

第3章 战场情报信息综合处理

本章首先概括介绍战场情报信息处理技术的概念和战场情报信息处理流程；接着阐述多源信息融合技术；最后针对战场情报综合处理技术的应用，阐述战场目标综合识别。

3.1 战场情报信息处理技术

3.1.1 信息处理技术的概念

信息技术的迅速发展和广泛应用，使人类社会掀起了一场波澜壮阔的信息化浪潮，推动着人类社会从工业时代向信息时代迈进。在这种时代大变革中，人类生产和生活的各个方面都发生着质的改变，军事斗争的形式和方式也随之发生着深刻的变化，人类战争形态正在逐步由机械化战争向信息化战争演进。

与传统的军事斗争形态——机械化战争不同，信息化战争是以大量应用信息技术而形成的信息化武器装备为基础，以数字化部队为主力，以 C4ISR 系统为统一控制协调的纽带，以夺取信息优势为战略指导，以电子战、网络战、情报战、空间战和远程精确打击等为主要作战样式，诸军（兵）种在陆、海、空、天、网、电等多维一体化空间进行联合作战的高技术现代化战争。

在信息化战场上，军事力量各要素之间的紧密协调和各种武器系统威力的发挥，越来越明显地表现为对信息的依赖。信息已经成为继物质、能量之后的又一重要制胜因素和战略资源，信息控制能力是国力、军力的重要体现。由此可见，未来战争的胜负在很大程度上将取决于作战双方对信息的获取能力、处理能力和利用能力。“信息威慑”正日益成为未来战争中的一种新的威慑力量。信息优势已成为决定战争结局的重要因素。可以说，谁拥有信息优势，谁掌握控制信息权，谁就能在未来的战争中赢得主动，并最终夺取战争胜利。

在人类认识的世界中，物质、能量和信息是构成世界的三大要素，它们是不同的资源，信息既不是物质，也不是能量，而是物质在相互作用中表现出来的一种属性。信息同物质、能源一样，是人类赖以生存和发展的宝贵资源，是现代社会的三大要素之一。数据、信息、情报有其共同特点，但又有所区别。数据是对问题说明或事件处理的一种定量表示，它仅仅是一种抽象的量的概念，本身并不代表任何具体东西；信息则是数据经过一定方式处理后得到的，是加载在数据之上对数据具体含义的解释。信息是直接面向用户的，对于不同的用户具有不同的意义和价值，这一点是数据所不具备的。数据是信息系统的加工原材料，信息则是信息系统的产品。从本质上看，信息是事物运动的状态、方式及其表现形式，情报则是有组织地获取的有针对性的信息，它是指指挥决策的依据。没有及时准确的情报，就不可能有科学正确的指挥和控制。

军事情报信息是信息应用于军事领域的一种特殊形式，是在日常勤务和作战中表现出来的一种属性，是各种军事活动方式、状态的直接或间接的表述。军事情报信息是反映军事活动特

征及其发展变化情况的各种情报、命令、指令、消息和资料的统称,包括数字、报表、凭证、文字、符号、图纸、语音、图像、视频和多媒体等多种形式。军事情报信息是作战指挥和军事行动的重要依据,是综合作战能力的重要组成部分。

战场情报信息处理系统是在各种信息技术武器装备的基础上,以计算机技术为核心、以通信网络技术为支撑平台而构成的军事信息系统,主要用于信息的获取、传输与处理。它通常由信息获取系统、信息传输系统、信息处理系统组成。信息处理系统包括各类信息分析、信息分发、指挥控制等硬件设备和计算机应用软件,这些设备和软件用于从大量原始信息资源中提取真实和有用的军事信息,并依据这些信息为作战指挥人员提供辅助决策。其中信息处理技术涉及信息获取、传递、存储、处理和使用的方方面面。

战场情报信息处理技术主要包含战场目标感知、检测、识别、定位和跟踪技术。

(1) 目标感知技术。利用各种探测设备探测目标的外在特征信息,即目标所表现出来的几何特性、物理特性(如声、光、电、磁、热力学特性)及化学特性,以获取目标的本质及其内在规律。

对军事目标的感知最初采用的手段是对人类感觉器官功能的直接延伸,代表性仪器有工作于可见光波段的望远镜、照相机、探照灯等光学仪器。感知技术发展的里程碑是第二次世界大战中雷达、声纳的应用。目前随着新技术的发展和作战需求的牵引,雷达感知技术、声纳感知技术、电子侦察感知技术、可见光无源感知技术、红外和多光谱感知技术等成为重要的信息获取技术。

(2) 目标检测技术。根据探测设备接收到的电磁信号、声信号、图形图像信息等,判断是否存在目标。

(3) 目标识别技术。亦称属性分类或身份估计,是指对目标敌我属性、类型、种类的判别。目标识别是对基于不同信息源得到的目标属性数据所形成的一个组合的目标身份说明。现代战争要求指挥员能在瞬息万变的战场迅速做出战术决策,而只有在准确识别目标的基础上才能做到快速决策和有效打击。因此目标识别技术在现代战争中始终具有重要地位。

(4) 目标定位技术。测量目标位置参数、时间参数、运动参数等时空信息的技术,用于对目标进行精确定位。

(5) 目标跟踪技术。根据传感器获取的目标点迹,确定或估计目标的有关参数,如航向、航速等运动参数,进而推算目标未来位置的过程。

以海战场情报信息处理过程为例,一般而言,海战场情报信息处理过程首先是收集预警探测站点和海空潜平台上报的海上目标情报,以及收集各级技术侦察情报、海上兵力行动/计划信息和民用海情信息。预警探测站点包括雷达观通站、电子对抗侦察站、水声站等,海空潜平台包括预警机/警戒机/电子侦察机、海上编队、水面舰艇、潜艇等。之后根据情报的类别或手段,分别进行各专业情报处理,完成基于单信息源的目标检测、目标识别、目标定位、目标跟踪,实现目标状态和属性的估计,即进行目标航迹生成和属性类型初判;在此基础上,进行多源异类情报综合,以某种准则和算法合并多信息源获取的位置、特征参数和身份信息,以获取单个实体目标(如辐射源、平台、武器、军事单元)的精确表示;最后基于对实体间的关系所做的推理,进行实体状态的估计和预测,最终构建战场态势图。

3.1.2 战场情报信息处理流程

从信息流程上来讲,战场情报信息处理系统通常是以计算机为核心、信息为媒介、通信网

络为神经的，具有信息获取、传递、处理和对抗等能力的一种分布式信息处理系统。情报信息系统数据处理基本流程如下。

(1) 获取。情报信息获取是通过一定的技术手段取得所需情报信息的过程。通常需要获取的情报信息包括地形、天候、电磁、武器性能、数量、位置、状态、水文气象等。

(2) 传输。情报信息传输是利用情报数据传输网络将侦察监视器材获得的原始信息或经过处理的情报信息发送到所需平台的过程。基本手段分有线与无线、既有设施与野战临时设施，有线方法使用同轴和光纤；无线方法由于使用了许多新的技术，几乎涵盖了所有的频率范围。两种方法的数据传输，都依赖于以计算机为核心所构成的数据通信方式，并采用了许多新的加密和抗干扰方法。

(3) 处理。广义的情报处理是指从获取情报到提供使用的整个过程。情报信息系统的核心功能是情报信息处理。处理过程包括数据处理（格式转换）、信息存储、相关处理、逻辑分析和输出。目前情报信息系统进行信息处理的核心技术是多源情报数据融合，涵盖技术层、表示层和认知层三个层次。

(4) 分发。经处理后的情报信息根据需要分配给使用者，这个过程就是信息的分发。情报信息分发的基本原则是按权限，按范围，按需求，按时序。

(5) 应用。情报信息的应用主要集中在三个关键的层面：指挥决策层，各作战要素层，武器平台操作层。理想化的结果是使各应用终端最终达到可靠互通、充分互用、易于互操作。

(6) 反馈。情报信息反馈主要是从信息获取前端到数据应用终端的逐级信息双向交流，关键是不断地更新、改正和完善各类数据库，为应用提供可靠的信息数据。

指挥信息系统的信息处理流程如图 3-1 所示。

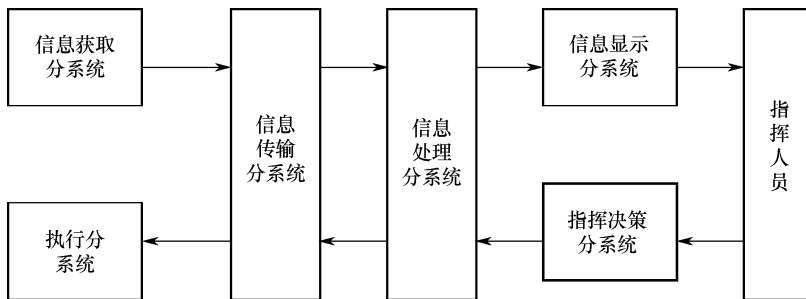


图 3-1 指挥信息系统的信息处理流程

按照信息流程和业务应用的需求划分，指挥信息系统分为信息收集分系统、信息传输分系统、信息处理分系统、信息显示分系统、指挥决策分系统、执行分系统等部分，各个分系统的功能如下。

1. 信息收集分系统

信息收集分系统是指挥信息系统的“耳目”，是整个系统的输入部分。该分系统能及时收集敌我双方的兵力部署、作战行动、战场地形、气象等情况，为指挥员定下决心提供实时的准确情报。

在作战应用上，信息获取分系统主要对应预警探测和情报侦察等系统，利用遥感、传感技术进行情报收集，由侦察卫星、侦察飞机、雷达、声纳、光学、红外等侦察探测设备组成。接

收的信息类型主要有电磁信息、图形图像信息、声响信息、文电信息、语音信息等。

2. 信息传输分系统

信息传输分系统是指挥信息系统的“神经网络”，是连接指挥信息系统各要素、各分系统和各种设备的桥梁和纽带。在作战应用上，信息传输分系统主要对应军事通信系统，其主要任务是迅速、准确、安全可靠、不间断地传输各种指挥、控制、情报信息，将指挥信息系统各要素连接为一个有机的整体。

信息传输分系统主要由各种传输信道、交换设备、通信终端等组成。传输信道以光纤、数字微波接力、通信卫星信道为主，辅之以短波、超短波、散射信道等。

3. 信息处理分系统

信息处理分系统是指挥信息系统的“大脑”，是指挥信息系统的核心。在作战应用上，信息处理分系统主要对应指挥控制系统中的指挥部分，其任务是对所收集的各种情报信息和预警探测信息进行综合、分类、存储、更新、检索、复制和计算等，并进行目标运动参数计算、属性识别、威胁估计等分析和处理。

4. 信息显示分系统

信息显示分系统的作用是以文字、符号、数字、表格、图形图像等多种形式，为指挥员、参谋人员、操作人员提供形象、直观、清晰的战场态势，以便其及时了解情况，迅速做出决策。该分系统显示的信息，可以由信息收集分系统提供并经信息处理分系统处理过的动态信息，也可以是数据库中存储的静态信息，如军用地图、水文资料等。

5. 指挥决策分系统

在作战应用上，指挥决策分系统主要对应指挥控制系统中的指挥部分，供指挥员实施作战指挥、参谋人员和操作人员进行战术技术管理。可根据作战需要，随时调阅各种实时情报或历史情报信息，随时调整所需显示或输出的信息，并可根据问题的性质，进行自动决策或计算机辅助决策控制。辅助指挥人员拟制各种作战方案或计划，对各种作战方案进行模拟、比较评估和优选等，提高指挥决策的科学性。

6. 执行分系统

执行分系统是指挥信息系统的“神经中枢”，是整个系统的输出与控制部分。在作战应用上，主要对应指挥控制系统中的控制部分，其主要任务是将作战命令信息或控制指令信息变为具体的作战行动或动作。执行分系统主要由人或部（分）队和执行设备组成，如导弹的发射控制和制导装置、火炮的发射控制装置以及各种遥控设备的执行机构等。

根据上述系统划分，战场情报信息处理系统包含战场目标的信息获取、传输、处理、显示、指挥决策等技术。其基本任务是收集各种情报信息，主要是有关敌我双方目标的各种信息，如目标属性、类型、位置参数、运动参数等，及时传送给指挥中心，在指挥中心进行汇集、分析、融合后，形成综合战场态势，为指挥员提供准确的、完整的实时作战空间图像，以及敌方目标视图，以便其进行作战指挥决策。

3.2 多源信息融合技术

3.2.1 概述

从信息角度出发, 战场感知资源包括信息获取和信息处理资源。通过多源异类情报综合是获取战场情报最主要也是最重要的手段之一。在对多源情报信息进行综合时, 需要采用多源信息融合 (Multi-Source Information Fusion, MSIF) 技术。多源信息融合技术起源于军事应用, 是信息科学的一个新兴领域。20 世纪 70 年代初, 首先在军事领域产生了“数据融合”的全新概念, 即把多种传感器获得的数据进行“融合处理”, 以得到比单一传感器更加准确和有用的信息。从 80 年代开始, 基于多源信息综合意义的“融合”一词开始广泛出现于各类技术文献中, 并且这一概念不断扩展, 被处理的对象不仅包含多平台、多传感器、多源的信号和数据, 还包括符号, 甚至知识和经验等多种信息。随着传感器技术、计算机科学和信息技术的发展, 多源信息融合技术的研究对象和应用领域已深入到国防、工业、农业、交通、通信等传统行业, 还拓展到气象预报、地球科学、生物、社会、经济等新兴交叉行业, 其理论和方法已成为智能信息处理及控制的一个重要研究方向。

1. 多源信息融合的定义

由于信息融合研究内容的广泛性和多样性, 很难对信息融合给出一个统一的定义。在军事应用中普遍接受的信息融合的定义是 1991 年由美国三军组织——实验室理事联合会 (Joint Directors of Laboratories, JDL) 提出的, 1994 年由澳大利亚防御科学技术委员会 (Defense Science and Technology Organization, DSTO) 加以扩展。JDL 定义为: 信息融合是一种多层次、多方面的处理过程, 包括对多源数据的检测、关联、相关、估计和综合, 以得到精确的状态和身份估计及完整、及时的态势和威胁估计。

这个定义强调信息融合的三个主要方面:

- (1) 信息融合是一种多层次、多方面的处理过程, 不同层次代表信息处理的不同级别, 一般包括数据级、特征级、决策级。
- (2) 信息融合的过程包括对多源数据的检测、关联、相关、估计和综合。
- (3) 信息融合的结果包括低层次上的精确的状态和身份估计, 以及高层次上的完整、及时的态势和威胁估计。

上述定义只适用于军事领域, 一般意义上的信息融合技术是一种对多源不确定性信息进行综合处理及利用的信息处理技术。它是利用计算机技术, 对由多种信息源获取或多个传感器观测到的信息进行多级别、多方面、多层次的处理, 以获得单个或单类信息源无法获得的有价值的综合信息, 并最终完成其决策和估计任务。

也有专家认为, 信息融合就是由多种信息源如传感器、数据库、知识库和人类本身获取有关信息, 并进行滤波、相关和集成, 从而形成一个表示架构, 这种架构适合获得有关决策, 如对信息的解释、达到系统目标 (如识别、跟踪或态势估计)、传感器管理和系统控制等。

这里的信息源可能是传感器 (指的是对环境进行观测或探测的设备, 是一种实体), 如雷达、声纳、红外、光学设备等, 其信息形式主要是传感器获取的数据、图像等, 此时的信息融合称为多传感器数据融合 (Multi-Sensor Data Fusion, MSDF)。目前信息融合已扩大到多类信

息源，如数据库、知识库和人工情报，故一般称为多源信息融合（MSIF）。多传感器是数据融合技术的硬件基础，多信息源是数据融合技术的对象，识别优化是数据融合技术的核心。

2. 多源信息融合的优势

与单传感器系统相比，多传感器系统从多个几何学角度观察目标，然后融合数据，可以极大地增强探测和分类特征，并克服某些传感器的特定限制，可以概括为以下优势。

1) 扩展了时间/空间覆盖范围

由于各传感器可能分布在不同的空间上，通过多个交叉覆盖的传感器作用区域，一种传感器可以探测到其他传感器探测不到的地方，如当目标从一个传感器探测区域转移到另一个传感器探测区域时，系统可以将目标跟踪从一个传感器正确地切换到另一个传感器。而在时间上，一种传感器可以探测其他传感器不能顾及的目标/事件，还可分时工作，如可见光传感器与红外传感器构成的多传感器系统，可在白天和夜晚分时工作。

2) 增加了测量空间的维数

多传感器收集的信息中不相关的信息在测量空间中是正交的。在一定范围内增加测量向量的维数，可显著提高系统的性能，使多传感器系统不易受到敌方有意的干扰和迷惑。例如，在探测隐身平台时，雷达从不同角度进行辐射探测可能探测到该平台的一些次优属性，并区分探测是否为目标。图 3-2 说明了增加测量空间维数的优势。

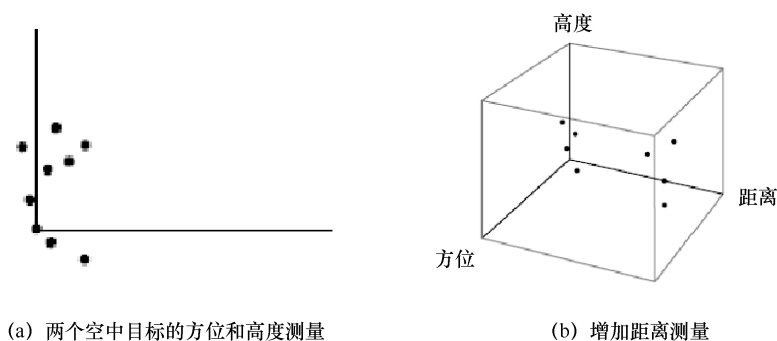


图 3-2 增加测量空间维数的优势

图 3-2 (a) 所示为两个空中目标的方位和高度测量，因为它们的空间上重叠，所以无法可靠分离开。但是如果增加距离测量（图 3-2 (b)），就很容易分开了。因为最初的二维数据集的信息内容是不充分的，即使采用复杂的聚类算法也不能区分这两组目标。而增加第三个测量维数，就能够轻易地利用一个简单的聚类算法完成这个任务。

3) 增强了系统的生存能力与容错能力

系统中布设多个传感器，当某些传感器不能利用或受到干扰毁坏时，可能会有其他传感器提供信息，即个别传感器的毁坏不影响整个系统的能力。例如，一个雷达工作在 1GHz 频率，另一个雷达工作在 3GHz 频率，在这种情况下，敌人必须采用对抗措施来对付这两种波段，才能使这个综合系统无法给出目标航迹。

4) 改善了系统的处理性能

多种传感器对同一目标/事件加以确认，降低了目标/事件的不确定性，减少了信息的模糊性，提高了信息的可信度，从而提高了检测、识别、跟踪等决策的可信度。如多个传感器优化协同作用，提高了目标的探测概率，降低了多测量数据的模糊性和不确定性；多传感器目标数

据综合处理,提高了系统跟踪和识别精度。

例如,红外成像和雷达是目标探测和跟踪的两种主要传感器。它们各有优缺点:红外成像可以测得目标的成像信息,而且测角精度高,测量连续,但是不能测距;雷达则具有全天候、可测角、测距等优点,但是测角精度低,容易受干扰,且在某些测量周期内会产生漏检现象。因此,如果将二者的信息有效融合,可以改善目标的跟踪精度,增强对目标跟踪的鲁棒性和抗干扰能力,提高武器系统的综合作战效能。

对于多传感器目标识别来说,现代战场上,由于目标的种类日益增多、行为日趋复杂,加之战场环境的复杂性和单一传感器探测的片面性,传统的基于雷达、声纳、电子支援措施、敌我识别器、光电等单传感器的目标识别方法已难以取得令人满意的效果。利用多个传感器从时间、空间等不同的角度刻画目标特征,提供多种观测数据,进行优化综合处理,能够去伪存真,最大限度地提高识别的准确性。

3. 多源信息融合技术分类

多源信息融合有多种分类方法,如按传感器组合方式、信息融合处理层次、信息融合目的分类等。

1) 按传感器组合方式分类

在多传感器网络中,多种传感器可以按同类传感器或异类传感器进行组合。

(1) 同类传感器组合。只处理来自同一类传感器的信息,如多部雷达、多部声纳等。各个传感器的数据格式、信息内容都完全相同,因而处理方法相对比较简便。

(2) 异类传感器组合。同时处理来自各种不同类型传感器采集的数据。优点是信息内容广泛,可以取长补短,实现全源信息相关,因而分析结论更准确、更全面、更可靠,但处理难度则更高。

2) 按信息融合处理层次分类

信息融合是一个多级别、多层次的处理过程。按融合层次分类,可分为数据级融合、特征级融合、决策级融合,其中数据级融合是最低层次,决策级融合是最高层次。

(1) 数据级融合。数据级融合是在采集到的原始信息层次上进行融合,即直接对未经预处理的传感器原始观测数据或图像进行综合和分析。它只适合同类传感器的数据融合,如同类(或同质)的雷达数据直接合成或多源图像融合(也称为像素级融合)。

其优点是保留了尽可能多的信息,基本不发生信息丢失或遗漏(信息损失量最少),因此融合性能最好。其缺点是:①处理信息量大,所需处理时间长,实时性差;②要求数据在时间、空间上严格配准,图像融合则要求严格配准到每个像素的精度;③抗干扰性能差、容错性差;④算法难度高。

(2) 特征级融合。特征级融合兼顾了数据级融合和决策级融合的优点,利用从传感器的原始信息中提取到的特征信息进行综合分析和处理。其优点是既保持足够数量的重要信息,又已经过可容许的数据压缩,大大稀释了数据量,可以提高处理过程的实时性;而且特别有价值的是,在模式识别、图像分析、计算机视觉等现代高科技应用中,实际上都是以特征提取为基础的,并已在在这方面开展了大量工作,因此在特征级上进行融合较为方便。特征级融合的缺点是不可避免地会有某些信息损失,因此需对传感器预处理提出较严格的要求。

(3) 决策级融合。决策级融合是在各传感器和各低层信息融合中心已经完成各自决策的基础上,根据一定准则和每个传感器的决策与决策可信度执行综合评判,给出一个统一的最

终决策。

其优点是：①处理的信息量最少，最简单、实用；②容错性强：当某个或某些传感器出现错误时，系统经过适当融合处理，仍有可能得到正确结果；③传感器可以是异类的，融合中心处理代价低。其缺点是信息损失量大，性能相对较差。

上述三个信息融合处理层次的优缺点对比见表 3-1。

表 3-1 信息融合处理层次的优缺点

	数据级融合	特征级融合	决策级融合
传感器类型	同类	同类/异类	异类
处理信息量	最大	中等	最小
信息量损失	最小	中等	最大
抗干扰性能	最差	中等	最好
容错性能	最差	中等	最好
算法难度	最难	中等	最易
融合性能	最好	中等	最差

3) 按信息融合目的分类

多源信息融合的目的大体可分为检测、估计、属性等。

(1) 检测融合 (Detection Fusion)。检测融合的主要目的是利用多传感器进行信息融合处理，可以消除单个或单类传感器检测的不确定性，提高检测系统的可靠性，获得对检测对象更准确的认识，如利用多个传感器检测目标以判断其是否存在。

(2) 估计融合。估计融合的主要目的是利用多传感器检测信息对目标运动轨迹进行估计。利用单个传感器的估计可能难以得到比较准确的估计结果，需要多个传感器共同估计，并对多个估计信息进行融合，以最终确定目标运动轨迹。

(3) 属性融合。属性融合的主要目的是利用多传感器检测信息对目标属性、类型进行判断。

4. 多源融合检测技术

多源信息融合的目的主要是利用多源信息完成各种检测（如目标检测、故障检测、障碍物检测等）、状态估计（如目标状态参数估计）、属性识别（如目标敌我属性、目标类型识别等）任务。检测融合的主要目的是通过多传感器信息融合，以消除单个或单类传感器检测的不确定性，提高检测系统的可靠性，获得对被检测对象更准确的认识。例如，在军事监视应用中利用多传感器进行目标检测可以大大提高系统监视能力、改善检测性能、缩短决策时间。

由于利用单个传感器进行检测，缺乏对多源多维信息的协同利用、综合处理，也未能充分考虑被检测对象的系统性和整体性，因而在可靠性、准确性和实用性方面都存在着不同程度的缺陷，因此需要利用多个传感器进行协同检测，并利用多个检测信息进行融合。

多传感器检测融合结构主要有集中式和分布式两种。集中式融合结构是将每个传感器获得的观测信息直接传送到信息融合中心，信息融合中心借助一定的准则和算法对全部初始信息进行联合、筛选、相关和合成处理，一次性地提供信息融合输出。这种方法虽然具有数据全面、无信息丢失、最终判决结论置信度高等优点，但由于传输数据量大、信息处理时间长、融合中心负担重而影响系统响应能力。

分布式融合结构则是先由每个传感器对原始观测数据进行初步分析处理，做出本地判决结论，之后只将这种本地判决结论及其有关信息，或经初步分析认定可能存在某种结论但又不完

全可靠的结论及其有关信息，向信息融合中心呈报。其后再由信息融合中心在更高层次上集中多方面信息做进一步的相关合成处理，获取最终判决结论。

与集中式融合结构相比，由于分布式融合结构没有接收到所有传感器的观测，因此其性能有所降低，但其传输数据量要少得多，对传输网络的要求低，信息融合处理时间短，响应速度快。这使在当前检测环境日趋复杂、数据量日益增大的情况下，分布式融合结构得到更广泛的重视，因此下面主要讨论分布式融合检测系统及分布式检测融合策略。

(1) 分布式融合检测系统。下面以并行分布式融合检测结构为例，说明分布式检测问题的问题描述。并行分布式融合检测系统如图 3-3 所示。

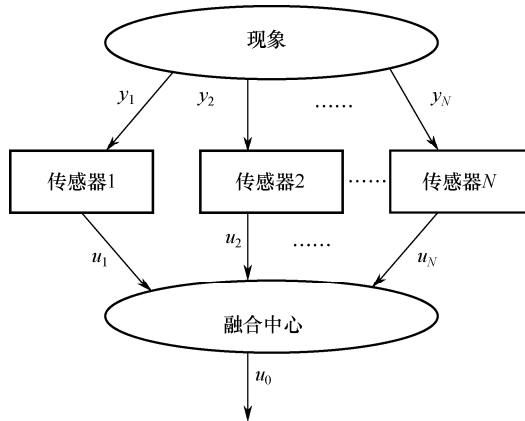


图 3-3 并行分布式融合检测系统

设多传感器检测系统由 N 个传感器组成。其中每个局部探测器基于自己的观测值 y_i 完成同一个决策任务 u_i ，之后将决策值 u_i 传送到融合中心，融合中心的任务是根据接收到的局部决策，利用最优融合规则，作出最终决策 u_0 。

在目标检测中的决策任务实际上属于二元假设检验问题。所谓的假设检验问题是指给定一组假设 $H_i, i=0, 1, \dots, m-1$ ，通过对已有的数据集 y 进行处理来确定当前哪一个假设 H_j 是成立的，从而做出决策 D_j ，而如何根据已有数据集 y 得到最优决策结果，属于最优决策策略问题。在目标检测中的二元假设检验，如在雷达监视区域里检测目标的存在与否，假设 H_0 表示无目标， H_1 表示有目标， $P(H_0) = P_0$ 和 $P(H_1) = P_1$ 分别为 H_0 和 H_1 出现的先验概率，且 $P_0 + P_1 = 1$ 。则每个传感器的决策值 u_i 为二元值，一般定义为

$$u_i = \begin{cases} 0, & \text{假设 } H_0 \text{ (判定为无目标)} \\ 1, & \text{假设 } H_1 \text{ (判定为有目标)} \end{cases} \quad (i = 1, 2, \dots, N)$$

这些局部决策（而不是其观测向量）传送到融合中心，构成融合中心的观测向量

$$\mathbf{U} = (u_1, u_2, \dots, u_N)$$

融合中心基于 \mathbf{U} 获得全局决策 u_0 ，即融合中心的决策值为

$$u_0 = \begin{cases} 0, & \text{假设 } H_0 \text{ (判定为无目标)} \\ 1, & \text{假设 } H_1 \text{ (判定为有目标)} \end{cases}$$

这种判决结果有四种可能性：

- ① H_0 为真，判决 $u_0 = 0$ ；
- ② H_1 为真，判决 $u_0 = 1$ ；

③ H_0 为真, 判决 $u_0 = 1$;

④ H_1 为真, 判决 $u_0 = 0$ 。

前两者对应正确的选择, 后两者对应错误的选择。其中, ③称为第一类错误, 即虚警 (没有目标而判决有目标); ④称为第二类错误, 即漏检 (有目标而判决没有目标)。所得概率:

虚警率: $P_f = P(u = 1 | H_0)$;

漏检率: $P_m = P(u = 0 | H_1)$;

检测率: $P_d = P(u = 1 | H_1)$ 。

多传感器目标检测的目的就是使目标检测率尽可能高 (漏检率尽可能低), 虚警概率尽可能低。

(2) 分布式检测融合策略。在分布式多传感器检测系统中, 如何根据各传感器的决策值得到融合中心的决策值, 有多种准则, 假设系统中有 N 个传感器, 其中, 第 i 个传感器的检测率为 P_d^i , 虚警概率为 P_f^i , 漏检率为 P_m^i 。 u_i 表示第 i 个传感器的决策值, u_0 为按照各种融合策略得到的全局最优决策。以下分别介绍这些准则。

① “与”融合检测准则。

所有传感器判决结果为 1, 则最终结果为 1; 否则为 0。很容易证明, 经过“与”融合检测后, 系统的检测概率 P_d 和虚警概率 P_f 分别为

$$P_d = \prod_{i=1}^N P_d^i, \quad P_f = \prod_{i=1}^N P_f^i \quad (3-1)$$

显然这种融合策略可以大大降低系统的虚警概率, 但是也会大大降低系统的检测概率。

② “或”融合检测准则。

很容易证明, 经过“或”融合检测后, 系统的检测概率 P_d 和虚警概率 P_f 分别为

$$P_d = 1 - \prod_{i=1}^N (1 - P_d^i) \quad (3-2)$$

$$P_f = 1 - \prod_{i=1}^N (1 - P_f^i) \quad (3-3)$$

这种融合策略可以大大提高系统的检测概率, 但是也会大大增加系统的虚警概率。

③ 表决融合检测准则。

复杂干扰环境下的表决融合检测方法 (也称为 k/n 规则), 是在具有 n 个局部观测器的检测网络中, 设定一个阈值 k , 当 n 个观测器中有 k 个或 k 个以上支持某一假设时, 则判定该假设成立。

描述如下: 当系统中有 N 个传感器时, k/n 规则表示为

$$U_0 = \begin{cases} 1, & \sum_{i=1}^N u_i \geq k \\ 0, & \sum_{i=1}^N u_i < k \end{cases} \quad (3-4)$$

其中, k 为决定融合系统性能的重要参数, $1 \leq k \leq n$, 它的取值对在满足一定虚警率的前提下尽可能提高检测率具有重要意义。显然, 当 $k=n$ 时, 表决方法就是“与”方法; 当 $k=1$ 时, 表决方法就是“或”方法。

表决融合检测系统的检测概率 P_d 和虚警概率 P_f 分别为

$$P_d = \sum_{j=k}^n \sum_{\sum u_i=j} \prod_i P_{d_i}^{u_i} (1 - P_{d_i})^{1-u_i} \quad (3-5)$$

$$P_f = \sum_{j=k}^n \sum_{\sum u_i=j} \prod_i P_{f_i}^{u_i} (1 - P_{f_i})^{1-u_i} \quad (3-6)$$

对于固定的 n ，当 k 取不同的值时，会产生不同的检测效果，选取小的 k 值能够提高检测率，但同时也增大了虚警率；选取大的 k 值降低了虚警率，但同时也降低了检测率。因此 k 的取值很关键，应该在满足一定虚警率的前提下尽可能提高检测率，或者在两者之间进行权衡，这与实际要求有关。

3.2.2 多源属性融合

对属性融合不存在精确和唯一的算法分类，在属性融合领域中有统计法、经典推理、贝叶斯推理、模板法、表决法以及自适应神经网络等。图 3-4 为属性融合算法的分类。它们可以归纳为三大类：物理模型、参数分类技术和基于知识的模型。

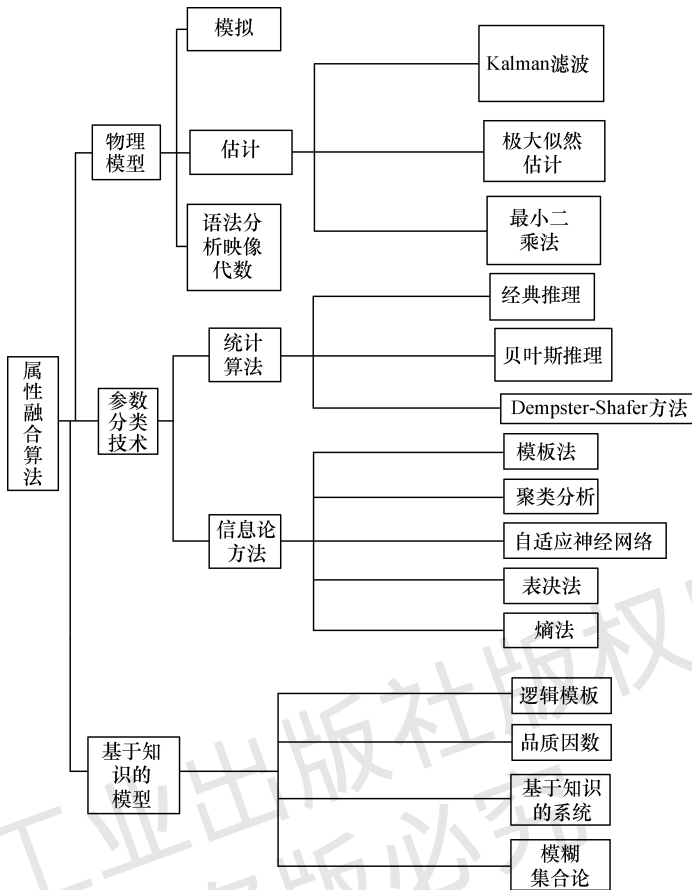


图 3-4 属性融合算法的分类

1. 物理模型

物理模型所采用的技术是根据物理模型模拟出可观测或可计算的数据（时间域、信号、数据、频域数据或图像等，如 RCS、IR 光谱），并把观测数据与预先存储的目标特征（一个先验的目标特征文件）或根据对观测数据进行预测的物理模型所得出的模拟特征进行比较。比较过程涉及计算预测数据和实测数据的相关关系。如果相关系数超过一个预先规定的阈值，则认为两者存在匹配关系（身份相同）。这种方法的物理模型如图 3-5 所示。

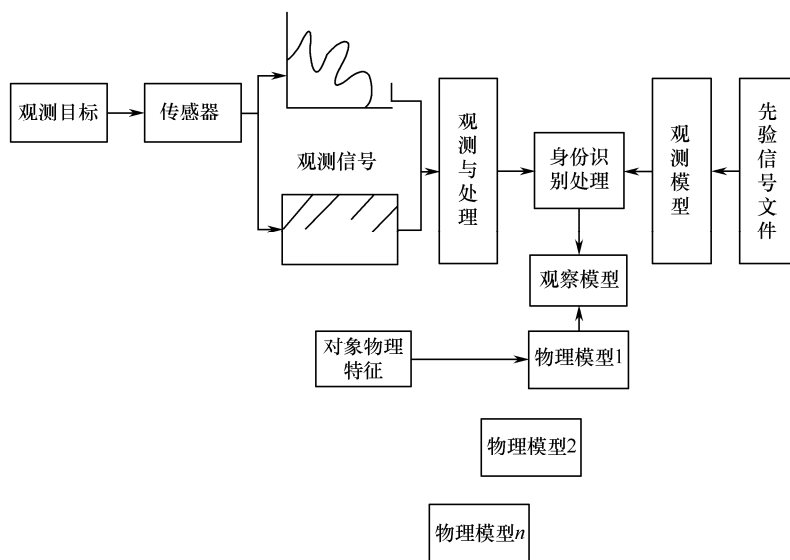


图 3-5 身份识别的物理模型方法

这里，预测一个实体特征的物理模型必须建立在要识别物体的物理特征的基础上。对每一种物体或每一类型的物体可能需要建立一个物理模型，如用数字信号模拟来预测发射机的发射情况。在实际应用中，物理模型可能十分复杂，因而需要设计庞大的软件程序。即使当物理模型相对简单或者使用一个先验特征数据时，观测模型和处理过程也可能相当复杂。

例如，一个成像传感器被用作遥感，并且已经有较简单的模型或者一个实体的真实照片。原则上，识别过程是很简单的，只是把观测图像与模型或一张事先得到的照片进行比较。但实际上为了把得到的观测数据与预测的模型或已有的照片进行匹配，可能需要相当多的处理工作，如传感器的几何校正、滤波器补偿、平台几何校正及动态距离调整等。物理模型由于计算量很大，其应用一般来说很有限。但在非实时环境中，该方法对于研究所涉及的物理现象是非常有价值的。

2. 参数分类技术

参数分类技术是依据参数数据获得属性说明，而不使用物理模型。在参数数据（如特征）和一个属性说明之间建立一个直接的映像，具体包括统计算法（如经典推理、贝叶斯推理、Dempster-Shafer 方法）和信息论方法（如模板法、聚类分析、自适应神经网络、表决法和熵法）。

统计算法有经典推理、贝叶斯推理、Dempster-Shafer 方法等。经典推理技术在给定先验前提假设下计算一个观测的概率，它的缺点是一次仅能估计两个假设（ H_0 和 H_1 ）；多变量数据

的复杂度高；不能直接使用先验似然估计。贝叶斯推理将贝叶斯公式用于目标属性估计，其缺点是定义先验似然函数困难；当存在多个可能假设和多条相关事件时复杂度高；需要对应的互不相容的假设；缺乏分配总的不确定性的能力。Dempster-Shafer 方法的综合规划在计算上的复杂度高。

3. 基于知识的模型

属性融合算法的第三种主要方法是基于知识的模型。这种方法主要是模仿人类对属性判别的推理过程，可以在原始传感器数据或抽取的特征基础上进行。用此类方法进行目标识别的原理如图 3-6 所示。

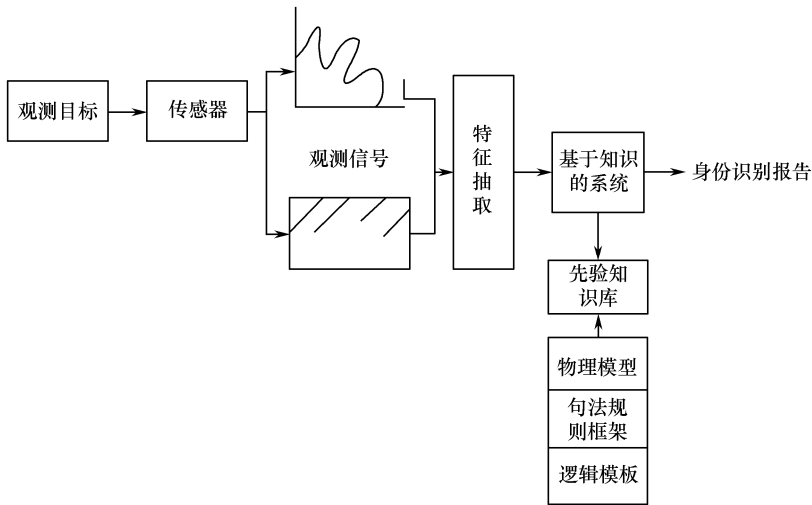


图 3-6 基于知识的目标识别原理

基于知识的方法的成功与否，在很大程度上依赖于一个先验知识库。有效的知识库是用知识工程技术建立的。这里虽然不明确要求使用物理模型，却是建立在对要识别实体的组成和结构有一个彻底了解的基础上的，因此，该方法只不过是启发式的方法代替了数学模型而已。当目标物体能根据其组成部分及其相互关系来识别时，这种基于知识的方法尤其有用。不仅如此，对于一个复杂的实体，这种方法会变得很有用。例如，发射体的识别可以很容易地通过物理模型、模板法或神经网络来完成。但是，在识别诸如地对空导弹基地这样的军事目标时，就需要识别几个组成部分，辨别它们的功能及相互关系，并进行一些推理，因此只有基于知识的技术才能更好地进行这类识别。

这个分类中的技术主要包括逻辑模板、品质因数、基于知识的系统和模糊集合论。这些方法在一定意义上是基于人类处理信息的过程得出有关属性的结论。

3.3 战场目标综合识别

3.3.1 目标综合识别的概念

多源信息融合和目标综合识别是为支持作战决策，综合利用计算机、信息处理、人工智能等技术，按照一定准则，对多传感器获得的信息进行综合分析处理的过程，包括对多源数据

进行检测、相关、组合和估计，从而提高状态和身份估计的精度，以对战场态势和威胁的重要程度进行适时完整的评价。

在情报侦察领域，人们采用雷达、光电、电子等多种手段，对战场目标（可以是辐射源、武器平台、建筑或集群）进行搜寻，力求及时发现、证实/印证、识别和跟踪战场目标。可以通过采用协同和非协同的技术手段来实现对战场目标的综合识别，更好地掌握战场态势。作战双方需从表 3-2 所示的几个方面获取战场信息。

表 3-2 获取战场信息

战场信息资源	目标态势情报	类型、数量
		属性、位置
		状态、时间
	内涵/意图情报	政治、外交
		军事、经济
		科技、文卫
		宗教、社情
	环境情报	气象、地理
		地质、水文
		天文、电磁

目标综合识别充分利用了雷达、无源定位、协同识别和非协同识别各自的优势，形成超强的互补和印证能力，基本上解决了战场目标的发现、识别、跟踪等需求，可为战争时期的战场态势实时感知、指挥控制、多兵种联合作战、武器协同控制等提供强有力的保证，更是平时时期国土、海域边防安全、反恐斗争不可缺少的重要装备。雷达探测针对其所覆盖区域内所有目标，无源定位主要针对电磁目标；协同综合识别需要目标合作参与，而非协同综合识别不需要目标参与，但依赖目标的有意或无意辐射。

3.3.2 目标综合识别系统

1. 目标综合识别系统组成

目标综合识别系统由警戒雷达、单站无源定位、无线电侦察、信号侦察、AIS（综合识别系统）、SSR（二次雷达）、IFF（敌我识别系统）、信息融合等系统构成，如图 3-7 所示。

2. 综合识别原理

通过 PSR（一次雷达系统）、电子侦察系统、AIS/ATC/SSR 等系统发现监控区域内的目标和电磁目标，完成对海空区域内的目标截获和位置测量。系统可以相互引导、补充、印证，并可以利用精度高者进行实时校正（AIS、SSR 提供的位置精度不随距离的变化而变更）。

通过民用船舶 AIS、空中交通管制 SSR/ATC 和电子侦测系统，实现民用目标和第三方的识别；通过敌我识别器的装备和使用完成己方目标的鉴别；通过接收、解译 MarkX 的应答信息，破译侦收到的信号情报内涵、内特征信息，实现对敌方目标的属性识别。

利用破译的情报内涵获取目标状态、属性、威胁信息；利用信号特征分析（通联规律、工作模式、行为习惯等）评估目标工作状态、威胁等级；利用特征与细微特征分析建立目标特征数据库，完成目标个体识别，补充协同识别盲区；通过多源信息融合技术汇集协同和非协同信息源，形成战场综合态势，完成目标综合识别。

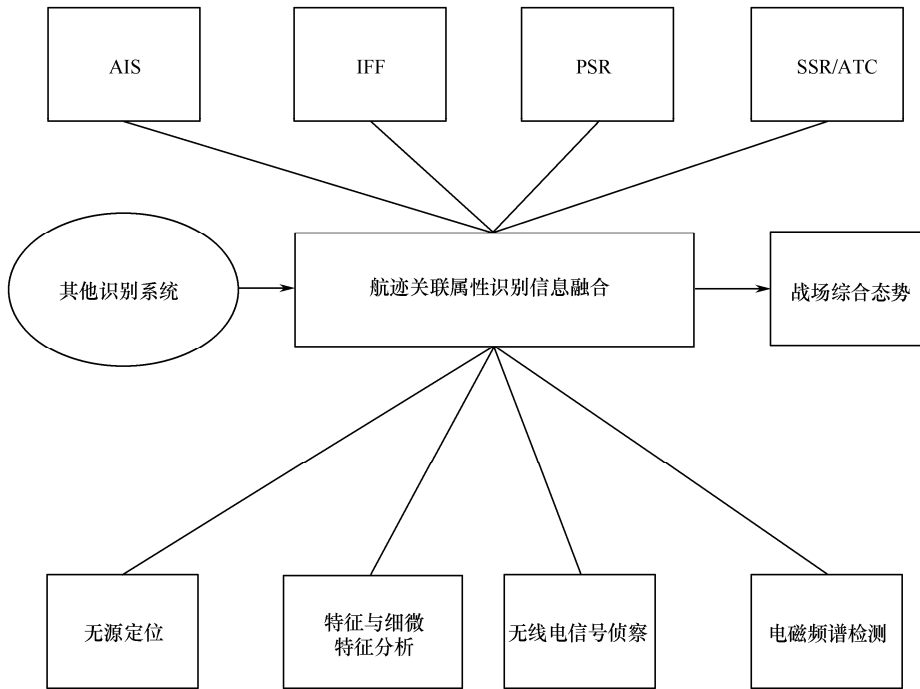


图 3-7 目标综合识别系统

识别过程如下：

- (1) 利用雷达情报实现覆盖区域的目标发现。
- (2) 利用 AIS、SSR 实现海空民用目标位置报告、属性识别及状态评估。
- (3) 利用识别器完成对己方目标的识别和位置确认。
- (4) 利用 IFF 侦收装备完成对敌方目标的识别。
- (5) 利用特征与细微特征分析实现对目标区域的电磁辐射源的个体识别。
- (6) 利用无源定位装备实现区域内的辐射源位置测量。

(7) 利用多源数据及信息融合处理技术实现航迹关联、属性识别、互补与印证，实现战场综合态势显示与评估。

多源信息融合与目标综合识别技术将在海军各级指挥控制中心、武器控制系统和传感器资源管理等系统中发挥十分重要的作用，对海军装备发展及其能力有着重大的影响：一是能扩展海战场感知的时间和空间的覆盖范围，变单源探测为网络探测；二是能改进对海战场目标的探测能力，提高目标的发现概率和识别水平；三是能提高海上合成信息的精度和可信度，支持对重要目标的联合火力打击；四是能产生和维持一致的联合战场态势，支持联合作战决策和方案制订；五是能提高威胁判定的实时性和准确度，支持战场预警、及时打击和实时防御；六是能科学配置和控制探测/侦察平台和传感器，充分利用海战场空间感知资源。

思考题

1. 情报信息系统数据处理基本流程有哪些？
2. 战场感知能力包括哪些内容？
3. 信息处理的级别有哪些？

4. 简述多源航迹融合过程。
5. 用自己的话说说什么是目标识别。
6. 画出目标跟踪处理流程。
7. 目标定位技术有哪些？
8. 简述目标综合识别系统的构成。

电子工业出版社版权所有
盗版必究