

战场态势感知 与信息融合

刘熹 赵文栋 徐正芹 主编

清华大学出版社



课件下载·样书申请



书圈

清华社官方微信号



扫我有惊喜

ISBN 978-7-302-53431-0



9 787302 534310 >

定价：59.00元



战场态势感知 与信息融合

刘熹 赵文栋 徐正芹 主编

张磊 胡磊 副主编

彭来献 徐任晖 许世明 参编

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书以战场态势感知的形成过程为主要讲解对象,主要介绍了信息融合的基本步骤及每个步骤中的典型算法。本书第1章讲解了态势感知的概念和模型;第2章介绍了常用战场传感器;第3章补充了信息融合过程中使用到的基本理论,包括数理统计、滤波、离散属性融合方面的内容;第4章介绍了雷达数据的处理;第5章介绍了战场图像处理技术;第6章详细介绍了信息融合技术在军事领域的应用,选取数据链航迹处理、JTIDS数据链相对导航、武器协同数据链协同作战能力作为典型代表进行讲解。

本书以工科本科生的数学基础为起点,系统介绍信息融合的基本概念和相关数学知识,教材内容力求自成体系,紧密联系实际,适合作为高年级本科生和研究生教材。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

战场态势感知与信息融合/刘熹,赵文栋,徐正芹主编. —北京:清华大学出版社,2019
ISBN 978-7-302-53431-0

I. ①战… II. ①刘… ②赵… ③徐… III. ①战场—信息管理—教材 IV. ①E919

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第166179号

责任编辑:袁勤勇 常建丽

封面设计:傅瑞学

责任校对:梁毅

责任印制:沈露

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:北京密云胶印厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:18 字 数:427千字

版 次:2019年11月第1版 印 次:2019年11月第1次印刷

定 价:59.00元

产品编号:083852-01

前 言

信息融合技术来自军事需求,其目标是形成及时、准确、连续、完整和一致的战场态势。随着信息技术的迅猛发展,特别是战场传感器技术和军事通信技术的快速发展,获得统一的战场态势已经成为可能。利用统一的战场态势,可以支撑战场预警、作战决策、指挥控制、火力打击、效果评估等一系列作战活动。

信息融合早期被称为数据融合,其目标是进行多传感器数据的融合,以便及时、准确地获得运动目标的状态估计,完成对运动目标的连续跟踪。20世纪90年代后,多军兵种联合作战和多平台协同作战需求的涌现以及远程精确打击武器的出现,都对战场态势感知的实时性和精确性提出了更高的要求;数据的来源和表现形式都发生了很大变化,不再局限于传统的雷达、声呐等传感器;图像视频、人工情报、网络数据等都成为战场态势信息的来源;而且融合能力也提升到战场态势估计和威胁评估等高级功能,作战应用扩展到指挥决策和精确打击。所以,人们更多地开始使用“信息融合”这个概念。

本书以战场态势感知的形成过程为主要讲解对象,要求学生学完本教材后,能理解信息融合的基本步骤,了解每个步骤中的典型算法。本书第1章对态势感知的概念和模型进行了讲述,这是本书的主要技术线索。第2章是对常用战场传感器进行了介绍,对雷达、视频、电子侦察、声呐的工作原理和输出数据类型进行了详细描述,这是理解后续信息处理算法的基础。第3章补充了信息融合过程中使用到的基本理论,由于信息融合的理论体系庞杂,因此我们只选取了数理统计、滤波、离散属性融合方面的内容,用途局限的粗糙集、随机集都被迫放弃。第4章是雷达数据的处理,这是主流的战场传感器处理,理解其中的问题和解决方法对扩展到其他传感器类型都很有帮助。第5章是战场图像处理技术。视频数据是新兴的数据类型,它的信息量非常大、处理难度也很大,但是理解它的基本理论和方法对后续的研究和开发有重要意义。第6章详细介绍了信息融合技术在军事领域的应用,选取了数据链航迹处理、JTIDS数据链相对导航、武器协同数据链协同作战能力作为典型代表进行讲解。

本书以工科本科生的数学基础为起点,系统介绍信息融合的基本概念和相关数学知识,教材内容力求自成体系,紧密联系实际,适合作为高年级本科生和研究生的教材。

由于信息融合技术内容比较庞杂而且编者水平有限,对全书内容的取舍可能有失偏颇,有些表述还有欠准确。凡是有错误和疏漏之处,都非常感谢读者能给予指出以便我们进一步改进。

编 者
2019年6月

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 战场态势的概念与模型	1
1.1.1 态势感知模型	1
1.1.2 态势感知的环节	4
1.1.3 态势理论和逻辑模型	4
1.1.4 状态转换数据融合模型	6
1.2 数据融合及其模型	7
1.2.1 初始定义	8
1.2.2 JDL 模型的演进	8
1.2.3 其他模型	9
1.2.4 战场数据融合的五级模型	9
1.3 多传感器态势处理的关键技术	11
1.3.1 MTT 面临的挑战	12
1.3.2 面向目标跟踪的融合实现结构	12
1.3.3 关键技术	14
1.4 一致战场态势及其形成	18
1.4.1 NCW 与 FIOP	18
1.4.2 战场态势要素	20
1.4.3 COP	20
1.4.4 CTP	22
1.4.5 SIP	22
1.4.6 战区 COP 的建立过程	23
1.4.7 小结	25
第 2 章 常用战场传感器	26
2.1 概述	26
2.2 雷达	26
2.2.1 雷达框图	27
2.2.2 雷达方程	30
2.2.3 从雷达回波可获取的信息	31
2.2.4 雷达频率	33
2.2.5 脉冲多普勒雷达	34
2.2.6 脉冲压缩	40

2.3	视频传感器	44
2.3.1	红外传感器	44
2.3.2	光学传感器	46
2.4	电子侦察传感器	47
2.4.1	ESM 的测量功能	47
2.4.2	测角定位的原理	49
2.4.3	时差定位的原理	53
2.5	声呐传感器	57
2.5.1	声呐的原理	58
2.5.2	拖曳线列阵声呐	59
2.5.3	潜艇配备的声呐	60
第 3 章	态势信息处理的理论基础	62
3.1	统计与判决理论	62
3.1.1	随机数及其生成	62
3.1.2	假设检验	68
3.1.3	常用的统计模型	69
3.2	正交投影与最小二乘估计	71
3.2.1	引言	71
3.2.2	内积空间	74
3.2.3	正交投影矩阵	76
3.2.4	正交性原理	84
3.2.5	线性方程组的求解	85
3.2.6	广义逆矩阵与线性方程组	89
3.3	最佳线性均方误差估计与正交性原理	91
3.3.1	最佳线性均方误差估计	91
3.3.2	K-L 变换与主成分分析	93
3.4	线性卡尔曼滤波	97
3.5	扩展卡尔曼滤波	100
3.6	不敏卡尔曼滤波	102
3.6.1	问题的描述	103
3.6.2	不敏变换	107
3.6.3	提高精度及 sigma 点集的优化选择	110
3.6.4	不敏滤波及其应用	121
3.6.5	总结与结论	127
3.7	粒子滤波	128
3.7.1	目标状态滤波问题	128
3.7.2	粒子滤波器	131

3.7.3	重采样·····	132
3.7.4	粒子滤波示例·····	134
3.8	属性合成理论·····	135
3.8.1	贝叶斯方法·····	135
3.8.2	证据理论·····	137
第 4 章	雷达数据处理技术·····	145
4.1	多传感器航迹起始·····	145
4.1.1	经典的航迹起始方法·····	146
4.1.2	基于 Hough 变换的航迹起始方法·····	148
4.2	雷达的航迹跟踪·····	156
4.2.1	跟踪门·····	156
4.2.2	经典的一维跟踪模型·····	157
4.2.3	耦合跟踪模型·····	160
4.3	被动传感器的航迹跟踪·····	161
4.3.1	扩展 Kalman 滤波法·····	161
4.3.2	修正增益 EKF 法·····	162
4.3.3	修正极坐标 Kalman 法·····	162
4.4	多传感器航迹相关·····	164
4.4.1	航迹相关准则·····	165
4.4.2	两节点时独立序贯航迹关联·····	165
4.4.3	多节点时独立序贯航迹关联·····	166
4.4.4	拓扑航迹相关法·····	167
4.5	多传感器航迹融合·····	171
4.5.1	简单凸组合航迹融合·····	171
4.5.2	修正互协方差航迹融合·····	171
4.5.3	信息矩阵航迹融合·····	171
4.5.4	协方差交叉算法·····	172
4.6	系统误差估计·····	172
4.6.1	时间系统误差的估计·····	172
4.6.2	探测系统误差的估计·····	177
4.6.3	时间与探测系统误差的联合估计·····	180
第 5 章	战场图像处理技术·····	185
5.1	视觉目标特征·····	185
5.1.1	图像底层特征·····	185
5.1.2	纹理特征·····	192
5.1.3	梯度直方图·····	199

5.1.4	Harris 角点及其改进	201
5.1.5	SIFT 特征	203
5.2	视觉目标识别技术	210
5.2.1	运动目标检测	210
5.2.2	基于字典的识别方法	217
5.3	视觉目标跟踪技术	222
5.3.1	KLT 跟踪方法	223
5.3.2	均值漂移跟踪方法	225
5.3.3	基于粒子滤波的视频跟踪	229
第 6 章	数据链中的信息融合技术	234
6.1	战术数据链航迹处理技术	234
6.1.1	航迹消息	235
6.1.2	航迹处理流程	236
6.1.3	数据配准	237
6.1.4	航迹质量计算	240
6.1.5	航迹相关/解相关	241
6.1.6	报告职责	242
6.1.7	航迹协调	242
6.1.8	应用水平	243
6.1.9	小结	244
6.2	联合战术信息分发系统中的平台定位	245
6.2.1	相对导航原理	245
6.2.2	相对导航架构	246
6.2.3	相对导航软件的工作流程	247
6.2.4	相对导航的基本算法	248
6.2.5	定位精度的影响因素及仿真分析	251
6.3	武器协同数据链与单一综合空情图	257
6.3.1	CEC	257
6.3.2	SIAP 起源与需求	259
6.4	战场态势质量评估	266
6.4.1	数据融合处理的测试与评估	267
6.4.2	测试工具: 测试平台、仿真和标准数据库	270
6.4.3	融合性与军事效能的关系	271
6.4.4	小结	274
	参考文献	275

第 1 章 概 述

1.1 战场态势的概念与模型

态势(Situation)是指现实世界中人们所关注的事物的状态及其可能出现的变化。军事领域中,战场态势是指战场环境与兵力分布的当前状态和发展变化的趋势。战场态势概念的这样表示,是对“敌我态势”的进一步深化,把静态概念发展为动态概念。

最早的态势感知(Situation Awareness)概念是由 Boelke 在第一次世界大战期间提出的,他指出了“先于敌方获取态势感知并设计达成方法的重要性”。然而,态势感知引起关注是在 20 世纪 80 年代后,最早推动其发展的动力来自航空业。由于飞行员和空中交通管理员存在高于其他行业的安全紧迫感,而安全则与态势感知的准确性和实时性紧密相关。根据对 200 次飞行事故的统计分析表明,态势感知的缺失是发生事故的主要因素。因此,态势感知的研究与提高飞行控制的自动化程度紧密结合。

1995 年,美国心理学家 Endsly 提出,态势感知概念不仅对安全领域具有重要性和可应用性,而且可以扩展到各种应用领域,尤其是论证了即使很小的态势偏差,也可能产生严重的负面影响。对于态势感知的概念,存在以下表述。

(1) Endsly 表述:态势感知是对一个时空范围内的环境元素的察觉,对其含义的理解和对其未来状态的预测。

(2) Bedny 表述:态势感知是个体对态势有意识的动态反映,它提供态势的动态取向,不仅能适时地反映态势的过去、现状和将来,还反映该态势的潜在特性。动态反映包含人的逻辑概念、想象、意识思维,以形成对外部事物的思维模式。

(3) Smith 表述:态势感知是某环境代理系统,它使用该环境的一个性能择优器生成到达指定需求的瞬时知识和行为。

上述第一种说法强调采用某些预测形式察觉和了解世界;第三种说法则采用人与世界的互动过程定义态势感知,主要关注人和世界中事物两个系统的协同工作;第二种说法强调态势感知的反映方式,特别是与人的某些理解和思维模式相联系。

从更深的层次讲,不同态势感知概念的差别主要体现在两个方面:一是涉及态势感知获取过程,即如何客观、准确地获取态势信息,强调态势感知的客观符合性;二是强调态势感知产品,产品是否满足用户需要,即强调态势感知结果的可用性。

1.1.1 态势感知模型

根据对态势感知的不同理解,人们提出了不同的态势感知模型,用于指导特定应用系统的研究与开发。目前占主导地位的 3 个理论方法包括信息处理方法、活动性方法和察觉周期方法。信息处理方法采用三级态势感知模型将态势感知展开为高阶认知处理予以

实现;活动性方法将态势感知仅作为面向反映能力的成分之一描述;察觉周期方法则将态势感知作为人与其所在环境的一个动态交互,即从互动关系上定义态势感知。

1. Endsly 模型

Endsly 首先提出了基于航空任务的态势感知信息处理模型,后来被整理成态势轨迹的 3 个层次,该模型遵从态势察觉、理解、预测的信息处理链。在 Endsly 模型中,态势感知属于自然判断过程,属于通用的信息处理流程。

1 级态势感知: 态势元素察觉(Perception)。这是态势感知的最低层,指飞行员对飞行状态(机内)和空中环境(其他飞机、地形、交管控制)信息的察觉。对原始察觉数据还没有解释和特征提取,只进行了集成。

2 级态势感知: 态势理解(Comprehension)。对集成的原始察觉数据进行理解,产生数据元素的信息含义并获得一个当前画面,产生对飞行员相关任务的认识,包括可用燃油的飞行时间和距离、战术威胁态势、任务完成状态等。这样,飞行员能够判断其行动是否达到预期结果。理解程度的高低体现了飞行员的专业知识和思维能力。

3 级态势感知: 未来状态预测(Prediction)。最高级别的态势感知,与对环境元素的未来预测能力相联系,如预测冲突和交战活动。预测精度依赖于第 1/2 级态势元素感知的精度和理解准确度。态势预测提供给飞行员和相关指挥员,以规划下一步采取的活动路线和行为。所有进行时敏(Time Sensitive)活动的实体都极大地依赖于所期望的活动预测,以采取适时的处置方法。

图 1-1 是 Endsly 三级态势感知模型嵌入描述人类活动的动态系统模型中的框图。

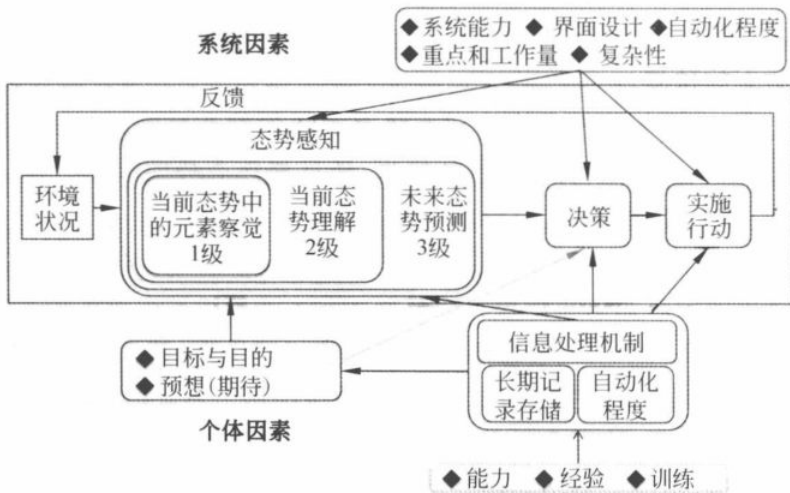


图 1-1 Endsly 三级态势感知模型嵌入描述人类活动的动态系统模型中的框图

从图 1-1 中可以看出个人因素和环境因素对态势感知的影响。能力、经验和训练程度不同的人,对同一个态势可能得到不同的结论。态势感知程度随信息处理级别的提高而增加,态势理解包含对外部察觉数据的认知、知识的提取与目标的集成,进一步形成预测状态。三级态势感知的信息处理模型符合人类的常规认知过程,为许多应用领域(特别是动态系统)提供了相关的理论框架,具有一定的通用性。

2. Bedny 模型

Bedny 模型是活动性理论的典型代表。这是从俄罗斯引入西方的一种交互式认知系统方法,它提出问题所含有过程范围仅依赖于任务的性质和个人的目标。该理论假设由 8 个功能模块组成调节活动的功能模型,面向的任务是理解态势的含义。

每个功能模块都依赖于其动态态势性质的特定任务。作为活动性的一种系统理论,该模型是不完备的。产生态势感知的关键过程是概念模型(功能模块 8)、映像目标(功能模块 2)和主观确定的任务条件(功能模块 3)。其中,功能模块 2 是建立信息-任务-目标的概念映像,功能模块 8 建立和改进现实模型,以适应新的信息,它们是相对稳定的。而动态态势和任务的功能模块 3 具有很大的处置灵活性。如果操作人员主观上出现错误导向,则可能导致态势取向的错误,无法获得准确的态势感知,很难再重新评估重要的外界因素,恢复出逼真的态势映像。态势估计的互动子系统模型如图 1-2 所示。

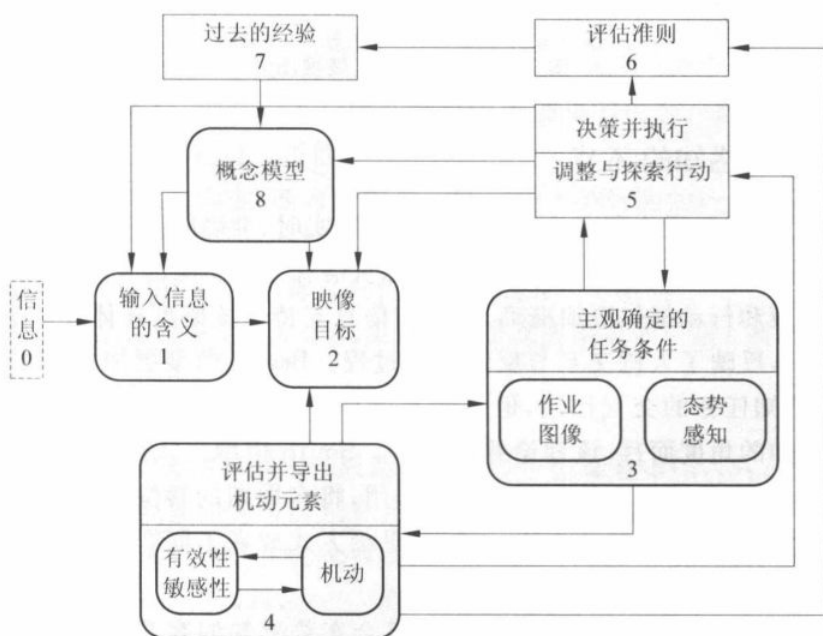


图 1-2 态势估计的互动子系统模型

3. Smith 模型

Smith 模型是察觉周期模型的典型代表。该方法认为态势感知属于人与世界的交互作用,从信息处理的角度看,态势感知过程涉及不断改进感知中的察觉和认知过程,而态势感知产品涉及采用有效信息和知识表示所感知的态势。因此,思考人与现实世界如何密切耦合交互是实现态势感知的核心。基于显示世界运行的人类思维模型,可以完成某些信息的预测,进而能指导发现和产生这些信息的行为活动。通过对现实世界运行过程和行为的采样,获得的信息能够用于人类思维模型的进一步修改和完善,从而进一步指导相应信息活动的执行。上述过程就是态势感知的察觉周期方法。图 1-3 中,圆圈内描述察觉周期,圆圈外描述通常的研究周期。

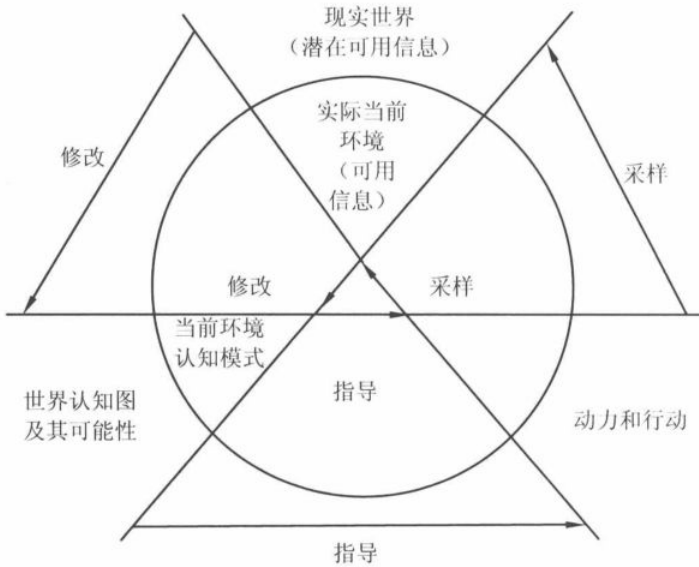


图 1-3 察觉周期扩展视图

1.1.2 态势感知的环节

上述 3 种态势感知理论和方法的目标都是获取实时、准确的态势视图,为问题决策和行动提供态势支持。其中 Endsly 的三级模型是从信息处理功能出发,体现了感知程度的逐步深化,为决策和行动提供更加准确、完整的信息支持。该模型还体现了感知-决策-行动的一体化过程,反映了人机交互与反馈控制过程。Bedny 模型更加强调主观确定的任务条件与态势感知任务的交互作用,但是没有进行态势感知活动自身功能的深化研究。因此,从态势感知的角度而言,该理论并不完善。Smith 模型以人类思维模型为基础,过分强调人的思维在态势感知中的判断和预测作用,将多周期的察觉采样最终落实为人的思维模型的修改和完善。按照此方法,不同的思维方式或者不同智慧层次的人对同一个显示很可能产生不同的态势感知结果。

这样,Endsly 的三级模型相对合理,比较符合态势感知的客观性规律。后来的研究表明,在军事领域的信息融合技术发展中,特别是在战场态势视图的生成阶段划分上,完全继承了 Endsly 的三级模型,并赋予了新的概念和内涵。

Endsly 的三级模型完全是从信息处理与理解的角度建立的。从完整的战场态势感知周期看,可以将战场态势感知周期分为 6 个环节,即信息获取、信息传输、时空配准、目标估计、态势估计、态势图的生成与分发。图 1-4 给出了战场态势感知周期中的 4 个域:物理域、信息域、认知域和社会域。

1.1.3 态势理论和逻辑模型

态势理论和逻辑是由 Barwise 和 Perry 发展并由 Devlin 加以完善的。下面介绍它的一些关键思想。

态势理论实际上提供了一种对 Lambert 观点的形式化定义:态势评估通过一系列态

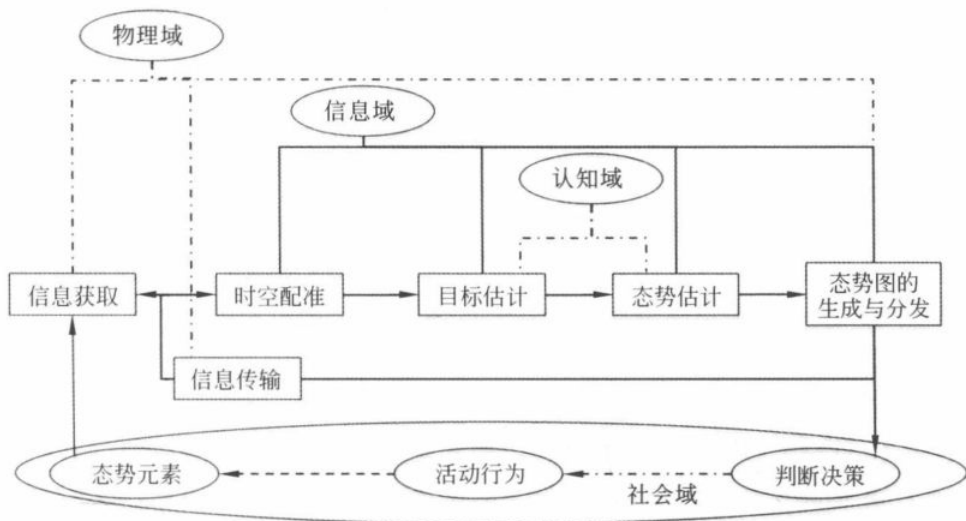


图 1-4 态势感知环节及其 4 个域

势实现对现实世界的理解,而态势是对现实世界若干表述的集合。态势逻辑的基本结构是信息元(Infon)。信息元是对一条信息的表述。

信息元是区别于陈述、命题、断言的概念。陈述是人类行为的产物,然而信息元可能适合于现实世界或某些特定的态势(包括事实的和反事实的),与人类的断言无关。如果一个信息元适合某个给定的态势,那么此信息元则成为一个事实。

态势定义为信息元的集合。一个真实的态势是态势集合的子集:所有的信息元都是事实。

1. 经典态势逻辑

由 Devlin 发展的态势逻辑采用二级谓词演算。一级命题 $R(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 是一个 m 元谓词,从中抽取 n 个元素作为考虑元素,因此 $m > n$ 。而二级命题 $Applies(r, x_1, x_2, \dots, x_n)$ 采用一个单一的谓词“适合”。在这种抽象中, r 与谓词 R 对应,这样就构造了一个二级谓词,我们将 $Applies(r, x_1, x_2, \dots, x_n)$ 简写为 $(r, x_1, x_2, \dots, x_n)$ 。

根据上述理论,信息元的表达式如下:

$$\sigma = (r, x_1, x_2, \dots, x_n, h, k, p)$$

其中, r 为一个 m 元的关系, x_i 表示实体, h 表示地点, k 表示时间,且 $1 \leq i \leq n \leq m$ 。

p 代表适用性, $p \in \{0, 1\}$, $p = 1$ 表示适用, $p = 0$ 表示不适用。例如,信息元 $(r, x_1, x_2, \dots, x_n, h, k, 1)$ 可读作在地点 h 时间 k 关系 r 适用于 n 元实体 $\langle x_1, x_2, \dots, x_n \rangle$ 。

信息元公式的一个重要特点是可嵌套。一个信息元可作为另一个信息元中的实体。例如,信息元 $\sigma_1 = (believes, x, \sigma_2, h, k, 1)$ 可理解为“在地点 h 时间 k , x 相信 σ_2 是真的”,而 σ_2 是另一个信息元。类似的嵌套信息元还可使用谓词 $R =$ 感觉,假设,怀疑等,或者是它们的相互组合。例如,“在地点 h 时间 k , x_1 问 $x_2 x_3$ 是否告诉 $x_4 x_5$ 相信 σ_2 ”,通过这种方式,态势逻辑方案可用来描述和推理反事实的和假设的态势,推断它们的相互关系以及与现实的关系。

Barwise、Perry、Devlin 等对二级谓词演算进行了扩展,也将态势作为一个实体引入操作本体。操作符“ $| =$ ”表示环境适应性,“ $s | = \sigma$ ”读作态势 s 支持 σ ,或 σ 在态势 s 中为

真。这种扩展为事实的、条件的、假设的和估计的信息提供了统一的表述。

态势像信息元一样,也可进行嵌套。例如,我方数据融合系统对敌方数据融合系统的估计。可通过这种方式推知敌方的知识状态以及敌方对当前和未来世界状态的估计。例如,我方对敌方可行方案结果的估计。这种方案能帮助我们多角度对战场态势进行评估。

2. 对不确定性的处理

经典的态势逻辑模型没有提供表述和处理不确定性的机制,但 STA 必须处理不确定性,包括获取数据的不确定性(认知不确定性),理解数据的不确定性(本体不确定性)。概率统计、证据推理、模糊逻辑以及自适应方法可用来表示认知和逻辑的不确定性,但各有其不足之处。

1) 模糊逻辑方法

有些态势可以被清晰地定义,而有些态势却是边界模糊的。模糊不仅出现在抽象的态势中(如经济衰退或海战),也出现在具体的态势中(如中途岛战役)。在这些情况中不可能定义清晰的限制条件。抽象的和具体的态势都可通过信息元适用性的模糊隶属度函数表示: $\mu_{\Sigma}(\sigma) \in [0, 1]$, 其中 $\Sigma = \{\sigma | s | = \sigma\}$ 。

模糊方法已被应用于语义匹配,提供了一种统一的描述框架将信息源与用户连接起来。有关模糊逻辑技术应用的研究已在美国空军研究工作实验室融合技术科的指导下开展,其目标是认知敌军行动并推测其意图和目的。输入参数和产生规则都是用模糊化体现不确定性或语义可变性,其输出结果经去模糊后支持独立决策。

2) 概率方法

概率方法将传统的态势逻辑中信息元的适用性参数 p 由一个极性参数(只取 0、1)修改为一个概率参数。这种概率信息元可以表达传感器测量结果、跟踪结果、前期模型以及融合态势估计中的不确定性。每个概率信息元都是对应一个关系的 $\sigma = (r, x_1, x_2, \dots, x_n, h, k, p)$ 二级表达,可理解为某时某地关系 r 以概率 p 适用于 n 元实体 $\langle x_1, x_2, \dots, x_n \rangle$ 。

这种概率信息元的表达能力可被应用于增强概率本体的表达能力。Costa 等人构建了一种概率本体形式,称为 PR-OWL。他们定义的概率本体如下。

一个概率本体是对一个应用领域知识的清晰的形式化表达,包括:

- (1) 领域中存在的实体类型。
- (2) 这些实体的特性。
- (3) 实体间的关系。
- (4) 发生在实体上的过程和事件。
- (5) 此领域的统计规则性。
- (6) 与领域中本体相关的不明确的、有歧义的、不完整的、不可靠的以及自相矛盾的知识。
- (7) 上述内容的不确定性。

1.1.4 状态转换数据融合模型

Lambert 为对象、态势、影响评估建立了一个状态转换模型。在每个层次中,世界的不同方面被预测、观察和解释,如图 1-5 所示。

- 在对象评估中,估计的目标是一个状态向量 $u(k)$,在融合系统中被解释为 $\hat{u}(k|k)$ 。
- 在态势评估中,估计的目标是一个事件集 $\Sigma(k)$ 的状态,在融合系统中被解释为陈述集合 $\hat{\Sigma}(k|k)$ 。
- 在影响评估中,估计的目标是一个剧本(scenario) $S(k) = \{\Sigma(n) | n \in Time \& n \leq \partial(k)\}$ (在时间 $\partial(k)$ 之前的态势集合),在融合系统中被解释为 $\hat{S}(k)$ 。

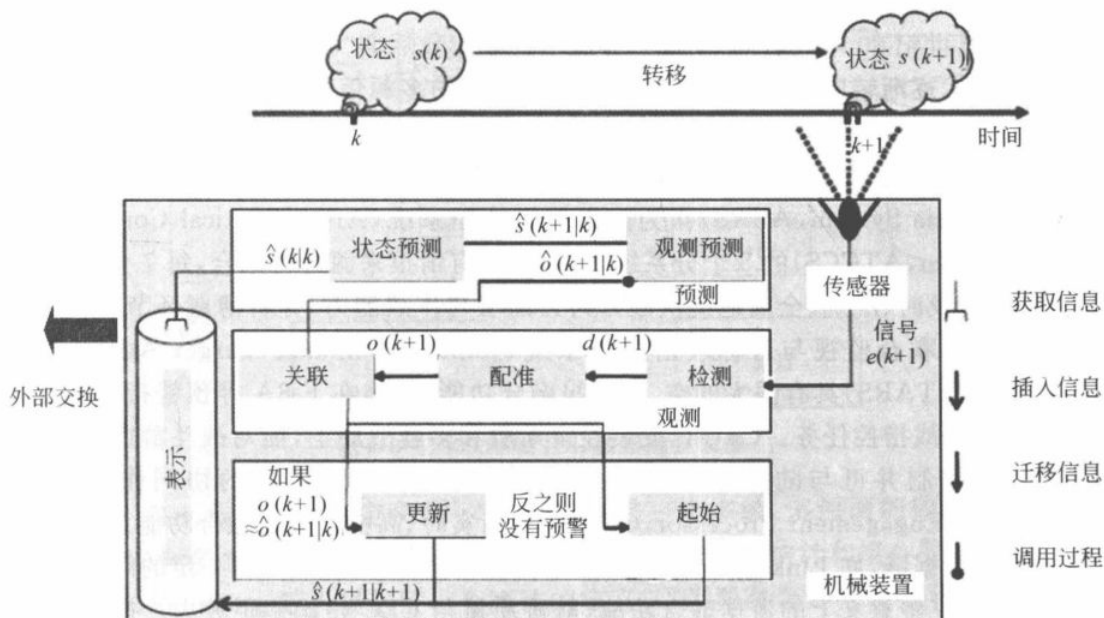


图 1-5 STDF 模型

这个模型的重要优点是提供了与 JDL1-3 级融合一致的表述和处理模型,但也存在一些问题。(a)在态势和影响评估模型中明显缺乏相关性的表述,只对时间进行了限定,而没有考虑其他影响相关性的因素。(b)人为地区分态势和剧本,如果将剧本定义为一系列态势的集合,将会削弱态势逻辑的表达能力,态势逻辑的重要特点是态势的可嵌套性,而作为剧本的一系列态势是已被分解的单个态势。(c)对意图的估计只是想要达到的结果,而没有包括打算采取的行动。

1.2 数据融合及其模型

数据融合最初是作为一种态势感知技术而被提出的。它的定义和模型是学术界研究的首要问题。由于数据融合涉及的内容广泛,要给出统一的或通用的定义非常困难,已有的定义都属于功能描述性的。目前普遍认可的数据融合模型是由美国国防部实验室联合领导机构(Joint Directors of Laboratories, JDL)提出的 JDL 融合模型。随着 JDL 数据融合模型得到广泛认可,态势感知和估计成为数据融合系统的重要内容。JDL 模型是一个试图涵盖各种应用场合的五级通用功能模型,其内涵在实践过程中不断丰富和发展。多目标跟踪属于该模型中的一级融合,是数据融合技术中最成熟的研究和应用领域,得到了广泛应用,但是在

一些复杂场景下,提高跟踪性能仍然是一个难题。实际上,数据融合模型中每个级别的功能在具体实现时都面临诸多困难,尽管已经发展了很多成熟的理论和技术,但是许多问题尚未得到很好的解决。随着各种联合作战概念的发展和武器装备性能的提升,军队对战场态势感知的需求越来越高,可以预见未来数据融合还会是持续发展的研究热点。

在军事领域,数据融合技术应用最先进、最成熟的当属美国。20世纪80年代末,美军研制的第一代数据融合系统主要实现同类传感器数据融合或单平台内多(类)传感器数据融合,处于战术层次,如美军的海面监视信息融合专家系统(OSIF)、雷达-ESM情报关系统等。

随着20世纪80年代后期“空地一体战”和90年代后期“联合作战”战略思想的出现,数据融合技术逐渐转向对跨军兵种和多维作战空间的多源信息融合研究,出现了以设计混合传感器和处理器为主要目标的第二代信息融合系统,形成了综合各种实时、非实时战场情报的面向战略、战术、火控等诸层面的人工智能系统。如全源信息分析系统(All-Source Analysis System, ASAS)作为陆军战术指控系统(Army Tactical Command and Control System, ATCCS)的5个分系统之一,对所有情报来源进行融合,每7分钟更新一幅态势图,能及时、准确、全面地提供敌方兵力部署与作战能力,分析薄弱环节,预测可能的行动方向。联合监视与目标攻击雷达系统(Joint Surveillance Target Attack Radar Subsystem, JSTARS)具有强大的空、海情报融合功能,安装在E-8A等预警指挥机上,承担空地一体作战指控任务。CEC已安装在宙斯盾和多艘战舰上,能对战斗群内几十艘战舰进行火力控制并可与陆基导弹、空中战机进行信息互通,其中的协同作战处理机(Cooperative Engagement Processor, CEP)具有高实时、高精度数据融合功能。美军主要装备的战术数据链,如Link 11、Link 16,由于传输带宽受限,虽然具有一定的航迹综合能力,但是缺乏完整意义上的数据融合功能,航迹质量与CEC相比差距较大。据美军战斗标识评估小组(All Services Combat Identification Evaluation Team, ASCIET)2001年的一项测试报告显示,CEC(协同作战能力)对一个目标会产生1.06个航迹,而Link 16为1.35个,Link 11为1.5个,Raytheon公司声称在CEC和非CEC设备的混合网络上采用其数据融合引擎,这一指标可以达到1.2航迹/目标。

1.2.1 初始定义

JDL最初于1985年在数据融合词典中给出的定义为“数据融合是对来自单一和多源的数据和信息进行关联、相关和综合,以得到更精确的位置和身份估计,对态势、威胁和其重要性进行完整的、及时的评估。这一过程的特点是持续进行估计和评估优化,并且对附加信息源的需求进行评估,甚至对过程本身也不断修正,以便获得更好的结果”。

该定义列举了数据融合技术所期望达到的功能,包括低层次的战场目标状态和属性估计,以及高层次的战场态势估计与威胁估计,并给出了一个三级功能结构。JDL模型为数据融合技术的研究提供了一种较为通用的功能框架,首次从理论上对数据融合体系进行了描述,是一个开创性成果。值得注意的是,JDL模型是一个功能模型,而不是处理流程,不应错误地认为信息流一定严格地从一级到二级、三级。图1-6为1985年版JDL数据融合模型。

1.2.2 JDL模型的演进

随着理论和应用研究的逐渐深入,数据融合初始定义的一些局限性和严谨性受到质