



**Multisensor Information Fusion
With Applications (Second Edition)**

多传感器 信息融合及应用 (第二版)

何 友 王国宏 陆大绶 彭应宁 著
HE You WANG Guohong LU Dajin PENG Yingning



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<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

(第二版)

Multisensor Information Fusion With Applications

(Second Edition)

何 友 王国宏 陆大维 彭应宁 著

HE You WANG Guohong LU Dajin PENG Yingning

电子工业出版社

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20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,多传感器信息融合系统功能和结构模型,分布式检测与融合,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航迹关联算法,雷达和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,利用属性融合技术识别雷达辐射源,多传感器目标识别融合模型,最后是本书的回顾、建议与展望。本书可供从事信息工程、C⁴ISR系统、雷达工程、电子对抗、红外、声呐、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,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

多传感器信息融合及应用/何友等著. —2版. —北京:电子工业出版社,2007.12
ISBN 978-7-121-05279-8

I. 多… II. 何… III. 传感器-信息处理 IV. TP212

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第168756号

责任编辑:王春宁 特约编辑:王占禄

印 刷:北京东光印刷厂

装 订:三河市鹏成印业有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编100036

开 本:787×1092 1/16 印张:23.5 字数:592千字

印 次:2007年12月第1次印刷

印 数:4000册 定价:49.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。
联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlt@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。



何 友生于1956年10月，男，吉林磐石人。1982年毕业于海军工程大学指控系统专业，获学士学位；1988年在该校火力控制系统专业获硕士学位；1991年10月至1992年11月在德国不伦瑞克工业大学作高级访问学者；1997年在清华大学通信与信息系统专业获博士学位。现为海军航空工程学院院长、教授、博士生导师；中国电子学会会士；中国电子学会雷达分会副主任委员；中国造船学会电子技术委员会委员；国家“863”专家；总装备部专家组成员；《现代雷达》、《数据采集与处理》、《火力与指挥控制》、《雷达科学与技术》等杂志编委。主要研究领域有雷达自适应检测方法、多传感器信息融合、多目标跟踪、分布检测理论及应用、系统仿真与作战模拟等。在国内外核心期刊和重要国际会议上发表论文200余篇，有150余篇论文被SCI、EI和ISTP等国际检索收录；出版专著5部。在科研成果中，获国家科技进步二等奖2项；获军队科技进步一等奖5项；二等奖4项；三等奖18项。荣立二等功4次、三等功2次。1999年入选国家“百千万人才工程”第一、二层次；2000年获“全国百篇优秀博士论文奖”和中国科协“求是杰出青年实用工程奖”；2001年被教育部授予“全国优秀教师”称号，享受政府特殊津贴；2003年被授予“全国留学回国人员先进个人”荣誉称号，并获“全国留学回国人员成就奖”；2006年获中国人民解放军专业技术重大贡献奖。



王国宏生于1963年，男，山西沁水人。现任海军航空工程学院电子信息工程系副主任、教授、博士生导师。中国电子学会无线电定位分会委员、中国海用雷达协会电子专业委员会委员、国家基础科学人才培养基金评审专家、《海军航空工程学院学报》编委。先后荣立二等功、三等功各1次。2004年获第六届“全国百篇优秀博士学位论文”奖；2005年被国家人事部和全国博士后管委会授予“全国优秀博士后”荣誉称号；2006年获国务院政府特殊津贴、军队优秀专业技术人才一类岗位津贴，被评为“海军优秀基层主官标兵”；2007年被山东省人民政府确定为“泰山学者”特聘教授。先后主持和参加了包括国家自然科学基金、863等在内的32项科研课题，获国家科技进步二等奖1项、军队科技进步一等奖3项、二等奖2项、三等奖6项。出版专著3部，其中《多传感器信息融合及应用》专著获国家科技学术著作出版基金资助；《分布式检测、跟踪与异类传感器数据关联与引导技术》获全国优秀博士学位论文出版基金资助；《Hough变换及其在信息处理中的应用》获“军队2110工程”专著资金资助。在国内外刊物及国际会议上发表学术论文150余篇，被SCI、EI和ISTP国际三大检索收录50余篇。

反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可,复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为;歪曲、篡改、剽窃本作品的行为,均违反《中华人民共和国著作权法》,其行为人应承担相应的民事责任和行政责任,构成犯罪的,将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序,保护权利人的合法权益,我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为,本社将奖励举报有功人员,并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话:(010)88254396;(010)88258888

传 真:(010)88254397

E-mail:dbqq@phei.com.cn

通信地址:北京市万寿路173信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编:100036

第二版前言

信息融合作为高层次的共性关键技术,在军事和国民经济领域得到了广泛的应用。进入21世纪以来,信息融合技术得到了更加飞速的发展,特别是在网络中心战、协同作战能力(CEC)、弹道导弹防御、天基遥感、 C^4 ISR(或 C^4 KISR)等领域或复杂大系统中,信息融合已成为亟待解决的关键技术难题,得到了更广泛的重视。

《多传感器信息融合及应用》自从2000年出版第一版以来,受到广大读者的厚爱 and 关怀,作者对此表示衷心的感谢。在这段时间内,已印刷了2次。多传感器信息融合理论、算法和应用的不断发展,使我们迫切感觉到要对本书进行修改和补充新的内容,以适应当前信息融合学科发展的需要。

本书是在2000年由我们所著《多传感器信息融合及应用》的基础上加以修改和增订而成的。这次修订主要做了如下工作:①综合近几年信息融合技术的发展,对信息融合的研究现状给予了更全面的阐述;②充实了信息融合技术所需的基础理论,对状态估计和不确定推理方法两章内容进行了完善和扩充,特别是对主观Bayes方法和证据理论的应用给予了较详细的叙述;③充实了信息融合应用的内容,增加了信息融合技术新的应用举例;④对分布式检测融合一章进行了删节,重写了并行结构、串行结构和带反馈并行结构中的分布检测与信息融合,去掉了模糊环境下的分布式检测融合内容;⑤对集中式多传感器综合跟踪一章进行了修改,增加了多传感器联合概率数据互联法的算法流程框图,重写了广义 S 维分配算法,并给出了应用实例;⑥对全书内容进行了优化,压缩了一些重复的内容,删除了不实用的内容,如去掉了不等样本容量下基于统计理论确定雷达与ESM关联算法门限的Monte Carlo方法、删除了基于组合优化的雷达与ESM关联算法等;⑦改写了多传感器信息融合系统中的状态估计模型;⑧重写了单站情况下航迹质量管理的优化内容;⑨改写了基于不确定推理、可能性理论的雷达辐射源识别方法,去掉了基于模糊综合函数的辐射源识别方法;⑩充实了目标识别融合算法。此外,根据近年来国内外的研究成果,本书增加了必要的参考文献,并对一些文字叙述不确切之处进行了修正,旨在进一步增加本书的可读性。

在本书第二版出版之际,本书第一、二著者在此衷心感谢多年来郭桂蓉院士、保铮院士、沈昌祥院士、李德毅院士、凌永顺院士、刘怡昕院士、黄先祥院士、张光义院士、贾德院士、王越院士、毛二可院士、高俊院士、林祥棣院士、刘永坦院士、钟山院士、黄培康院士等对我们的科学研究工作所给予的指导、关心和帮助。

在本书撰写出版过程中,烟台海军航空工程学院关欣博士、修建娟副教授、衣晓副教授、熊伟博士、宋强硕士、苏伟硕士生等参加了本书的修改和部分文字录入工作,作者在此向他们表示感谢。作者还要感谢电子工业出版社,特别是王春宁编辑对本书按期高质量出版的大力支持。

我们希望本书的出版,不仅给广大从事信息工程、模式识别、军事指挥等专业的科技人员提供一本可读性较好的参考书,也给学习信息融合课程的研究生提供一本内容比较全面的教材。

恳请广大读者能一如既往地关心本书,并提出宝贵的意见和建议。谢谢!

何 友 王国宏

二〇〇七年六月

于烟台海军航空工程学院

第一版前言

随着科学技术的飞速发展,现代战争已发展到在陆、海、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 C^3I 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 C^3I 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 20 世纪 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 15 章,这 15 章实际上可分为三大部分:第 1 章至第 4 章是信息融合基础;第 5 章至第 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,以及统计航迹关联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 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 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、多级式和混合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、多属性模糊加权和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。因本书英文代号较多,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做出面面俱到的介绍。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、酆能敬教授、周恩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技学术专著基金委员会对本著作出版的资助。

何 友 王国宏 陆大缙 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 多传感器信息融合概述	(1)
1.1 多传感器信息融合的目的和定义	(1)
1.2 多传感器信息融合的基本原理	(2)
1.3 多传感器信息融合技术的应用	(7)
1.4 多传感器信息融合技术研究的历史与现状	(10)
1.5 背景资料	(12)
第 2 章 状态估计基础	(13)
2.1 引言	(13)
2.2 线性系统估计—Kalman 滤波技术	(13)
2.3 运动模型的稳态滤波器	(22)
2.4 非线性系统的状态估计	(26)
2.5 小结	(33)
第 3 章 不确定推理方法	(35)
3.1 引言	(35)
3.2 不确定性推理方法之一——主观 Bayes 方法	(35)
3.3 不确定性推理方法之二——证据理论	(40)
3.4 主观 Bayes 方法和证据理论的比较	(46)
3.5 小结	(46)
第 4 章 多传感器信息融合系统功能和结构模型	(48)
4.1 信息融合系统的功能模型	(48)
4.2 信息融合系统的结构模型	(49)
4.3 信息融合技术在军事上的应用举例	(54)
4.4 小结	(59)
第 5 章 分布式检测与融合	(61)
5.1 引言	(61)
5.2 局部判决融合规则设计	(61)
5.3 并行结构中的分布检测与融合	(67)
5.4 串行结构中的分布检测与融合	(72)
5.5 带反馈并联网络中的分布检测与融合	(76)
5.6 分布式 CFAR 检测	(82)
5.7 小结	(86)
第 6 章 集中式多传感器综合跟踪算法	(88)
6.1 引言	(88)
6.2 多传感器联合概率数据互联算法	(88)
6.3 多传感器多目标跟踪的广义 S 维分配算法	(104)

6.4	多雷达综合跟踪	(116)
6.5	小结	(127)
第7章	分布式多传感器信息融合中的统计航迹关联算法	(128)
7.1	引言	(128)
7.2	加权和修正航迹关联算法	(129)
7.3	序贯航迹关联算法	(130)
7.4	统计双门限航迹关联算法	(136)
7.5	最近邻域和 K 近邻域航迹关联算法	(141)
7.6	修正的 K 近邻域航迹关联算法	(142)
7.7	多局部节点情况下的统计航迹关联算法	(149)
7.8	统计航迹关联算法性能分析	(154)
7.9	在空中交通管制中的应用	(160)
7.10	比较与总结	(163)
第8章	分布式多传感器信息融合中的模糊航迹关联算法	(166)
8.1	引言	(166)
8.2	模糊因素集与隶属度函数	(166)
8.3	模糊因素的确定与模糊集 A 的动态分配	(167)
8.4	模糊双门限航迹关联算法	(169)
8.5	基于模糊综合函数的航迹关联算法	(173)
8.6	多因素模糊综合决策航迹关联算法	(176)
8.7	多局部节点情况下的模糊航迹关联算法	(179)
8.8	模糊航迹关联算法的性能分析	(181)
8.9	小结	(183)
第9章	雷达和 ESM 数据关联	(184)
9.1	引言	(184)
9.2	等样本容量下的雷达和 ESM 航迹关联	(184)
9.3	不等样本容量下基于统计理论的雷达和 ESM 航迹关联	(187)
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	(198)
9.5	动态和属性信息在雷达和 ESM 数据关联中的应用	(207)
9.6	小结	(210)
第10章	红外传感器目标跟踪及雷达—红外融合跟踪	(212)
10.1	引言	(212)
10.2	基于修正球坐标系的红外目标跟踪	(213)
10.3	基于定向概率数据互联滤波 (DPDAF) 的红外目标跟踪	(220)
10.4	基于红外传感器的机动检测	(223)
10.5	基于图像质心位置和质心位移测量的红外目标跟踪	(226)
10.6	基于最优数据压缩的雷达和红外融合目标跟踪	(230)
10.7	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	(234)
10.8	基于 IMM/MSPDAF 的雷达和红外融合跟踪	(239)
10.9	小结	(246)

附录 10A	MSC 中非线性状态方程的推导	(246)
附录 10B	目标航向协方差阵的推导	(248)
附录 10C	质心测量误差方差的推导	(249)
第 11 章	多传感器信息融合中的状态估计	(251)
11.1	引言	(251)
11.2	状态估计基本方程描述	(251)
11.3	集中式多传感器信息融合系统中的状态估计	(252)
11.4	分布式多传感器信息融合系统中的状态估计	(254)
11.5	多级式多传感器系统中的分层估计	(260)
11.6	混合式多传感器信息融合系统中的状态估计	(264)
11.7	带反馈信息的分布估计	(266)
11.8	带反馈信息的多层估计	(272)
11.9	小结	(275)
第 12 章	多传感器信息融合中的航迹文件管理	(277)
12.1	引言	(277)
12.2	航迹号管理	(277)
12.3	多传感器综合跟踪系统中的航迹质量管理技术	(278)
12.4	分布式系统中的关联映射	(284)
12.5	系统航迹的建立、保持与撤销	(285)
12.6	几个有关问题的讨论	(285)
12.7	小结	(287)
第 13 章	利用属性融合技术识别雷达辐射源	(288)
13.1	引言	(288)
13.2	不确定推理在雷达辐射源识别中的应用	(288)
13.3	可能性理论在雷达辐射源识别中的应用	(292)
13.4	利用多属性模糊加权方法识别雷达辐射源	(295)
13.5	小结	(298)
第 14 章	多传感器目标识别融合模型	(299)
14.1	引言	(299)
14.2	基于最大后验概率的目标识别融合	(301)
14.3	基于 D-S 证据理论的目标识别融合	(301)
14.4	基于模糊综合的目标识别融合	(308)
14.5	基于黑板模型的多传感器目标识别融合	(311)
14.6	小结	(314)
第 15 章	回顾、建议与展望	(316)
15.1	引言	(316)
15.2	研究成果回顾	(316)
15.3	问题与建议	(318)
15.4	研究方向展望	(320)
	参考文献	(323)
	英文缩写对照表	(360)

第 1 章 多传感器信息融合概述

1.1 多传感器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,实时获取目标发现、状态估计、目标属性、行为意图、态势评估、威胁分析等信息,为火力控制、作战指挥提供辅助决策,实现从传感器到射手的一体化。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实时性,都已大大超出了人脑的信息综合处理能力,因此,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, MSDF, 或 Multisensor Information Fusion, MSIF)便迅速地发展起来,并在现代 C⁴ISR 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 多年来,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^[1~9,586,591,601~604]。军事应用包括海上和空间监视、空-空和地-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、设备自动监视、医疗诊断和机器人技术等。多传感器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,它又被称做多源关联、多源合成、传感器集成或多传感器融合,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,事实上,信息融合已有多种定义,但其实质内容是基本一致的。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。由参考文献[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。

多传感器信息融合在解决探测、跟踪和目标识别等问题上,可带来许多性能裨益:

(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地连续运行、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,进而增加了系统的空间监视范围和检测概率。

(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) 提高了空间分辨率。多传感器孔径可以获得比任何单一传感器更高的分辨率,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,如成本的提高,设备尺寸、重量、功耗等物理因素的增大,以及因辐射增多而使系统被敌方探测的概率增加。因此,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 多传感器信息融合的基本原理

1.2.1 信息融合的基本原理

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5个层次,融合可分成5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,现在它的应用已拓展到气象预报、医疗诊断和组织管理决策等众多领域^[12~15,589,592,605]。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。在多传感器分布式检测系统中,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,即中心处理来自局部节点的统计量或置信度。在分布式检测系统中,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,例如网络在通信中断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^[16~21,589,591,606~608]。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等^[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,最后对来自于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探测报告,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。这类系统主要常见于海上多平台、各种战略和战役 C⁴ISR 系统^[32,34]。

1.2.2.3 目标识别级的融合

目标识别也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],以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],或基于知识的技术^[42]。