

信 息 融 合

Information Fusion

王润生 编著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

信息融合是一门新兴的学科,是协同利用多源信息进行决策和行动的理论、技术和工具,比仅利用单信息源或非协同利用部分多源信息,提供更准确和更稳健的性能。信息融合在国民经济和国防建设中已经和正在发挥重要作用。全书分为两个大部分:第一部分是基础融合方法,在概括介绍信息融合的基本概念后,分别讨论了数据支持、基于统计的融合决策、基于不精确推理的融合决策、基于智能模型的融合决策和融合结构等内容;第二大部分是面向目标识别的信息融合,在目标识别概论后,分别讨论了融合增强、融合检测、融合分类、融合跟踪、融合重建和态势估价概论等内容。

本书可作为高等院校相关专业高年级本科生和研究生的教材或者自学读物使用,也可供从事相关领域研究的科研人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

信息融合/王润生编著. —北京:科学出版社,2007

ISBN 978-7-03-019892-1

I. 信… II. 王… III. 信息处理-研究 IV. G202

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 136817 号

责任编辑:匡敏 余江 潘继敏/责任校对:钟洋
责任印制:张克忠/封面设计:陈敬

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007 年 9 月第 一 版 开本: B5(720× 1000)

2007 年 9 月第一次印刷 印张: 23

印数: 1—3 000 字数: 436 000

定价: 40.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈科印〉)

前 言

人类所处的世界内容丰盈纷繁、状态变化多姿,我们通过感知、探测、识别、理解和相应的行为响应,适应它以求安全生存、利用它以求和谐发展、改造它以求实现特殊意图或者使命。信息及其处理贯穿人类所有活动的全过程,获取信息和依据信息的决策又是其中的两个最关键的环节。随着科学技术的发展和工业基础的增强,特别是传感器技术、计算技术和信息处理技术的迅速发展,面向经济建设和军事斗争需求的信息获取与决策处理有了更广阔的空间。自 20 世纪 80 年代中期以来,主要在军事和工业自动化需求的推动下,依据多传感器和多信息源的信息融合开始崭露头角,并得到了迅速发展与壮大,理论与应用成果不断涌现,已经且正在军事斗争和国民经济等诸多领域中发挥重要作用。信息融合已经成为公认的、广为关注的一个新兴学科,是当今信息社会的主要支柱技术之一。

我在十余年前接触这个学科,学习并消化了一些资料,研究了一些相关的课题,也先后开设过相关的研究生课程。多年来一直在学习与思考:什么是其核心概念,什么是其主要内涵和贯穿的主线,什么是其主要技术途径、理论和方法,什么是其主要的应用。应该说通过写这本书,终于获得了一个初步的总结。这些结论与看法,能否在把握方向、指出途径和解释典型方法方面起到一点作用,尚待考察。尽管有文献资料佐证、主观上力避出现挂一漏万的错误,但毕竟是自我消化形成,必定会存在差错和不当之处,恳请专家与读者给予指正。

如果此书的问世,能够引起更多的新人对本学科的关注,能够促进相关的研讨,能够对相关研究与应用有所启发,本人将不胜欣慰。

作 者 谨 识

2007 年 5 月

于国防科学技术大学 ATR 重点实验室

目 录

前言

第一章 导论	1
1.1 什么是信息融合	1
1.2 信息融合基础概念	4
1.2.1 融合单元和融合结构	5
1.2.2 如何进行信息融合	8
1.2.3 典型的融合处理过程	9
1.2.4 典型的融合决策方法	11
1.2.5 信息融合的层次	13
1.3 本书内容结构安排	14
参考文献	15
第二章 信息融合的数据支持	18
2.1 数据汇集概述	18
2.1.1 实体与传感器的表述	19
2.1.2 数据汇集的基础要求	20
2.2 传感器系统与管理	21
2.2.1 传感器和传感器系统概述	21
2.2.2 传感器管理概述	24
2.3 数据关联	30
2.3.1 基本问题	30
2.3.2 数据关联典型分类	31
2.3.3 数据关联的处理方法	33
2.3.4 关联度量方法	36
2.4 关联数据的特性分析	39
2.4.1 单元变量的特性分析	39
2.4.2 多元变量的特性分析	42
2.5 小结	43
参考文献	44
第三章 基于统计的融合决策	46
3.1 贝叶斯决策	46

3.1.1	贝叶斯规则	46
3.1.2	贝叶斯决策的说明举例	47
3.1.3	用于传感器观测的贝叶斯决策函数	49
3.1.4	动态估计方法	51
3.2	基于正则理论的统计决策	52
3.2.1	基本概念	52
3.2.2	正则化理论与贝叶斯框架的关系	54
3.3	动态状态的最优估计	55
3.3.1	非线性贝叶斯跟踪	56
3.3.2	最佳滤波	57
3.4	动态状态的次最佳滤波	59
3.4.1	EKF	59
3.4.2	近似网格	60
3.4.3	UKF	61
3.4.4	粒子滤波	62
3.5	小结	65
	参考文献	65
第四章	基于不精确推理的融合决策	67
4.1	不确定性概述	67
4.1.1	不确定性源与表示	67
4.1.2	不确定性的分类	68
4.2	关于信息融合的可靠性	69
4.2.1	信息融合过程中可靠性定义	69
4.2.2	信息融合过程使用可靠性度量的策略	70
4.2.3	确定可靠性系数的方法	70
4.3	主观贝叶斯推理	72
4.3.1	知识不确定性的表述	72
4.3.2	证据不确定性的表述	73
4.3.3	多个证据的组合	74
4.4	DS 证据理论推理方法	74
4.4.1	基本方法	74
4.4.2	基于证据理论的决策基础方法	75
4.4.3	考虑可靠性的融合规则	76
4.4.4	冲突证据组合	77
4.5	模糊推理	80

4.5.1	基本概念	80
4.5.2	模糊推理运算	81
4.6	模糊积分	82
4.6.1	模糊测度	82
4.6.2	模糊积分	83
4.7	可能性理论	84
4.7.1	基本定义	84
4.7.2	交易规则	84
4.7.3	折扣规则	85
4.8	小结	85
	参考文献	86
第五章	智能模型和融合结构	88
5.1	智能模型融合决策概述	88
5.1.1	知识表示概述	88
5.1.2	智能处理的基础概念	90
5.2	贝叶斯网络	91
5.2.1	贝叶斯网络的结构和构建方法	92
5.2.2	贝叶斯网络的推断处理	95
5.2.3	贝叶斯网络的扩展	98
5.3	智能体	99
5.3.1	什么是智能体	99
5.3.2	多智能体	100
5.3.3	多智能体系统的研究主题	102
5.4	本体论概述	104
5.4.1	基本概念	104
5.4.2	基于本体论的信息融合	106
5.5	基础的融合结构	108
5.5.1	中心式与分布式融合结构	108
5.5.2	层次融合结构	109
5.5.3	黑板融合结构	110
5.5.4	非中心式融合结构	112
5.5.5	融合单元之间的耦合关系	113
5.5.6	考虑统一分析框架的融合处理结构	114
5.5.7	基于智能体的分布感知网络	115
5.6	小结	118

参考文献.....	118
第六章 目标识别概论	122
6.1 目标识别基础概念	122
6.1.1 模式识别基础概念.....	123
6.1.2 目标识别的基础方法	127
6.2 目标融合识别面临的问题	131
6.2.1 目标识别层次的扩展	132
6.2.2 传感器资源的有效使用	134
6.2.3 融合处理结构的新内涵	138
6.2.4 信息估价和仿真验证平台	145
参考文献.....	150
第七章 融合增强	154
7.1 面向细节的图像可视融合增强	154
7.1.1 基于空间域和变换域的融合增强方法	155
7.1.2 基于神经感知模型的融合增强方法.....	157
7.1.3 基于统计特性的图像融合增强模型.....	159
7.1.4 面向可视增强的图像融合性能客观评价	160
7.2 面向多光谱图像的融合增强	165
7.2.1 常用融合方法回顾.....	165
7.2.2 两个典型的新融合方法	167
7.2.3 多光谱图像融合效果评价	171
7.3 基于序列图像的融合增强	172
7.3.1 时间域累积的融合增强	172
7.3.2 两个序列图像的融合增强	174
7.4 小结	176
参考文献.....	176
第八章 融合检测	179
8.1 目标的融合检测	179
8.1.1 独立传感器的融合检测	180
8.1.2 基于相关器的融合检测	183
8.2 面向雷达杂波模型化的分布融合	186
8.3 基于图像的目标融合检测	189
8.3.1 基于SAR 和 HIS 融合检测伪装目标	189
8.3.2 基于多特征与多线索的串形融合检测	190
8.3.3 基于统计模型的特征层融合检测	192

8.4 目标与地域的变化检测	195
8.4.1 常用的变化信息提取方法	196
8.4.2 基于独立成分分析的变化检测算法	197
8.4.3 基于差分图像融合的变化检测算法	199
8.5 对象的融合检索	203
8.5.1 基于多特征的融合内容检索	203
8.5.2 基于贝叶斯网络的融合检索	204
8.6 小结	210
参考文献	210
第九章 融合分类	215
9.1 数据层融合分类方法	216
9.2 特征层融合分类	219
9.2.1 特征层融合分类的基本方法	219
9.2.2 异类传感器特征层融合分类	221
9.2.3 特征层的高光谱图像分类	225
9.2.4 基于多特征的图像语义分类	229
9.3 图像元特征的融合提取	231
9.3.1 图像元特征的融合提取	231
9.3.2 彩色地形图中等高线的提取	236
9.4 决策层融合分类	238
9.4.1 分类器选择	239
9.4.2 分类器基础结构	241
9.4.3 分类器集合体的协同训练	243
9.5 小结	245
参考文献	246
第十章 融合跟踪	250
10.1 中心式融合结构的多传感器估计和目标跟踪	250
10.1.1 群传感器方法	250
10.1.2 序贯传感器方法	252
10.1.3 逆协方差形式方法	254
10.2 非同步多传感器估计和目标跟踪	259
10.2.1 异步观测	259
10.2.2 延迟观测	260
10.2.3 潜伏观测	262
10.3 航迹-航迹的融合	262

10.3.1	一般航迹-航迹关联概念	262
10.3.2	异类传感器航迹融合	265
10.3.3	基于报告层的航迹融合	267
10.4	单图像和同类型图像的目标融合跟踪	268
10.4.1	目标图像跟踪的一般概念	269
10.4.2	单成像传感器多线索融合跟踪	270
10.4.3	同类多传感器的融合跟踪	272
10.5	基于异类多传感器和异类信息源的融合跟踪	277
10.5.1	两层闭环的异类融合跟踪	277
10.5.2	分布式的融合监视	280
10.5.3	运动平台上的融合跟踪	282
10.6	小结	284
	参考文献	285
第十一章	融合重建	289
11.1	3D 目标表述与重建方法概述	289
11.1.1	3D 目标的表示方法	289
11.1.2	目标重建基础方法回顾	291
11.2	基于光学传感器的目标融合重建	295
11.2.1	基于双目灰度图像融合求解视差	296
11.2.2	基于阴影与视差信息融合重建	298
11.3	基于异类传感器的目标融合重建	301
11.3.1	基于 LIDAR 的建筑物重建	302
11.3.2	面向对地观测目标的融合重建	303
11.3.3	基于轮廓的目标融合重建	308
11.4	面向目标识别的融合重建	311
11.4.1	基于 2D 视面组合模型的 3D 重建	311
11.4.2	3D 不变特征	314
11.5	面向应用环境的融合重建	317
11.5.1	环境融合重建概述	317
11.5.2	面向战场应用的环境融合重建	319
11.6	小结	321
	参考文献	322
第十二章	态势估价概论	325
12.1	军事应用模型	325
12.2	态势估价模型	329

12.2.1 态势的内涵	329
12.2.2 典型的态势估价模型	333
12.3 SA 的设计	337
12.3.1 SA 设计概述	337
12.3.2 基于认知融合的 SA	340
12.3.3 基于本体论的方法	343
12.3.4 多智能体的信息融合系统	348
参考文献	351
结束语	355

第一章 导 论

1.1 什么是信息融合

信息获取和依据信息的决策处理贯穿人类生活的整个过程,也是当今信息时代广为关注的重要问题之一。人类与周围的自然环境相依存在,通过自身对外部环境的感知与理解,逐渐适应并可能做一定程度的改进,以求保证自身的生存与发展。这里至少涉及四个方面的问题:周围的实体环境,感知的手段与内容,了解或理解的方法与深度,可能采取的行为或动作。随着时间的推移和社会与技术的发展,这四个方面的内涵也在不断丰富和发展。

实体环境指的是自然界可视的与直观的实体和自然界非可视的与不直观的实体。可视的与直观的自然实体,常常是包含目标、事件、活动等三维景物环境,显然有相对静止的,更多的则是运动的。自然的非可视或不直观的实体,常常指客观世界中实际存在的状态和变化的态势,下棋与博弈、战场状态与发展趋势等都是比较明显的例子。

人类感知外部环境的手段,随着时间的推移在不断的丰富,感知的内容也越来越多。人类初始的感知工具是自身的眼、耳、口、鼻、舌、身等;所能获得的实体世界及其中目标的属性自然也受到其限制。随着时代的进步和技术的发展,人类感知外部世界的手段获得了长足的进步,许多不同机理的传感器陆续问世,感知的范围在空间、时间和属性等方面都有了相当大的延伸,感知的内容已远远超出常识的内涵。首先,在空间上传感器感知范围沿着宏观和微观两个方向延伸,宏观的感知可以达到外层空间和星际领域,微观上感知可以深入到物质内部的原子和分子;其次,在时间上传感器感知的内容可以记录与存储,既可以“放大”短暂发生事件的动态过程,又可以回顾在较长周期中发生的变化;再次,在属性上传感器感知延伸更为突出,传感器不但可以探测客观世界直观表现的特征属性,而且可能感知与提取人类五官难以探测的、更能反映目标与景物的一些本质特征属性。随着传感器的小型化、智能化和低成本的特色越来越突出,信息融合处理系统可以更简捷的建立和更高效的工作。随着人类希望实现行为的日益增加,传感感知需求在广度和深度上也随之增加,人们对传感器技术的研究与发展倾注了更多的关注,先进的感知技术已经成为了当今信息时代的一个主要成员。

在研究由感知到决策理解的过程中,我们注意到如下一些重要的事实:①信

息处理的任务是由行为目的确定的;② 实体环境本身具有十分丰富的特性,行为目的只涉及其中一部分;③ 各种传感器只能感知实体环境的一部分特性;④ 传感器在感知过程中存在不确定因素,导致了感知信息的不确定性;⑤ 理解实体环境需要的信息常常不能由单一传感器实时提供。这些事实表明仅仅依靠单传感器或单信息源是难以精确和稳健地完成需要的决策任务,特别是对于复杂的、多层次、多变化的决策任务尤为显著,因此多源和多传感器的信息融合问题就自然提到日程上来。

依据多传感器和多源信息的决策不是简单的集成和组合,与传感感知方式和融合处理目的等密切相关,需要做认真分析。如何分析获取到的感知数据或由其加工获得的更高层次的信息,对于完成预定的行为或动作有直接的、重要的意义,这就需要对这些数据和信息进行决策处理,以对感兴趣的实体环境有一个中肯的了解或理解,并对感兴趣的实体或事件最终做出“是什么”的结论。这个了解或理解过程与关心的预定任务、可能存在的结论范围和采用的分析处理方法有关,而且自然存在最优选择和合理解释深度的考虑。在信息融合的军事应用中,常常面对不同类型平台、不同类型传感器、不同感知对象和不同的融合处理位置等情况,相应的融合处理需求也不尽相同,表 1.1.1 简述了这个情况。

表 1.1.1 军事应用中的信息融合的不同需求

平台	传感器	感知对象	融合处理位置	融合处理目的
单	单	单(多)目标	平台	是什么,在哪儿
单	多	多目标	平台	是什么,在哪儿 本身状态(攻防)
多	多	多目标/事件	作战型处理中心	是什么,在哪儿 我能做什么
多	多	多目标/事件	服务型处理中心	什么时候需要信息 需要什么信息 (是什么,在哪儿,我能做什么)

决策的目的是为了执行必要的行为或动作,通常在预定任务明确后,可能进行的行为或动作也就确定了,经过决策可以有根据地从中选择出合适的行为或动作。应当指出的是:从感知到理解再到行为的过程可能不是一次完成的,常常需要多次处理,不断地更新以逐步趋于完善。

这里至少涉及以下几方面的内容:充分考虑可能获得的所有信息资源,选择在感知范围和感知特性上彼此互补的信息资源,以满足预定决策任务的需求;尽可能了解、减少以致消除单信息资源引入的不确定性和不可靠性;在集成多源和多传感器信息时,还要面对如何解决决策冲突和提高整体效能等问题,以实现更准确、更可靠、更协调、更经济与更稳定的决策。

信息融合的研究中涉及不少的名词术语,我们在这里做一些简要说明。信息是针对待分析或了解实体(事物或事件)感知量的总称,它不同于一般的消息或一般的实体描述,但又与其有关;信息蕴含在原始的感知数据与经过处理后的数据中,数据是信息的载体与源泉;信息的提取与研究分析的目的密切相关。多传感器数据融合(或者简称数据融合)和信息融合是经常使用的两个概念术语,它们之间实际存在一些差别(Kalandros et al. 2004)。以实体跟踪为例,多传感器数据融合是一个由相关和融合处理形成的过程,将变换传感器测量到决策对象状态估计和更新,可以认为其是一个更复杂过程的一个完整的部分;信息融合涉及获取、处理和智能组合从各种知识源和传感器来的信息,以提供对所考虑现象的更好的理解,可以认为其是一个将追寻的实体与环境、学术理论和性能限制关联起来,或者表述实体和趋势的结构化的多侧面估价的过程。信息融合是在更宽领域中发展和凝练起来的,具有更大的内涵,它包含了来自多传感器数据的直接融合、从多传感器数据提取的特征属性或中间处理结果的融合和由非物理传感器获取的多源信息的融合等多种情况。因此本书以信息融合冠名,并以此为纲贯穿全书内容。当讨论融合系统时,我们将更多地依重于基于多传感器系统融合背景与系统的建立;当讨论基础融合算法和结构时,我们则更多地以一般多源变量的组合决策为背景与方法进行论述。

信息融合的正式定义既可以规范与限定研究的领域,同时又自然成为评价融合处理性能的准则。不同的作者或组织针对不同的具体应用做过不同的表述,大体可以分为两大类:一类认为信息融合是一种处理过程;另外一类则认为信息融合是一门技术或理论方法和工具。

以处理过程定义的有:① 信息融合是将多源信息或多个传感器获取的信息进行有目的的组合。② 信息融合是由多种信息源(如传感器、数据库、知识库和人类本身等)获取信息,并进行滤波、相关和集成,从而形成一个适合信息选择达到统一目的(如目标识别跟踪、态势估计、传感器管理和系统控制等)的表示构架。③ JDL (joint directions of laboratories)面向军事应用的定义:信息融合是一种多层次、多方面的处理过程(包括对多源数据进行检测相关、组合和估计等),以提高状态和特性的估计精度、实现对战场所态势、威胁及其重要程度的实时完整的评价。④ 数据融合表述以有效、及时与可靠的统计,将多种不同的数据组合成一个一致的、精确的和智能整体的处理过程。

以技术或理论方法和工具定义的有:① 信息融合是一门技术,针对给定的决策任务,可以有效组织与利用能够获得的多种信息资源,提供比只采用其中部分信息资源获得更准确、更可靠、更协调、更经济与更稳定的决策结果。② 信息融合是一门解决来自多源数据与信息的相关、相关和组合等的处理技术,以实现与研究实体的精确定位及其特性估计,并完整及时地证实其实态势与威胁及其意义。③ 信息融合是协同利用多源信息(传感器、数据库、人为获取的信息)进行决策和行动的理

论、技术和工具,旨在比仅利用单信息源或非协同利用部分多源信息获得更精确和更稳健的性能。我们认为最后一个定义可能更具有普遍性。

信息融合的数学本质是多元变量决策,它属于应用基础学科范畴,建立在许多基础学科基础上,又反过来推动基础学科的进展;应用于许多研究领域,又反过来推动这些研究领域的进展。所涉及的基础学科至少包括:概率与统计,信号处理,模式识别与人工智能,最优化处理,系统与评估等。从功能上讲至少包括:感知与感觉(含信号分析与理解),以获得一个完整的信息表述和专项解释;决策和有效的综合集成;逻辑推理与学习,含归纳结论、提取模型等;统计分析,多样本情况下的融合;分布式网络的层次融合处理和多传感器感知、理解系统等。

与一般的学科发展一样,信息融合是在需求的推动下,依据现有或者即将要形成的理论、方法、技术与工业水平的基础,在应用中逐渐壮大起来的。军事需求与应用在很大程度上促进了信息融合的研究与发展。初始阶段始于20世纪80年代初期,主要限制在军事应用;90年代后期有了大的发展,从1995年起有IEEE的多传感器融合和集成的国际会议,从1998年起每年都召开国际信息融合会议,1999年建立国际信息融合学会,2000年开始出版信息融合国际杂志,此外,还有其他专门的信息融合会议和国际期刊发表信息融合研究和应用的进展。

现在信息融合涉及多个学科领域,很多学者正工作在许多不同的领域;大多数结果是对同类型具体实现中的信息融合和多传感器数据融合;在信号、数据和决策层上取得了有意义的进展;在状态和冲突层上有一些进展;军事应用多于非军事应用;其正形成独立的学科;潜在的冲突与挑战可能比得上甚至超过控制系统。

由于传感器制造、信号处理算法、VLSI技术和高性能计算与通信的发展,以及多传感器融合系统的实现,使得近十年来研究变得实际可行了。特别表现在诸如自动目标识别、紧急使命系统(在战场态势估价)、灵巧武器等军事应用系统;自动化工厂管理、空中与海上交通管理、计算机视觉、车辆智能驾驶、工业过程监视与智能机器人等的应用智能集成;以及医学诊断与监视系统、管理遥感中大状态空间的大气科学数据模型化、灵巧建筑物等其他应用方面。

1.2 信息融合基础概念

信息融合研究与发展的许多算法、结构和系统,已经在许多领域获得了广泛的应用。我们感兴趣的问题是:什么是信息融合的基础方法?哪些因素影响和促进了信息融合基础方法的发展?了解与总结这些基础方法及其影响因素是有益的,可以分析现有的方法技术是如何解决信息融合处理需求的,可以概括和统领现有的方法与技术,可以为发展新的方法和技术指明途径。这一节我们概要讨论信息融合处理的基础概念和信息融合涉及的基础方法。

1.2.1 融合单元和融合结构

我们认为,尽管存在许多不同的融合决策任务、不同的融合算法和应用,但其中必定存在一些基础处理概念贯穿它们。这些基础处理概念围绕融合决策的主体(对象),采用各种可能的应用基础学科和专业基础学科的理论方法,才形成形形色色的具体的融合处理算法,以完成千变万化的决策任务。我们必须扣紧这些基础概念,才有可能统率现有的理论方法,才有可能发展新理论方法。那么,什么是贯穿融合处理的基础处理概念呢?如何提取和分析这些基础处理概念呢?我们首先引入融合处理过程、融合单元和融合结构的概念。

信息融合说到底是一个多变量决策问题。我们可以将融合处理过程表述为:根据决策任务及其可以使用的多信息资源完成既定融合决策任务的处理过程。融合处理过程可以经过一次或多次融合处理完成。为了概念表述的清晰,我们将仅仅进行一次多变量的融合决策处理的过程称为融合单元或融合结构单元。显然不同融合单元具有不同的具体融合对象,也可能采用不同的融合决策方法。当融合处理过程需要采用多次融合处理时,就存在如何安排和联系这些融合处理的问题,这就引入了融合结构。融合结构是多融合单元相互连接、协同工作、完成既定决策任务的一种处理结构安排。为了实现融合结构中的一些融合单元之间的连接,有时还需要在处理决策过程中增加一些不做融合的其他类型处理单元。对于一个完成处理任务的系统来说,如果其中有融合处理单元,我们可称其为具有融合处理功能的系统;如果系统的输入本身就是多源信息,则可称其为多源融合系统。

信息融合的基础问题实际上是围绕融合单元和融合结构展开的。每个融合单元都涉及三个最基本的组成部分:变量、决策方法和决策结果;融合结构都要涉及融合单元集成的结构形式、结构形式对决策处理要求及其结果的影响、特殊的融合结构形式(如直接与传感器相连接的融合单元、有无统一单元形式的融合结构和决策方法等)等。为了叙述的方便,我们将统一概要论述下列方面所面临的基本问题和基础概念:输入变量及其影响因素;决策方法的分类和影响因素;融合结构及其影响因素;决策结果及其影响因素等。随着应用对象和任务的不同,在输入变量、决策方法、处理结构和决策结果四方面都会存在变化的情况,希望能够面对和处理变量的多样化与动态性、决策的自适应性和结构的自适应变化等问题。

1) 输入变量及其影响因素

信息融合中的变量通常指需要做融合决策的输入量,也自然涉及整个处理系统的输入量、中间变换和处理结果量,有时也会涉及融合处理结果的输出量。当融合决策任务、可以使用的信息资源和信息融合处理过程确定后,各个融合单元需要用到的多变量也就确定了。

信息融合的变量是多种多样的,它们在数据性质、数据类型、存在时空域、反应

的实体与目标特性的属性域及其稳定性等方面常常是不相同的。在数据性质方面,变量可能是原始测量和据此演绎的变换量,也可能是有限数目的判断量(如证据、判断结论等)。在数据类型方面,变量可能存在不同的维数:变量可能是一维的信号,也可能是二维的图像,还可能是多维数据;数据的存储格式也可能不同:一般的数组和特定的格式。在变量的时空域方面,涉及的范围、存在的期间、采样或输入的分辨率和频率等方面多有不同。在变量反映的实体特性等属性域方面,几何、结构、光谱、动态及趋势等特性方面多有不同,这也导致了不同的“复现”实体和目标或事件的能力。在变量的不稳定性方面,产生不稳定性的原因和过程不同,不稳定性的呈现状态也不相同。由此可见,随着决策任务及可以使用的信息资源的不同,信息融合变量是千变万化的,同时受不同的因素制约和影响。

为了进行多变量决策的信息融合,我们至少面临两类必须解决的、有关变量的基础问题:第一,用正确的方法表述变量,既要表述变量本身,也要以合适的途径表述变量实际可能存在的变化与不稳定性;第二,用正确的途径协调参加融合决策的多变量表述,可以方便与有效的方式参加其后的决策处理。对第一类问题,当决策任务和融合处理过程基本确定后,解决其中的变量表述方法相对容易一些,但要确定变量本身可能存在的变化与不稳定性的表述就相对复杂些,这既涉及数据来源的特性,又与感知方式或者获取手段有关,还与数据本身随时空的变化等有关。这部分内容我们将辟专门的篇幅来讨论。对第二类多变量的数据协调表述问题,至少涉及多变量数据在时空上的配准与多特征属性的组合表述两方面内容。这里涉及两个层次的问题,一是主要针对单个融合单元的配准与表述,二是面向多传感器或者多源信息的、多层次配准与表述。前者是属于信息融合处理的基础概念,也是我们将要单独分析的内容。即主要考虑单个融合单元的多变量协调表述问题,它涉及多变量时间上的配准,需要考虑统一的时间基准、统一的采样或分辨率基准、多变量不同时出现或某个与某些单变量突然变化的情况、多变量的多特征属性组合等。对于后者,则更多与融合处理过程有关,我们将在融合结构和各类具体的融合处理中予以讨论。

2) 决策方法及其影响因素

决策函数是指对输入多变量实施融合决策所采用的方法。决策函数的类型主要取决于输入多变量的类型、要求决策输出量的类型和可能使用的决策方法类型等因素。多变量的输入变量类型无非是:传感器的测量和据此演绎来的变换量,或者是有限数目的判断量,或者是前两者的混合变量集。要求决策的输出量可能是明确的数字量,也可能是定性的表述量或者解释表述。可能使用的决策方法是联系决策输入和决策输出的桥梁和纽带,这里存在两个层次的问题,一是怎样做决策,二是做出的决策是否是最佳的。

当决策输入与决策输出之间存在明确的数学函数表述时,可以采用确定性的

决策方法。这类方法适用于基于测量的变量和数字输出的变量,可以用一般的信号分析方法处理,决策函数可以是建立在其基础上的最优决策函数。如果变量主要呈现统计分布模式时,用统计方法表述;如果变量主要呈现结构分布模式时,常采用结构单元为基础表述,同时考虑因传感和处理过程中引入的随机变化,可以采用以结构为主伴有统计分析方法表述。此时可能用到的决策函数常常是最优决策,以某种原则或某个模型作为最优决策准则。

当决策输入与决策输出之间主要是基于判断量的变量之间的演绎时,可以采用推理的统计建立决策函数,但由于一般难以实现严格的推理条件,通常通过不精确推理的途径建立决策函数。当决策输入与决策输出之间存在比较复杂的演绎关系时,通常是指由多个融合单元构成的融合处理过程,就需要考虑特殊的决策函数。

如果某个具体的融合决策任务的多变量推理演绎过程相对固定时,可以选用现有的最优统计决策函数或者不精确推理方法,决策函数将是由一组固定的统计决策函数或者推理步骤形成的,或者是一组统计决策与推理步骤混合形成的。然而,对于一些复杂的融合决策任务,无论其变量是基于测量性的或是判断性的,还是两者混合的,决策处理过程常常不是固定不变的,使用的具体变量和具体方法常常要受到其他因素的控制和影响,需要具有实时、智能更新的决策处理性能,上述两类方法都不能奏效,这时只有采用智能模型作为决策函数。这时需要将面向融合决策任务有关的先验知识形成模型或知识库,采用模式识别和专家系统的理论方法,实现智能决策函数的更新。

影响决策方法的主要因素包括:输入变量的变化特性,即不稳定性和不可靠性;决策方法本身限制条件的满足程度;各个输入变量对决策贡献的影响,特别是互补贡献或者冲突的影响;外部噪声和干扰的影响等。

对于直接以传感器输出作为输入变量的融合单元来说,它面临一些特定的问题:此时需要考虑传感感知模型,分析观测量与决策量的差异,将影响观测感知的物理与几何等限制条件合适地组合进决策函数之中,以使多变量决策能够实现唯一、准确的决策。这时需要综合分析感知条件与变量和采用的计算分析方法。

上述三类决策方法有各自的特点和应用范围,我们将辟专门的章节分别论述:统计融合决策方法、不精确推理决策方法和智能模型决策方法。

3) 融合结构及其影响因素

当融合处理过程涉及多个融合单元时,如何集成和有效组织这些融合单元就形成了所谓融合结构问题。我们需要考虑:为了既定的融合处理任务需要多少融合单元和非融合的其他处理单元;这些融合单元采用什么集成结构;如何测试和考核整个融合处理过程的性能等。通常可以选择使用的融合结构包括:集中式、层次式、分布式、反馈式等多种类型,各自都具有其特点。

影响设计融合结构主要考虑因素有:什么是设计融合结构的主线?需要不需要采用统一形式的融合单元?如何分析和估价融合决策结果的可靠性和稳定性?设计的主要目的是使整体融合处理的性能达到最佳,要考虑各种不确定性源在融合结构中的传递和影响;在这个前提下,再分析融合单元是否有必要采用统一的决策方法和统一表示等。

4) 决策结果(输出变量)及其影响因素

融合单元的输出是决策的结果,它也是一种形式的变量。决策结果的类型可能是解释性的判断型变量,例如,识别的类别、决策结果相应的语义说明等;也可能是实体和目标或事件的状态估计。对决策结果有三个主要的衡量内容:准确度、置信度和稳定度,而这些都直接受到输入变量和决策方法的影响。准确性可以通过使用的决策方法予以估计,置信度可以通过设置合适的度量去检验,稳定性则需要通过对输入变量和决策方法的不确定性变化的分析来解决。我们今后将结合具体的融合处理示例进行说明和解释。

1.2.2 如何进行信息融合

阐述信息融合基本定义和相关概念回答了对其内涵的理解(即回答 What),接着自然关心如何进行信息融合(即回答 How)。我们可以将信息融合处理的问题简单归纳为“干什么”和“怎么干”的问题。“干什么”涉及确定决策对象和决策目的;“怎么干”则涉及确定感知数据及其表述和确定决策方法等。

融合处理涉及的对象可能是:多信息源和多传感器直接提供的数据,需要决策的静态或相对静态的对象,动态对象和由多种不同事件组成的复杂的动态实体等。

如何进行信息融合(How),和需要完成的决策任务及其可能使用的资源环境密切相关,这里涉及为什么要使用(Why)、什么地方使用(Where)、什么时候使用(When)和采用哪些基本技术与方法(Which)等问题。前三个问题是如何针对具体应用需求确定总体技术方案,后一个问题是为了实现总体方案选择哪些具体的技术。

信息融合处理总是面向具体应用的。针对一个确定的具体决策任务,设计其信息融合处理一般有如图 1.2.1 所示的流程。

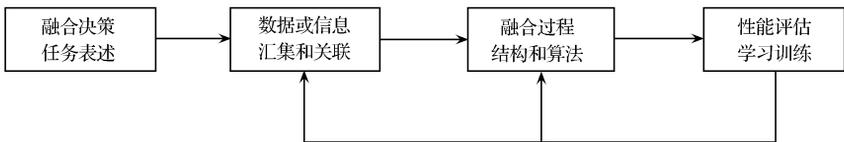


图 1.2.1 信息融合的设计流程图

融合决策任务的表述是要对给定任务做出正式的表述,含任务需求的定量表

述、可以使用资源及其性能的定量表述、允许使用环境的定量表述等。对于比较复杂的信息融合任务来说,形成完整的、内部协调一致的、量化的任务表述并不是一件简单的工作。

数据和信息资源的汇集和关联的方案,包含对可使用传感器和信息资源的部署及其相应管理的方法、以目标或事件为中心的数据和信息关联的方法、单源与多源数据和信息的特性与相互关系的分析与表述方法等。

对给定的决策任务,采用什么融合处理过程、结构与算法是信息融合处理方案的核心问题。首先要考虑整个融合处理是一次完成还是分段集成完成的;其后要考虑实现整个融合处理的具体处理结构,例如,中心处理式或分布处理式,串行处理式或并行处理式,稳定处理模式或时变处理模式等;随后,要具体确定各个处理阶段所需要使用的各种融合和非融合算法。

信息融合处理的最终目的是实现高精确和高稳健的决策性能,因此如何进行处理性能的评估将是十分重要的。这里涉及性能评估模型与准则、学习训练与试验方法等方面的内容。要将“通过融合提高性能”一以贯之地深入到整个过程之中,从整个处理过程的最终决策结果看效果。因此,从获取的多源数据和信息本身具有的不确定性开始,到系统结构与算法设计和数据与信息流程中不确定性的变化,到最终提供决策结果为止,分析和提高融合的作用。应当承认,由于与具体的决策任务和可以使用的资源与环境密切相关,所以实际存在多种多样的学习融合总体技术方案,即使对确定的决策任务和使用资源与环境而言,有可能有多种选择,需要慎重分析比较,从中挑选出在一定意义上最佳的方案。信息融合处理的要害是融合处理是否提高性能。

1.2.3 典型的融合处理过程

典型的信息融合系统由多传感器与多源的数据感知子系统和信息处理子系统两个部分组成。前者有时称多传感器和多源信息构成的传感感知系统;后者由数据配准、数据关联、面向目标或者事件的融合决策和与之相关的先验模型构成。系统的输出馈送为外部需要的决策。根据这个决策,外部世界会做出相应的反应,同时决策反馈用来进行传感感知系统和模型的管理。图 1.2.2 是其典型的方框图,现在分别简要介绍图中各个主要部分。

传感感知系统的基本概念是,汇集与决策任务相关的多传感器数据和多源信息,它们可能来自同一平台或多个平台。其困难在于:传感感知的多数据源和多信息源具有不同的感知机理和不同数据类型(即异类);多源数据和信息之间常常不能保持同步;感知的时空范围中目标、事件或者更复杂的态势可能存在变化等。可能的做法是:传感感知事件的时空协同、动态协同,面向目标、事件或者复杂态势的合适的控制等。

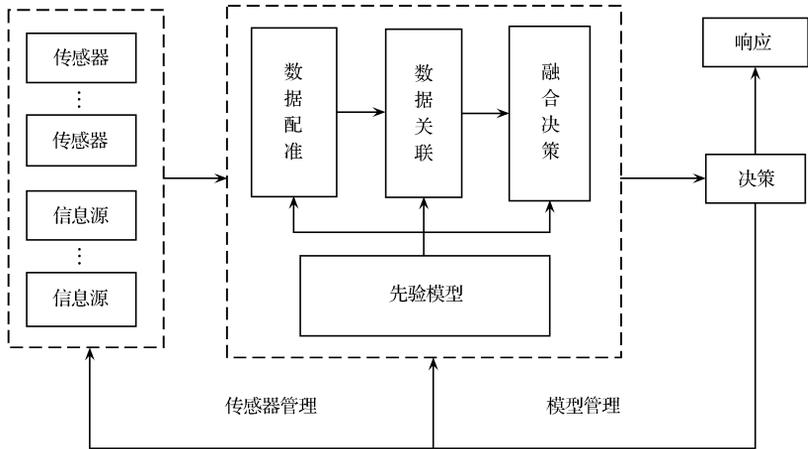


图 1.2.2 典型的信息融合处理过程

数据配准的基本概念是,以一个一致格式表示所有输入数据的处理过程,可以有先验的环境模型支持。其困难在于:输入的数据类型可能存在差异,例如,有文本、雷达、图像等不同表述形式的数据源;反应在误差上的数据质量的可能变化,部分数据中含有间歇性的传感器误差;反应在数据到达上的数据质量的可能变化(异步),来自另外一个平台的数据受通信网络过载的影响,表现出断续或间歇等。可能的做法是:引入来自外部参考系统的定位信息等,研究有针对性的解决方法等。

数据关联的基本概念是,以待分析的目标或事件为中心,将一个输入数据(特征)集与另外一个数据(特征)集相关联的处理过程,可以有先验的环境模型支持。其困难在于:不同事件(特征)集中的“目标”数目不一致;输入数据含糊、不一致、冲突或不可靠;输入数据有相关的噪声/误差。可能的做法是:产生一组可能表示现实世界的模型假设,利用方法选择与获取数据最接近的假设等。

融合决策的基本概念是,在先验模型(如选出“真实的”世界模型)支持下,面向目标或事件进行目标识别、状态估计和未来情况预报等,期望决策结果优于仅仅使用单个或者部分信息源的决策结果。其困难在于:决策对象可能比较复杂,具有多目标或者多事件、多层次和多侧面处理需求;复杂对象(如态势和威胁)的表述和处理模式;需要多种情况的元模型和相关的处理;复杂的动态情况;融合结果性能评价等。可能的做法是:利用多层次的概念,包括对象的多层次、处理的多层次、元模型的多层次、多侧面处理等;针对不同层次研究具体的适用理论方法和处理结构;多源信息的协同分析;建立专门的融合评价平台等。

融合决策结果除去提供输出外,还要反馈给融合处理部分和传感感知子系统。反馈给融合处理部分的作用主要是调整相关的先验模型,不断检查和/或更新用于

产生数据配准与关联处理的假设模型的有效性;可靠的反馈将修补融合处理具体算法的最终决策(如有误差的状态估计的修正等)。反馈给传感感知子系统,是为了控制这个子系统的工作。由于这个子系统常常配置多传感器和多信息源,可能是一个平台也可能是多平台,保证决策任务需求的全时空与属性的感知和具体单个目标或者事件的有效实时感知,是协调控制的基本任务,由融合决策输出来控制是一个重要的保障措施。

1.2.4 典型的融合决策方法

决策是由证据到结论的处理过程。这里至少存在两种决策情况:一是对同样的证据,不同的决策函数可能获得相同或者不同的结论;二是对不同的证据,采用同样的决策函数可能获得相同或者不同的结论。我们现在需要考虑将多个决策融合处理形成一个最终的决策,即融合决策。显然它既包含同样证据采用不同决策函数形成的多决策,也包含不同证据使用同样决策函数形成的多决策。下面我们列出四种典型的融合决策方法,简要介绍前两种,后两种将在第四章介绍(Wanas 2003)。

1) 平均融合决策

(1) 平均投票。

这个方法取所有 K 个分类输出的平均值

$$q(x) = \operatorname{argmax}_{j=1}^N \left[\frac{1}{K} \sum_{i=1}^K y_{ij}(x) \right] \quad (1.2.1)$$

其中 N 是类数, $y_{ij}(x)$ 表示第 i 个分类器将输入 x 划分到第 j 类的输出信任度。

(2) 加权平均。

加权平均与平均投票方法相似,不同的是对不同的分类器输出进行加权

$$q(x) = \operatorname{argmax}_{j=1}^N \left[\frac{1}{K} \sum_{i=1}^K \omega_i y_{ij}(x) \right] \quad (1.2.2)$$

权值 $\omega_i, i=1, \dots, K$ 由不同分类器在训练集上误差的最小化导出。第 i 个分类器输出为

$$y_i(x) = d(x) + \varepsilon(x) \quad (1.2.3)$$

其中 $d(x)$ 表示希望的真输出, $\varepsilon(x)$ 表示误差。第 i 个决策的均方误差可以表示为

$$e_i = E \{ [y_i(x) - d(x)]^2 \} = E [\varepsilon^2] \quad (1.2.4)$$

如果 ω_i 是指定到 i 个决策的权值,满足 $\sum_{i=1}^K \omega_i = 1$ 输出权值的组合表示为

$$y(x) = \sum_{i=1}^K \omega_i y_i(x) = d(x) + \sum_{i=1}^K \omega_i \varepsilon_i(x) \quad (1.2.5)$$

设表示不同局部决策之间的误差相关矩阵 C , 由下列表示的元素构成

$$c_{ij} = E [\varepsilon_i(x) \varepsilon_j(x)] \quad (1.2.6)$$

其中 M 是整个样本的数目。整个误差可以确定为

$$e = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \omega_i \omega_j c_{ij} \tag{1.2.7}$$

极小化误差 e 获得最佳权值, 当 $\sum_{i=1}^K \omega_i = 1, \omega_i$ 解为

$$\omega_i = \frac{\sum_{j=1}^K (C^{-1})_{ij}}{\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^K (C^{-1})_{kj}} \tag{1.2.8}$$

缺点: 矩阵 C 的逆可能不稳定。

要求 $\omega_i \geq 0, \forall i = 1, \dots, K$, 进一步限制权值。由极小化下列误差函数可以确定权值

$$e = \sum_i \omega_i e_i + \sum_{i,j} \omega_j c_{ij} \omega_i - \sum_i \omega_i c_{ii} + \lambda \sum_{i=1}^K \omega_i^2 \tag{1.2.9}$$

其中最后一项是正则项, λ 是正则化系数。加权平均方法克服了对不满意分类器输出简单平均的弱点, 但基础分类器中间的共线性, 有时会破坏这个方法的稳健性。

2) 非线性融合决策

(1) 投票方法。

正确的融合决策应当是大多数决策都认可的一个, 如果所有决策都有不同的决策结果, 或者不分胜负, 那就只好选择有全局最好的决策结果了。这里有最大值投票和乘积规则两种方法。

最大值投票, 即利用投票相同的多数结果,

$$q(x) = \operatorname{argmax}_{i=1}^K y_i(x) \tag{1.2.10}$$

其中 K 是决策结果的类数, $y_i(x)$ 是表示将输入矢量 x 判决为第 i 类决策结果的输出。

Nash 投票, 每次投票对每个候选判决类别指定一个 0~1 之间的数, 以后比较对所有候选决策类别的投票值的乘积, 最高者为融合决策结果。即

$$q(x) = \operatorname{argmax}_{k=1}^K \prod_{i=1}^n y_{ik} \tag{1.2.11}$$

其中 n 为参加决策的数目, K 是决策结果的类数。

(2) 基于次序投票的 Borda 计数方法。

$$q(x) = \operatorname{argmax}_{k=1}^K (B(k) = \sum_{i=1}^n B_{i,k}(k)) \tag{1.2.12}$$

其中 $B_{i,k}(x)$ 是第 i 个决策对已知输入 x 指定 k 类决策结果的 Borda 计数, $B(k)$ 是所有决策指定 k 类的 Borda 计数。这个计数是考虑投票次序的, 融合决策结果是有最大 Borda 计数的决策。缺点是没有考虑优先的强度信息。

3) 贝叶斯组合和 Dempster-Shafer 方法

如果融合决策输入是用统计量表述时,可以使用贝叶斯最佳方法;如果融合决策输入是不确定量,我们就采用 Dempster-Shafer 的证据理论方法解决。详细的方法讨论将在其后的第四章中具体论述。

4) 基于模糊集的方法

其中涉及模糊推理、模糊积分和可能性理论等,我们将在其后的第四章中讨论。

1.2.5 信息融合的层次

信息融合文献中经常提到信息融合层次的概念。这个表述术语数据实际存在两个层次的含义。一层含义是直接针对融合单元的输入输出关系的表述,因为融合单元的输入和输出,都可能采取数据、特征、决策等不同的形式,这样就形成了多种不同形式的输入-输出成对关系。这些关系对中最常见或者概念上最好理解的是三对:数据-数据对、特征-特征对和决策-决策对,于是就形成了数据层融合、特征层融合和决策层融合等划分。为了叙述和理解上的方便,人们还将其他的输入输出关系对,分别归入上述三个层次中去。表 1.2.1 给出了相应的说明、特点、涉及的技术和应用举例。第二种融合输入为数据、融合输出为特征的层次,依据关心的重点不同可以分别划归第一和第三层次;同样第四种融合输入为特征、融合输出为决策的层次,依据关心的重点不同可以分别划归第三和第五层次。因此通常还是以数据、特征和决策三层划分为多。无论哪种层次的融合方式,都有静态和动态两种模式。

表 1.2.1 融合单元信息融合层次的比较

序号	融合输入	融合输出	特 点	涉及的处理技术	应用举例
1	数据	数据	维数相同、时空配准 接近原始信息源	主分量分析、 频域变换等 信息处理技术	遥感图像融合
2	数据	特征	常处于第一级处理	模式识别	立体图像求 3D 信息
3	特征	特征	输入数据可以是定性 (启发式逻辑过程) 或定量的(特征空间) 可能产生超级特征	特征提取 与特征选择	雷达与 EO
4	特征	决策	特征空间分类	模式识别	多生理特征人脸识别
5	决策	决策	最直观的一种 其他形式不能使用时	基础融合算法	雷达与 EO

信息融合层次的另外一层含义是针对整个融合决策任务来说的,依据融合任务的主体情况,任务主导的输入-输出需求,确定数据、特征、决策三层的划分。但并不意味着整个处理过程仅仅只涉及一种层次的融合。实际上,一个面向决策任务的融合系统常常需要多个具体的融合步骤。各个步骤采用的融合方法可能面对不同对象,也就自然产生不同的组合形式、集成计算方法等。

如果从信息融合协同的输入数据出发,实际可能采用多种不同形式的融合层次,图 1.2.3 就是一个说明示例。这个图表述了从传感器数据源出发,可能采用的融合层次的前后关系。进行数据层融合的数据集可以来自不同的传感器和(或者)不同的信息源,图中仅仅显示了两对传感器,数据层融合结果一般是数据,可以通过算法提取相应的特征;特征层融合的输入特征也是一样,特征可能来自不同数据层融合的结果、也可能来自其他直接提供特征的信息源或者渠道,特征层输出可以直接形成相应的决策;决策层融合的输入为多种局部决策,输出的结果是获得的融合决策。

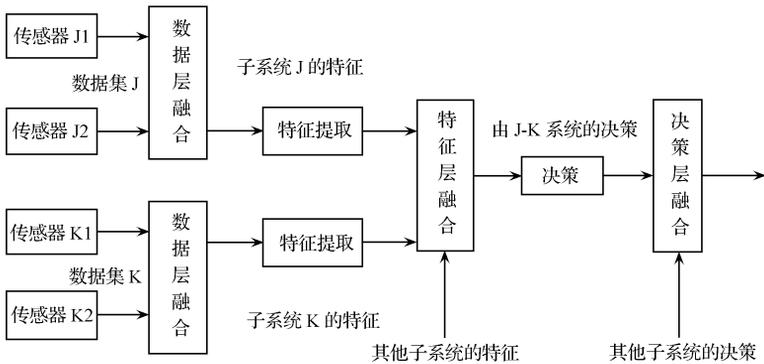


图 1.2.3 由传感数据输入出发的多层融合的关系图

1.3 本书内容结构安排

全书划分为两个大部分:第一部分是基础融合方法,首先由导论概括论述了信息融合的基本概念,其后以 4 章的篇幅简要讨论基础融合方法,涉及数据支持,基于统计的融合决策、基于不精确推理的融合决策、智能模型和融合结构等内容;第二大部分,以 6 章的篇幅主要论述面向目标识别的融合,包括目标识别概论、融合增强、融合检测、融合分类、融合跟踪、融合重建和态势估价概论等内容。从内容的完整性最好有一章专门介绍复杂信息融合系统的内容,但这个题目太大,不同应用领域面临的主要问题不尽相同,本书不可能阐述清楚。我们就选择了复杂信息融合系统中的具有代表性的态势估价做了概要的论述。选择其作为最后一章,可以将目标识别的内涵进一步扩大到多目标集及其整体动态变化形成的态势,可以对分析与理解复杂信息融合系统提供一个示例。本书内容的按章的结构安排关系可以由图 1.3.1 表示。

虽然对各章内容做了划分,可以形成一个内容体系比较清晰的初步理解思路。但相关各章之间存在许多沟通和联系,需要进一步将各个具体内容进行划分,以期

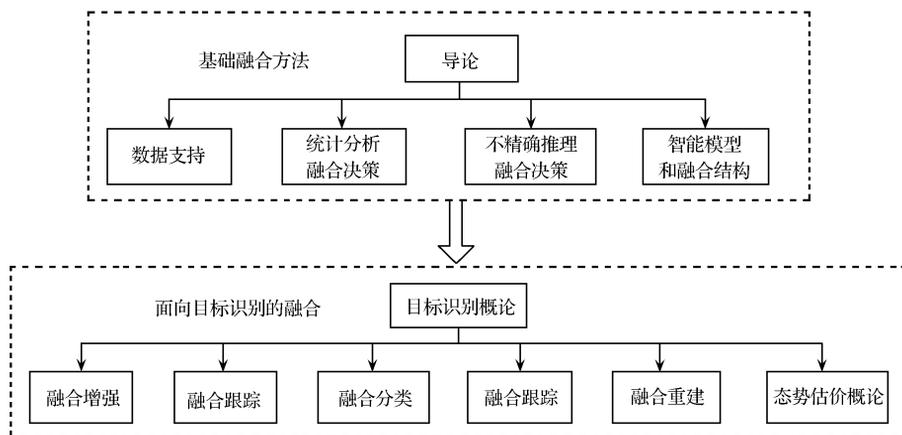


图 1.3.1 本书内容各章的结构关系图

彼此呼应又不重复。我们以基础与应用相对分开,章节篇幅适当平衡等为原则做具体划分。在此,就相关的一些问题做个说明。

数据支持是信息融合的基础理论方法,它涉及一般的数据准备和支持动态环境下的多源数据协调两个大部分。后者又与多传感器的复杂信息融合系统相关。在本书内容安排上,我们在第二章数据支持中,将主要谈及数据汇集、传感器部署、数据关联的一般基础概念,涉及的深入问题将在其后目标识别融合概论和应用章节论述。将基于智能模型的融合决策与融合结构放在一章,一是考虑它们之间存在一些不可分开的联系,二是考虑与前面几章的篇幅均衡。在面向目标识别融合的几章中,实际存在一些内容的交叉,为了叙述的方便,我们在目标识别概论中会做出相关的说明。

参 考 文 献

- 何友等. 2000. 多传感器信息融合及其应用. 北京:电子工业出版社
- 刘同明等. 1998. 数据融合技术及其应用. 北京:国防工业出版社
- 王润生. 1995. 图像理解. 长沙:国防科技大学出版社
- Ahlberg J et al. 2003. Automatic target recognition on a multi-sensor platform. Proc. the Swedish Symposium on Image Analysis, 93~ 96
- Baertlein B, Liao W, Chen D. 2001. Predicating sensor fusion performance using theoretical models. <http://www.ee.duke.edu/~lcarin/DeminingMURI/OSU-SPIE01-Limits-Fusion.pdf>
- Ballard D, Brown C. 1982. Computer Vision. Englewood Cliffs. NJ:Prentice-Hall
- Banerjee P, Raj R. 2000. Multi-sensor data fusion strategies for real-time application in test and evaluation of rockets/missiles system. Proc. IEEE Int'l Conf. Industrial Technology, 2:

723~ 728

- Broome B. 2003. Fusion based knowledge for the objective force: a science and technology objective. <http://handle.dtic.mil/100.2/ADA418513>
- Clark J, Yuille A. 1990. Data fusion for sensory information processing systems. Norwell, Massachusets, U.S.A., Norwell, Massachusets, U.S.A., Kluwer Academic Publishers
- Dasarathy B. 2000a. More the merrier ... or is it? —sensor suite augmentation benefits assessment. Proc. Fusion2000
- Dasarathy B. 2000b. Elucidative information system—an exposition. Information, 1: 5~ 15
- Dasarathy B. 2001a. Information—what, where, why, when and how? Information, 2: 75~ 76
- Dasarathy B. 2001b. Information system: how good is it? Information, 2: 161~ 162
- Dash M, Liu H. 1997. Feature selection for classification. Intelligent Data Analysis, 1(3): 131~ 156
- Hall D. 1992. Mathematical techniques in Multisensor data fusion. Boston: Artech House
- Jakobson G, lewis L, Buford J. 2004. An approach to integrated cognitive fusion. Proc. Fusion2004
- Kadar I. 2000. Unexplored areas of fusion research. Proc. Fusion2000
- Kalandros M et al. 2004. Tutorial on multisensor management and fusion algorithms for target tracking, Proc. the American Control Conf., 4734~ 4748
- Lantz F, Strömberg D. 2003. Task management in sensor-provided operator platforms. Proc. IEEE KIMAS
- Llinas J. 2001. An introduction to data and information fusion. <http://www.infofusion.buffalo.edu/tm/Dr.Llinas'stuff/An%20introduction%20to%20data%20and%20information%20fusion.ppt>
- Llinas J et al. 2004. Revisiting the JDL Data Fusion Model II. Proc. Fusion2004
- Mahler R. 2004. Random sets: unification and computation for information fusion—a retrospective assessment. Proc. Fusion2004
- Maluf D, Cheeseman P, Smelyanskyi V. 2001. The 3D recognition, generation, fusion, update and refinement (RG4). Proc. The 6th SAIRAS
- Martinez D, Gruber M. 2002. 43. 3: next technologies to enable sensor networks. Proc. IEEE 02- Conf. 1468~ 1472
- Martin A, Radoi E. 2004. Effective ATR algorithms using information models. Proc. Fusion2004
- Ng G, Ng K. 2000. sensor management—what, why, and how. Information fusion, 1: 167~ 75
- Nimier V. 2004. Information Evaluation: A formalisation of operational recommendations. Proc. Fusion2004
- Niu R et al. 2004. Decision fusion in a wireless sensor network with a large number of sensors. Proc. Fusion2004
- Onitz F, Henrich W, Kausch T. 2004. Data fusion development concepts within complex

- surveillance systems. [Http// : citeseer.ist.psu.edu/697777. html](http://citeseer.ist.psu.edu/697777.html)
- Oxley M, Thorsen S. 2004. Fusion or Integration; What's the difference? Proc. Fusion2004
- Peacock A, Renshaw D, Hannah J. 2001. Fusion of electrorotation frequency estimates. Information Fusion 2: 151~ 158
- Portinale L, Saitta L. 2002. Feature selection. <http://citeseer.ist.psu.edu/cache/papers/cs/27214>
- Pěchouček M. Multi-agent system and their industrial applications. <http://agents.felk.cvut.cz>
- Ralph K. <http://www.npl.co.uk/intersect>
- Sun J, Shida K. 2002. Multilayer sensing and aggregation approach to environmental perception with one multifunctional sensor. IEEE Sensor Journal, 2;(2):62~ 72
- Svensson P, Hörling P. 2003. Building an information fusion demonstrator. Proc. Fusion2003
- Steinberg A. 2001. Data fusion system engineering. IEEE AESS Systems Magazine, 7~ 14
- Stiefelbogen R. 2004. Multimodal interfaces classifiers and fusion schemes. Proc. Fusion2004
- Tanieilan M, Kim N. 2002. Pressure belt: an integrated multi-sensor system. Proc. of IEEE Sensors, 2: 1182~ 1187
- Wald L. 1999. Some terms of referenc in data fusion. IEEE Trans. GRS, 17(3): 1190~ 1211
- Waltz E, Llinas J. 1990. Multisensor data fusion. Boston; Artech House
- Wanas N. 2003. Feature-based architectures for decision fusion. [http:// pami.uwaterloo.ca/pub/nwanas/thesis. pdf](http://pami.uwaterloo.ca/pub/nwanas/thesis.pdf)
- Weerdt M et al. 2004. A plan fusion algorithm for multi-agent systems. Proc. Fusion2004
- Wrede S et al. 2004. An active memory as a model for information fusion. Proc. Fusion2004
- Yanco H, Drury J. 2004. "Where am I?" acquiring situation. awareness using a remote robot platform. Proc. IEEE Conf. on Systems, Man, and Cybernetics

第二章 信息融合的数据支持

为了对给定的决策任务进行信息融合处理,就需要针对任务需求的多源信息的数据支持,这将要涉及多方面的问题:部署和搜集与决策任务相关的多传感器和信息资源,将其汇集在一起,以适应研究实体的需求;将汇集的数据以目标和事件为中心进行关联,以满足针对目标和事件决策的需求;为了有效发挥不同信息源的作用,需要对涉及的数据和信息进行本身和相互关系的特性分析,以选取合适的组合应用方式;由于研究的对象和实体环境常常是处于动态环境,需要对数据的采集和组合进行动态的实时调度和管理,以提高整个融合系统的效能。

考虑到叙述的方便,本章将首先讨论数据汇集的概念,然后论述数据汇集中主要涉及的传感器部署和管理内容,再后主要讲述以目标和事件为中心的数据关联问题,最后简要讨论分析数据特性与相互关系的内容和其中值得注意的研究内容。

2.1 数据汇集概述

数据汇集主要考虑感知数据的获取及其合适的表述,它又具体包含下列内容:决策任务的分析,可以使用的感知资源及其相互关系的分析,多传感器和多源信息部署与数据汇集的具体方法,在确定的部署与汇集方法基础上的数据的综合分析等。在决策任务分析方面,需要确定要求的时空与属性等范围、必须达到的感知测量量的精度、必须达到的最终决策精度和感知测量与决策结果的稳定性与可靠性等。在可以使用的感知资源及其相互关系的分析方面,需要分析不同传感器和不同信息源对解决具体决策任务的贡献能力、局限性和应用条件,需要分析不同传感器和信息源之间的差异与存在的互补关系等。在多传感器与多源信息部署和数据汇集的具体方法方面,需要提出可能的部署与汇集的方案与方法,各种不同方案与方法所能达到的感知性能评估,选择最优或合适的方案与方法等。在确定的部署与汇集方法基础上的数据综合分析方面,主要分析各单个数据和信息源对决策任务的贡献能力、局限性和应用条件,分析不同数据和信息源之间的相互关系及其对决策任务的影响,研究和评估目前汇集的数据和信息及其可能采用的决策方法是否能够达到决策总要求的性能,研究和分析汇集数据的合适表述方式等。对于一个较复杂的信息融合任务,研究与应用实体中的目标与事件常常是动态变化的,因此面向实体的数据汇集也常常不可能一成不变,需要对实体环境的具体感知也随之变化。

数据汇集的分析方法主要依赖于:研究与应用实体和相应传感器系统的表述;传感器和多源信息系统部署及其管理;提出决策的用户需求等。从这个意义上说,数据汇集是正确选择、合适部署与有效管理传感器系统,获取、汇总与决策任务相关的所有数据的分析处理过程,以完成针对具体决策对象的具体决策所需求的数据支持。

2.1.1 实体与传感器的表述

我们在这里讲的实体是指需要研究和应用的某个决策对象整体。实体中可以仅仅有一个目标或事件,但一般常常有多个目标和事件,因此决策对象可能是单个目标或事件,也可能是实体的整体,即研究实体中所有目标和事件的单个和整体的情况。为了叙述的方便,如果没有特别的需要,我们将实体中的目标和事件统称为目标。如果研究与应用包含多个决策对象整体,则将存在的多个实体形成一个实体集。除特别声明外,我们一般只考虑单实体情况。

实体(*Entity*)可以表述为一个二元式,即

$$Entity = \{Object\ set, Domain\ E\} \quad (2.1.1)$$

其中 *Object-set* 为实体包含的目标和事件的集合,实体中的每个目标也需要表示,例如,第 i 个目标就用 *Object*(i)表示;*Domain-E* 为实体占据的域集合,即实体的存在域,它具体包含空间域和时间域,分别用 *Domain-E-s* 和 *Domain-E-t* 表示。对每个目标可以进一步表述,以第 i 个目标为例为

$$Object(i) = \{Domain-O(i), Attribute-O(i)\} \quad (2.1.2)$$

其中 *Domain-O*(i)也包含空间与时间两个分量;*Attribute-O*(i)则包含目标的几何和拓扑特性、多组成部分的结构特性、光谱和频率特性、动态变化特性、其他特性等,并分别用 g 、 c 、 s 、 d 和 o 等下标表示。

如果实体包含 N 个目标,显然有

$$Object\ set = \bigcup_{i=1}^N Object(i) \quad (2.1.3)$$

$$Object\ set\ Attribute = \bigcup_{i=1}^N Attribute-O(i) \quad (2.1.4)$$

目标本身的属性常常是多种多样的。有些属性可以直接表现出来并为某些传感器直接感知;有些则是非直接表现出来的,可以通过感知的数据经过变换与处理获得。我们将显露目标 i 的可以观测量表示为

$$Object\ reveal(i) = \{o-reveal_1(i), o-reveal_2(i), \dots\} \quad (2.1.5)$$

$$Object\ set\ reveal = \bigcup_{i=1}^N Object\ reveal(i) \quad (2.1.6)$$

分量的多少完全取决于目标本身的特性和可能直接表征的方式。显然,因单传感器性能限制,只能感知到目标的一部分可以观测量。

当采用多传感器和传感器系统(或称传感器网络)感知实体、采集或搜集有关数据时,必须考虑到传感器实际受到的三个基本方面约束,即感知时空域的限制、感知特性的限制和工作环境与条件的限制。我们也需要对传感器做适当的表述。

单个传感器 i 的表述可以为

$$Sensor(i) = \{Domain-S(i), Observation-S(i), Condition-S(i)\} \tag{2.1.7}$$

其中 $Domain-S(i)$ 表述第 i 个传感器在时间和空间的感知范围; $Observation-S(i)$ 是该传感器能够感知的数据,数据可能直接是目标的某种属性,也可能间接对应目标的某种属性,需要经过变换处理才能明确获得相应的属性; $Condition(i)$ 表示该传感器正常工作必须保证的工作环境和条件;必要时可以加入通过后处理获得新属性的条件。

传感器系统中包含多个传感器,如 M 个,则有

$$Sensor-set = \bigcup_{i=1}^M Sensor(i) \tag{2.1.8}$$

$$Sensor-set-Domain = \bigcup_{i=1}^M Domain-S(i) \tag{2.1.9}$$

$$Sensor-set-Observation = \bigcup_{i=1}^M Observation-S(i) \tag{2.1.10}$$

$$Sensor-set-Condition = \bigcup_{i=1}^M Condition-S(i) \tag{2.1.11}$$

2.1.2 数据汇集的基础要求

我们先讨论决策任务对数据汇集的需求,其后讨论数据汇集的处理流程。

决策任务常常在一个实体范畴内进行,一个实体域可能容纳多个决策任务。具体的决策任务依赖于具体的实体,只有有效的感知和获取实体的相关数据及信息,才可能完成既定的决策任务。数据汇集就是要合适选择和部署传感器系统和其他信息源,满足上述数据要求,即

$$Domain-O-E \subset Sensor-set-Domain \tag{2.1.12}$$

$$Sensor-set-Observation \subset Object-set-reveal \tag{2.1.13}$$

目标本身显露的可以观测的量可能为某种传感器观测到,在这个意义上两者是同义的;但并不是说目标本身显露的所有量都可以由某种传感器直接而完整地观测到。对于非显露的目标属性,可以通过对感知观测量的后处理获得,这一点可以在传感器部署中予以考虑。

汇集系统(或者称传感器系统)对任务需求的满足程度,需要定量分析。至少要通过内容的包容和匹配分析,了解实体中每个目标是否都能在要求的时空域中得