域的研究则在 90 年代初才开始逐渐形成高潮,现已研制出少量的初级多传感器信息融合系统。近年来,涉足于该领域的研究、设计、生产、管理和教学人员一直渴望有一部能全面、系统介绍多传感器信息融合理论、模型、算法和应用方面的专著。本书试图基于作者们 10 多年来的研究工作,较全面、系统地向读者介绍当代多传感器信息融合技术的发展与最新研究成果,以期从事这一领域的读者提供一部研究和应用的参考书。

全书共分十五章,这十五章实际上可分为三大部分:第 1 至第 4 章是信息融合基础;第 5 至第 14 章详细讨论了检测级融合、位置级融合和目标识别级融合的模型和算法,同时结合实际工程背景分析比较各种模型、算法的性能及在实际系统中的应用情况;第 15 章是研究成果的总结及对未来研究方向的展望。在撰写过程中,我们尽可能地搜集了有关信息融合技术的文献,并通过各章节的划分使读者对这些种类繁多的信息融合方法有一个比较清晰和系统的了解。下面是各章的内容简介。

第 1 章介绍了信息融合的概念、层次和分类、应用领域、研究历史与现状等,以便使读者对信息融合技术有一个全面的、基本的了解。第 2 章介绍线性和非线性系统的状态估计技术。第 3 章研究主观 Bayes 方法、证据理论等不确定推理技术,目的是为读者提供本书以后各章需要的理论基础。第 4 章讨论融合系统的功能和各融合层次的结构模型。第 5 章介绍分布检

测融合理论,其中包括局部判决融合规则设计、并行结构、串行结构和带反馈并行结构中的分布检测与融合,以及分布式 CFAR 检测等。第 6 章讨论集中式多传感器综合跟踪,重点是介绍多传感器联合概率数据互联法、多传感器多目标跟踪的广义 S -维分配算法和用于实际的舰载多雷达综合跟踪技术。第 7 章研究用于分布式融合的统计航迹关联算法,主要讨论加权法、修正法、序贯、统计双门限、最近邻域、 K 近邻域和多局部节点情况下的航迹关联算法,以及统计算法的性能分析和应用等。作为第 7 章的继续,第 8 章提出分布式融合中的模糊航迹关联算法,其中包括模糊双门限、模糊综合函数、模糊综合评判和多局部节点情况下的模糊航迹关联算法及其性能分析等。第 9 章讨论雷达与 ESM 数据关联算法,主要内容有:相等和不等样本容量下基于统计理论和模糊综合分析及基于组合优化的雷达与 ESM 数据关联算法,以及动态和属性信息在雷达和 ESM 关联中的应用等。第 10 章介绍红外目标跟踪、基于雷达和红外的融合跟踪及雷达与红外航迹关联算法等。第 11 章提出集中式、分布式、混合式和多级式多传感器信息融合系统中的状态估计模型,带反馈信息的分布和多层估计算法等。第 12 章讨论信息融合中的航迹文件管理技术。第 13 章讨论基于不确定推理、可能性理论、多属性模糊加权 and 模糊综合函数的属性融合方法在雷达辐射源识别中的应用。第 14 章介绍基于最大后验估计概率准则、D-S 证据理论、黑板模型和模糊综合函数的目标识别融合算法。第 15 章回顾和总结本著作的研究成果,并对某些问题提出进一步的研究建议,同时指出了信息融合领域未来的发展方向。因本书外文代号较多,为便于读者阅读方便,书末附有英文缩写对照表。

我们知道,多传感器信息融合理论与技术正处在迅速发展的高峰阶段,由于篇幅的限制,本书不可能对这些发展作出统览无余的介绍。为此,我们在每章的最后都给出了全章的小结,指出一些重要的新发展和相应的参考文献,供读者进一步阅读和研究参考。

致 谢

本书在撰写出版过程中,得到了国内著名电子学专家毛士艺教授、邴能敬教授、周思永教授和周荫清教授的推荐和帮助,得到了国防科技大学孙仲康教授,海军工程大学谭庆海教授、蒋蓉蓉教授、龚沈光教授、王大华教授,江苏自动化研究所董志荣教授等专家的关心和帮助,烟台海军航空工程学院欧阳文硕士生、熊伟硕士生、郑希明硕士、黄晓东硕士、修建娟硕士、唐小明硕士、马强硕士、高志永硕士、刘永硕士、钟吟硕士生、苏峰硕士生和关欣硕士生等参加了本书的部分文字录入工作,作者在此一并向他们表示衷心的感谢。

本书第二作者还特别感谢在北京航空航天大学攻读博士期间毛士艺教授的精心指导。

书中引用了一些作者的论著及其研究成果,我们在此向他们表示深深的谢意。作者同样要感谢海军航空工程学院的领导、同仁和电子工业出版社,特别是电子工业出版社的吴金生副社长、郭晓副主任,正是由于他们的大力支持才保证了本著作按期高质量出版。

作者最后要感谢国家科学技术学术著作基金委员会对本著作出版的资助。

何 友 王国宏 陆大绐 彭应宁
一九九九年十二月二十八日
于烟台海军航空工程学院
清华大学
北京航空航天大学

目 录

第 1 章 信息融合概述	(1)
1.1 信息融合的目的和定义	(1)
1.2 信息融合的基本原理	(2)
1.3 信息融合技术的应用	(6)
1.4 信息融合技术研究的历史与现状	(10)
1.5 背景资料	(11)
第 2 章 状态估计基础	(12)
2.1 引言	(12)
2.2 线性系统估计——Kalman 滤波技术	(12)
2.3 运动模型的稳态滤波器	(16)
2.4 非线性系统的状态估计	(19)
2.5 小结	(23)
第 3 章 不确定推理方法	(24)
3.1 引言	(24)
3.2 不确定性推理方法之一——主观 Bayes 方法	(24)
3.3 不确定性推理方法之二——证据理论	(28)
3.4 主观 Bayes 方法和证据理论的比较	(34)
3.5 小结	(35)
第 4 章 多传感器信息融合系统的功能和结构模型	(36)
4.1 信息融合系统的功能模型	(36)
4.2 信息融合系统的结构模型	(38)
4.3 信息融合技术在军事上的应用举例	(42)
4.4 小结	(47)
第 5 章 分布式检测与信息融合	(48)
5.1 引言	(48)
5.2 局部判决融合规则设计	(48)
5.3 并行结构中的分布检测与融合	(53)
5.4 串行结构中的分布检测与融合	(57)
5.5 带反馈并联网络中的分布检测与融合	(62)
5.6 分布式 CFAR 检测	(67)
5.7 先验概率和代价函数均模糊时的分布检测融合	(72)
5.8 小结	(76)
第 6 章 集中式多传感器综合跟踪算法	(78)
6.1 引言	(78)
6.2 多传感器联合概率数据互联算法	(78)

6.3	多传感器多目标跟踪的广义 S -维分配算法	(93)
6.4	多雷达综合跟踪	(102)
6.5	小结	(113)
第 7 章	分布式多传感器信息融合中的统计航迹关联算法	(114)
7.1	引言	(114)
7.2	加权和修正航迹关联算法	(115)
7.3	序贯航迹关联算法	(116)
7.4	统计双门限航迹关联算法	(122)
7.5	最近邻域和 K 近邻域航迹关联算法	(125)
7.6	修正的 K 近邻域航迹关联算法	(127)
7.7	多局部节点情况下的统计航迹关联方法	(134)
7.8	统计航迹关联算法性能分析	(138)
7.9	在空中交通管制中的应用	(146)
7.10	比较与总结	(148)
第 8 章	分布式多传感器信息融合中的模糊航迹关联算法	(151)
8.1	引言	(151)
8.2	模糊因素集与隶属度函数	(151)
8.3	模糊因素的确定与模糊集 A 的动态分配	(152)
8.4	模糊双门限航迹关联算法	(154)
8.5	基于模糊综合函数的航迹关联算法	(156)
8.6	多因素模糊综合决策航迹关联算法	(160)
8.7	多局部节点情况下的模糊航迹关联算法	(162)
8.8	模糊航迹关联算法的性能分析	(164)
8.9	小结	(166)
第 9 章	雷达和 ESM 数据关联	(167)
9.1	引言	(167)
9.2	等样本容量下的 ESM 和雷达航迹关联	(168)
9.3	不等样本容量下基于统计理论的雷达和 ESM 航迹关联。	(170)
9.4	不等样本容量下基于模糊综合分析的雷达与 ESM 航迹关联	(181)
9.5	基于组合优化的雷达与 ESM 数据关联	(190)
9.6	动态和属性信息在雷达和 ESM 数据关联中的应用	(191)
9.7	小结	(194)
第 10 章	红外传感器目标跟踪及雷达-红外融合跟踪	(195)
10.1	引言	(195)
10.2	基于修正球坐标系的红外目标跟踪	(196)
10.3	直角坐标系中采用扩展 Kalman 滤波(EKF)的红外目标跟踪	(202)
10.4	基于定向概率数据互联滤波(DPDAF)的红外目标跟踪	(204)
10.5	基于红外传感器的机动检测	(206)
10.6	基于图像质心位置和质心位移测量的红外目标跟踪	(210)
10.7	基于最优数据压缩的雷达和红外融合的目标跟踪	(213)

10.8	基于多传感器概率数据互联滤波(MSPDAF)的雷达和红外融合跟踪	(217)
10.9	基于 IMM/MSPDAF 的雷达和红外融合跟踪	(220)
10.10	没有反馈时雷达和红外同步航迹融合	(226)
10.11	带有反馈时雷达和红外同步航迹融合	(230)
10.12	小结	(233)
第 11 章	多传感器信息融合中的状态估计	(238)
11.1	引言	(238)
11.2	集中式多传感器信息融合系统中的状态估计	(238)
11.3	分布式多传感器信息融合系统中的状态估计	(242)
11.4	多级式多传感器系统中的分层估计	(248)
11.5	混合式系统多传感器信息融合中的状态估计	(252)
11.6	带反馈信息的分布估计	(253)
11.7	带反馈信息的多层估计	(260)
11.8	小结	(263)
第 12 章	多传感器信息融合中的航迹文件管理	(265)
12.1	引言	(265)
12.2	航迹号管理	(265)
12.3	多传感器综合跟踪系统中的航迹质量管理技术	(266)
12.4	分布式系统中的关联映射	(272)
12.5	系统航迹的建立、保持与撤消	(273)
12.6	几个有关问题的讨论	(273)
12.7	小结	(275)
第 13 章	利用属性融合技术识别雷达辐射源	(276)
13.1	引言	(276)
13.2	不确定推理在雷达辐射源识别中的应用	(276)
13.3	可能性理论在雷达辐射源识别中的应用	(280)
13.4	利用多属性模糊加权方法研究雷达辐射源识别	(283)
13.5	模糊综合函数属性融合方法在雷达识别中的应用	(285)
13.6	小结	(286)
第 14 章	多传感器目标识别融合模型	(287)
14.1	引言	(287)
14.2	基于最大后验概率的目标识别融合	(288)
14.3	基于 D-S 证据理论的目标识别融合	(289)
14.4	基于模糊综合的目标识别融合	(297)
14.5	基于黑板模型的多传感器目标识别融合	(299)
14.6	小结	(303)
第 15 章	回顾、建议与展望	(304)
15.1	引言	(304)
15.2	研究成果回顾	(304)
15.3	问题与建议	(306)

15.4 研究方向展望 (309)

参考文献 (312)

英文缩写对照表 (334)

作者简介 (336)

第 1 章 信息融合概述

1.1 信息融合的目的和定义

随着科学技术的发展,传感器性能获得了很大的提高,各种面向复杂应用背景的多传感器系统大量涌现。特别是进入 20 世纪 70 年代以后,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、电磁五维空间中。为了获得最佳的作战效果,在新一代作战系统中依靠单传感器提供信息已无法满足作战需要,必须运用包括微波、毫米波、电视、红外、激光、电子支援措施(ESM)以及电子情报技术(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,信息关系的复杂性,以及要求信息处理的及时性,都已大大超出了人脑的信息综合处理能力。为此,从 20 世纪 70 年代起,一个新兴的学科——多传感器信息融合(Multisensor Data Fusion 简称 MSDF)便迅速地发展起来,并在现代 C³I(指挥、控制、通信与情报)系统中和各种武器平台上以及许多民事领域得到了广泛的应用。

近 20 年来,多传感器信息融合技术越来越受到人们的普遍关注,融合一词十分频繁地被众多军事和非军事领域所引用^[1~9]。军事应用包括海上监视、空一空和地一空防御、战场情报、监视和获取目标以及战略预警和防御等。非军事应用包括法律执行、遥感、设备的自动监视、医疗诊断和机器人技术等。信息融合是针对使用多个和/或多类传感器的一个系统这一特定问题而开展的一种信息处理的新方法,它又被称作多源关联、多源合成、传感器混合或多传感器融合,但更广泛的说法是多传感器信息融合,即信息融合。目前,要给出信息融合的一个统一的定义是非常困难的,这种困难是由所研究的内容的广泛性和多样性带来的。自从海湾战争,特别是科索沃战争以来,致力于信息融合技术研究的人数显著增加,这门学科每年都在以大量的新成果丰富自己,获得越来越多的内容。由文献[1~9]信息融合的一般定义可大致概括为: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。按照这一定义,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。

在军事领域,信息融合主要包括检测、互联、关联(相关)、状态估计、目标识别、态势描述、威胁估计、传感器管理和数据库等。它是一个在多个级别上对传感器数据进行综合处理的过程,每个处理级别都反映了对原始数据不同程度的抽象,它包括从检测到威胁判断、武器分配和通道组织的完整过程,其结果表现为在较低级别对状态和属性的评估和在较高层次上对整个态势、威胁的估计。这一定义强调信息融合的核心是指对来自多个传感器的数据进行多级别、多方面、多层次的处理,从而产生新的有意义的信息,而这种新信息是任何单一传感器所无法获得的^[9~11]。

综合考虑上述两个定义,所谓信息融合就是将来自多个传感器或多源的信息进行综合处

理,从而得出更为准确、可靠的结论。信息融合的另一普遍说法是数据融合,但就信息和数据的内涵而论,用信息融合一词更广泛、更确切、更合理、更具概括性。一般人们普遍认为,信息不仅包括了数据,而且 also 包括了信号和知识。最近国际上已开始流行 Information Fusion 的说法。

多传感器信息融合在解决探测、跟踪和目标识别等问题上,具有许多性能裨益。

(1) 增加了系统的生存能力。在有若干传感器不能利用或受到干扰,或某个目标不在覆盖范围时,总还会有一部分传感器可以提供信息,使系统能够不受干扰连续运行、弱化故障,并增加检测概率。

(2) 扩展了空间覆盖范围。通过多个交叠覆盖的传感器作用区域,扩大了空间覆盖范围,一些传感器可以探测其他传感器无法探测的地方,进而增加了系统的监视能力和检测概率。

(3) 扩展了时间覆盖范围。当某些传感器不能探测时,另一些传感器可以检测、测量目标或事件,即多个传感器的协同作用可提高系统的时间监视范围和检测概率。

(4) 增加了可信度。一部或多部传感器能确认同一目标或事件。

(5) 减少了信息的模糊性。多传感器联合信息降低了目标或事件的不确定性。

(6) 改善了探测性能。对目标的多种测量的有效融合,提高了探测的有效性。

(7) 提高了空间分辨力。多传感器孔径可以获得比任何单一传感器更高的分辨力,并用改善的目标位置数据支持防御反应能力和攻击方向的选择。

(8) 改善了系统的可靠性。多传感器相互配合使用具有内在的冗余度。

(9) 增加了测量空间的维数。使用不同的传感器来测量电磁频谱的各个频段的系统,不易受到敌方行动或自然现象的破坏。

与单传感器系统相比,多传感器的复杂性大大增加,由此会产生一些不利因素,如成本提高了,设备的尺寸、重量、功耗等物理因素增大了,以及因辐射增多而使系统被敌方探测的概率增加了。在执行每项具体任务时,必须将多传感器的性能裨益与由此带来的不利因素进行权衡。

1.2 信息融合的基本原理

1.2.1 信息融合的基本原理

多传感器信息融合是人类和其他生物系统中普遍存在的一种基本功能。人类本能地具有将身体上的各种功能器官(眼、耳、鼻、四肢)所探测的信息(景物、声音、气味和触觉)与先验知识进行综合的能力,以便对他周围的环境和正在发生的事件作出估计。由于人类的感官具有不同度量特征,因而可测出不同空间范围内发生的各种物理现象。这一处理过程是复杂的,也是自适应的,它将各种信息(图像,声音,气味和物理形状或描述)转化成对环境的有价值的解释。

多传感器信息融合实际上是对人脑综合处理复杂问题的一种功能模拟。在多传感器系统中,各种传感器提供的信息可能具有不同的特征:时变的或者非时变的,实时的或者非实时的,快变的或者缓变的,模糊的或者确定的,精确的或者不完整的,可靠的或者非可靠的,相互支持的或互补的,也可能是相互矛盾或冲突的。多传感器信息融合的基本原理就像人脑综合处理信息的过程一样,它充分地利用多个传感器资源,通过对各种传感器及其观测信息的合理支配与使用,将各种传感器在空间和时间上的互补与冗余信息依据某种优化准则组合起来,产生对观

测环境的一致性解释和描述。信息融合的目标是基于各传感器分离观测信息,通过对信息的优化组合导出更多的有效信息。这是最佳协同作用的结果,它的最终目的是利用多个传感器共同或联合操作的优势,来提高整个传感器系统的有效性。

单传感器信号处理或低层次的多传感器数据处理都是对人脑信息处理过程的一种低水平模仿,而多传感器信息融合系统则是通过有效地利用多传感器资源,来最大限度地获取被探测目标和环境的信息量。多传感器信息融合与经典信号处理方法之间也存在着本质差别,其关键在于信息融合所处理的多传感器信息具有更复杂的形式,而且通常在不同的信息层次上出现。这些信息抽象层次包括检测层、位置层、属性层、态势层和威胁层。

1.2.2 信息融合的级别

按照信息抽象的五个层次,融合可分成五级,即检测级融合、位置级融合、属性(目标识别)级融合、态势评估与威胁估计。

1.2.2.1 检测级融合

检测级融合是直接的多传感器分布检测系统中检测判决或信号层上进行的融合。它最初仅应用在军事指挥、控制和通信中,现在它的应用已拓广到气象预报、医疗诊断和组织管理决策等众多领域^[12~15]。它在多雷达系统中的应用可以提高反应速度和生存能力、增加覆盖区域和监视目标数,并且提高系统在单个传感器情况下的可靠性。

在经典的多传感器检测中,所有的局部传感器将检测到的原始观测信号全部直接送给中心处理器,然后利用由经典的统计推断理论设计的算法完成最优目标检测任务。在多传感器分布检测系统中,每个传感器对所获得的观测先进行一定的预处理,然后将压缩的信息传送给其他传感器,最后在某一中心汇总和融合这些信息产生全局检测判决。通常有两种信号处理形式,一种是硬判决融合,即融合中心处理0、1形式的局部判决;另一种是软判决融合,中心除了处理硬判决信息外,还处理来自局部节点的统计量。在分布检测系统中,对信息的压缩性预处理降低了对通信带宽的要求。分布式多传感器结构可以降低对单个传感器的性能要求,降低造价。分散的信号处理方式可以增加计算容量。在利用高速通信网的条件下可以完成非常复杂的算法。

统计推理理论可以粗略地分为假设检测和估计,相应地,分布式信号处理也可分为分布式检测和分布式估计。在分布式检测系统中,由于融合中心只能得到经过压缩后的观测信息,因此相对于集中式检测会有性能损失。通过对传感器信息的最优局部处理和融合可以减小性能损失。大多数的研究就是开发高效的局部处理算法和融合算法。此外,还有网络结构的研究,例如网络在通信或传感器故障时的结构重构问题,以及传感器间的通信及传感器与融合中心间的通信问题。

1.2.2.2 位置级融合

位置级融合是直接传感器的观测报告或测量点迹和传感器的状态估计上进行的融合,包括时间和空间上的融合,是跟踪级的融合,属于中间层次,也是最重要的融合。对单传感器跟

踪系统来说,主要是按时间先后对目标在不同时间的观测值即检测报告的融合,如边扫描边跟踪(TWS)雷达系统,红外和声纳等传感器的多目标跟踪与估计技术都属于这类性质的融合。在多传感器跟踪系统中,主要有集中式、分布式、混合式和多级式结构。

在集中式多传感器跟踪系统中,首先按对目标观测的时间先后对测量点迹进行时间融合,然后对各个传感器在同一时刻对同一目标的观测进行空间融合,它包括了多传感器综合跟踪与状态估计的全过程^[16~21]。这类系统常见的有多雷达综合跟踪和多传感器海上监视与跟踪系统^[22~25]。

在分布式多传感器跟踪系统中,各传感器首先完成单传感器的多目标跟踪与状态估计,也就是完成时间上的信息融合,接下来各传感器把获得的目标航迹信息送入融合节点,并在融合节点完成坐标变换、时间校正或对准,然后基于这些传感器的目标状态估计进行航迹关联(相关)处理,最后对来自同一目标的航迹估计进行航迹融合,即实现目标航迹估计间的空间融合。这类系统常见的有空中交通管制系统、舰载多传感器分布跟踪系统和机载多传感器信息综合系统等^[26~31]。

混合式位置信息融合是集中式和分布式多传感器系统相组合的混合结构。传感器的检测报告和目标状态估计的航迹信息都被送入融合中心,在那里既进行时间融合,也进行空间融合。由于这种结构要同时处理检测报告和航迹估计,并进行优化组合,它需要复杂的处理逻辑。混合式方法也可以根据所运行问题的需要,在集中式和分布式结构中进行选择变换。这种结构的通信和计算量都比其他结构大,因为控制传感器同时发送探测报告和航迹估计信息,通信链路必须是双向的;另外,在融合中心除加工来自局部节点的航迹信息外,还要处理传感器送来的检测报告,使计算量成倍增加。巡航导弹控制和主、被动雷达复合制导系统都是典型的混合式结构^[32~34]。

多级式位置信息融合是上述三种结构的直接发展,它主要根据来自下一层融合中心的航迹估计信息,通过坐标变换、时间对正和航迹关联后,完成高层次空间融合,即航迹间的状态融合。这类系统主要是指海上多平台、各种战略和战役 C³I 系统^[32,34]。

1.2.2.3 目标识别级的融合

目标识别亦称属性分类或身份估计。在军事上,信息融合的目的是对观测实体进行定位、表征和识别^[35]。一个具体的例子是在一架作战飞机上装载威胁告警传感器,以便确定武器制导装置何时照射到该飞机;另一个例子是使用雷达截面积(RCS)数据来确定一个实体是不是一个火箭体、碎片或再入大气层的飞船。敌—我—中识别(IFFN)设备使用特征波形和有关数据来识别敌我飞机,有时需要进行更详细和耗时的分析以辨别或识别发射机或武器平台。身份估计的非军事运用包括复杂系统设备故障的识别和隔离^[36],使用传感器数据监视生产过程^[37],及借助医学监视器对人的健康状况进行半自动监视等。用于目标识别的技术主要有模板法^[38,39]、聚类分类^[40]、自适应神经网络^[41],或识别实体身份的基于知识的技术^[42]。

目标识别(属性)层的信息融合有三种方法,即决策级融合、特征级融合和数据级融合。

1. 决策级融合

在决策级融合方法中,每个传感器都完成变换以便获得独立的身份估计,然后再对来自每个传感器的属性分类进行融合。用于融合身份估计的技术包括表决法、Bayes 推理、Dempster-

Shafer 方法、推广的证据处理理论、模糊集法以及其他各种特定方法^[43]。

2. 特征级融合

在特征级融合方法中,每个传感器观测一个目标并完成特征提取以获得来自每个传感器的特征向量。然后融合这些特征向量并基于获得的联合特征向量来产生身份估计。在这种方法中,必须使用关联处理把特征向量分成有意义的群组。由于特征向量很可能是具有巨大差别的量,因而位置级的融合信息在这一关联过程中通常是有用的。

3. 数据级融合

在数据级融合方法中,对来自同等量级的传感器原始数据直接进行融合,然后基于融合的传感器数据进行特征提取和身份估计。为了实现这种数据级的信息融合,所有传感器必须是同类型的(例如若干个红外(IR)传感器)或是相同量级的(如红外(IR)和可见光图像传感器)。通过对原始数据进行关联,来确定已融合的数据是否与同一目标或实体有关。有了融合的传感器数据之后就可以完成象单传感器一样的识别处理过程。对于图像传感器,数据级融合一般涉及到图像画面元素级的融合,因而数据级融合也常称为像素级融合。像素级融合主要用于多源图像复合、图像分析和理解、同类雷达波形的直接合成等。

1.2.2.4 态势评估

态势评估(Situation Assessment 简称 SA)是对战场上战斗力量分配情况的评价过程。它通过综合敌我双方及地理、气象环境等因素,将所观测到的战斗力量分布与活动和战场周围环境、敌作战意图及敌机动性能有机地联系起来,分析并确定事件发生深层原因,得到关于敌方兵力结构、使用特点的估计,最终形成战场综合态势图。在综合电子战系统中,态势评估的功能是对战场监视区域内所有目标的状态与其先验的可能情况加以比较,以便获得战场兵力、电子战武器部署情况、军事活动企图及敌我双方平台的分布、航向、速度等变化趋势的综合文件^[44,45]。

现代战争是信息化的战争,敌我双方都将采用一系列手段破坏对方 C³I 系统的正常工作,以达到控制战场上兵力布局的目的。态势评估不仅可以识别观测到的敌方事件和行为的可能态势,给出一个具有实际意义的评估形式,而且还能对抗敌方的包括伪装、隐蔽和欺骗在内的破坏手段,帮助指挥员作出正确的判断。因而,态势评估在现代战争中起着非常重要的作用。

态势评估首先要确定态势要素,态势要素的估计结果实际上是提供给指挥员的战场态势综合视图,它包括红色视图——我方态势,蓝色视图——敌方态势,白色视图——天气、地理等战场态势,它们合成一幅战场综合态势图,并为威胁估计提供依据。在态势评估要素的确定过程中还必须进行某些对抗要素的估计,然后努力确定上下关系环境、社会政治背景及双方的兵力布局/使用/定位^[46]。

SA 的理想结果为:反映真实的战场态势;提供事件、活动的预测,并由此提供最优传感器管理的依据。因而,SA 处理的是正在发生的以及前面已经发生且现在正在进行的事件或活动,它重点描述所关心区域内的行为样式。目前的研究结果一般只包含了这些功能的一部分,并且各功能的复杂性和适用性会随着应用领域的不同而变化。

关于态势评估目前尚无完整的定义,但可以明确,它具有以下几个特点:

- 态势评估是分层假设描述和评估处理的结果,每个备选假设(态势)都有一个不确定性关联值;
- 认为不确定性最小的假设是最好的;
- 态势评估是用认为最好的态势要素的当前值来描述;
- 态势评估是一个动态的、按时序处理的过程,其结果水平将随时间的增长而提高。

1.2.2.5 威胁估计

同态势评估的概念一样,“威胁”的定义同样存在差异。通常,威胁判定是通过将敌方的威胁能力,以及敌人的企图进行量化来实现的。可见,态势评估建立了关于作战活动、事件、机动和位置以及兵力要素组织形式的视图,并由此估计出发生的和正在发生的事情。威胁估计的任务是在此基础上,综合敌方破坏能力、机动能力、运动模式及行为企图的先验知识,得到敌方兵力的战术含义,估计出作战事件出现的程度或严重性,并对作战意图作出指示与告警。其重点是定量表示敌方作战能力,并估计敌方企图^[45~47]。

威胁估计也是一个多层视图的处理过程,该处理用我方兵力有效对抗敌方的能力来说明致命性与风险估计。威胁估计也包括对我方薄弱环节的估计,以及通过对技术、军事条令数据库的搜索来确定敌方意图。

态势与威胁评估(Situation and Threat Assessment 简称 STA)作为战场中的高层次信息处理过程,具有以下特点:

STA 是多级的活动,其信息流几乎总是跨越不同的层次来进行融合处理,并且在不同的层次上进行控制,这就要求 STA 的分析处理必须对级内或跨级的控制有较敏感的操作。

STA 是多功能的处理技术,它包括概念和信息管理、决策生成和实现等,其核心是推理技术。因此,需要大范围的辅助系统和方法库,以得到精确、合理的推论,以及易理解、易管理、易通信的选择集合。包括和平时刻、危急关头和战争期间的多级工作态势。此外,STA 还受心理学等因素的影响。

STA 的这些特征使其变得非常复杂,是信息融合技术研究的薄弱环节。目前,对这类很复杂的问题只能部分解决,所实现的部分算法有:多样本假设检验^[48]、经典推理^[2]、模糊集理论^[1]、模板技术^[1]、品质因数法^[1]、专家系统技术^[49~51]、黑板模型和基于对策论与决策论的评估方法^[52,53]等。

1.3 信息融合技术的应用

1.3.1 信息融合的民事应用领域

信息融合技术在民事和军事上都有着十分广泛的应用,民事中可能的应用包括下述一些领域。

1. 工业过程监视

工业过程监视是一个明显的信息融合应用领域,融合的目的是识别引起系统状态超出正

常运行范围的故障条件,并据此触发若干报警器。核反应堆监视和石油工业中的平台监视是这类监视的典型例子。

2. 工业机器人

工业机器人使用模式识别和推理技术来识别三维对象,确定它们的方位,并引导机器人的附件去处理这些对象。机器人采用的是较近物理接触的传感器组 and 与观测目标有较短距离的遥感传感器,如 TV 摄影机等。机器人通过融合来自多个传感器的信息,避开障碍物,使之按照通常的指挥行动。随着传感器技术的发展,机器人上的传感器数量将不断增加,以便使它更自由地运动和更灵活地动作。为此,近年来机器人信息融合技术的研究受到特别的重视^[54~57]。

3. 遥感

遥感主要应用于对地面的监视,以便识别和监视地貌、气象模式、矿产资源、植物生长、环境条件和威胁情况(如原油泄漏、辐射泄漏等)。使用的传感器如合成孔径雷达等。遥感系统信息融合的目的是通过协调所使用的传感器,对物理现象和事件进行定位、识别和解释。

4. 毒品检查

5. 病人照顾系统

病人的状况随时随地在变化,要根据各种数据源,如传感器、病历、本人病史、气候、季节等的信息决定其护理、诊断和治疗方案,用信息融合技术综合处理这些数据是一种好方法。

6. 金融系统

大公司或企业金融(财会)系统或国家经济管理系统是要利用许多信息源的,因而有一个信息融合问题。

7. 船舶避碰与交通管制系统

在船舶避碰和船舶交通管制系统中,通常依靠雷达、声纳、信标、灯塔、气象水文、全球定位系统(GPS)等传感器提供的信息以及航道资料数据,来实现船舶的安全航行和水域环境保护。在这一过程中信息融合技术发挥着非常重要的作用^[58,59]。

8. 空中交通管制

空中交通管制系统是一个复杂的整体,它包括工作人员、管理机构、技术资源和操作程序管理,其目的是为了建立安全、高效而又秩序井然的空中交通。换句话说,是为了合理地利用空中交通资源,减小延迟和调度等待时间并选用合适航线以节省燃料,从而降低业务费用,改善服务质量。空中交通管制系统主要由导航设备、监视和控制设备、通信设备和人员四个部分组成。导航设备可使飞机沿着指定航线飞行,运用无线电信息识别出预先精心设置的某些地理位置,飞行员再把飞越每个固定地点的时间和高度信息转送到地面,然后通过融合技术检验与飞行计划是否一致。监视和控制设备的目的是修正飞机对指定航线的偏离,防止相撞并调度飞机流量。其中主要由一、二次雷达的融合提供有关飞机位置、航向、速度和属性等信息。现在的航管设备是在不同传感器(多雷达结构)、计算机和操纵台之间进行完整的信息综合。调度人员则

监视空中飞机的飞行情况,并及时提出处理危险状况的方法。空中交通管制系统是一个典型的多因素、多层次的信息融合系统^[50]。

信息融合最早是在军事上提出来的,应用范围很广,涉及各种战术、战役和战略 C³I 系统任务的各个方面。1.3.3 节将作专门介绍。

1.3.2 信息融合问题分类

军用信息融合与民用信息融合之间通常存在着明显的差别,这种差别的出现是由于大部分民用系统在“人为设计的世界”或温和的现实世界中运行,而大部分军事系统则必须在敌对的现实世界中运行。为了说明这种差别,根据问题的性质,可将信息融合问题分成三类^[45]:设计世界、温和的现实世界和敌对世界。

设计世界如工业过程监视、机器人视觉和交通管制等。其特点是:已知正常或 OK 状态;可靠、精确的信息源;固定的数据库;互相协作的系统要素。

温和的现实世界如气象预报、金融系统和病人监护等。其特点是:部分已知状态;可靠的信息源但覆盖范围差;部分可变的数据库;系统不受感觉影响。

敌对现实世界如各种军用 C³I、陆海空警戒、目标指示、目标跟踪和导航等系统。其特点是:不易确定正常状态;信息源可能不精确、不完整、不可靠,易受干扰;高可变的数据率;感觉可有效地影响系统;不相互协作的系统要素。

虽然本书主要讲述敌对现实世界中的信息融合算法及应用,但这些内容对其他两类融合问题也有重要的参考价值。关于敌对现实世界,文献[45]又进一步把它分为小世界和大世界。

小世界如用于目标指示或机器人导航的近距离传感器系统,其特点是:主要是实时的传感器数据;完全的传感器覆盖;快而准确的结果;较少人工投入。

大世界如空一空、地一空防御,海一空、水面和水下防御,战场监视,远距离目标指示等。其特点是:不完全的传感器覆盖;不精确、不及时的传感器数据;可获得很多数据或情报;可变的响应要求;需要许多世界知识以获得最好结果;较多人工投入。

小世界中的信息融合往往使用“数据互联”或“数据综合”这一类术语,自备式运载器和快速响应近程武器系统属于这一类信息融合。大世界中信息融合的应用,不仅需要投入较多的人力,而且要提供可能有助于融合和解释的某些输入信息,以及必须要了解和使用融合结果有关的因素。海军信息融合,特别是舰艇和编队级信息融合问题是最典型的大世界融合应用。

1.3.3 信息融合技术在军事上的应用

1.3.3.1 信息融合技术在军事上的应用概述

随着现代战争出现的新情况,许多因素推动着自动化信息融合系统的研究开发:

(1) 目标机动性的提高和武器杀伤力的增强,要求在时间上及早地检测和识别出目标,要求较短的系统反应时间。

(2) 更加复杂的威胁,即目标平台的多样性和密集性、低可观测性、对抗措施的先进性,要求进一步提高探测和识别能力,从而使传感器数量和种类急剧增加。