

数据融合技术及其应用

Data Fusion Techniques and Its Applications

刘同明 夏祖勋 解洪成 编著

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目 (CIP) 数据

数据融合技术及其应用/刘同明等编著. —北京: 国防工业出版社, 1998. 9

ISBN 7-118-01933-X

I. 数… II. 刘… III. 传感器, 多功能-数据处理
IV. TP274

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 14653 号

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京怀柔新华印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 18¼ 411 千字

1998 年 9 月第 1 版 1998 年 9 月北京第 1 次印刷

印数: 1—1000 册 定价: 38.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分，又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技事业的发展，加强社会主义物质文明和精神文明建设，培养优秀科技人才，确保国防科技优秀图书的出版，国防科工委于1988年初决定每年拨出专款，设立国防科技图书出版基金，成立评审委员会，扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是：

1. 学术水平高，内容有创见，在学科上居领先地位的基础科学理论图书；在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。
2. 学术思想新颖，内容具体、实用，对国防科技发展具有较大推动作用的专著；密切结合科技现代化和国防现代化需要的高新技术内容的专著。
3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值，密切结合科技现代化和国防现代化需要的新工艺、新材料内容的科技图书。
4. 填补目前我国科技领域空白的薄弱学科和边缘学科的科技图书。
5. 特别有价值的科技论文集、译著等。

国防科技图书出版基金评审委员会在国防科工委的领导下开展工作，负责掌握出版基金的使用方向，评审受理的图书选题，决定资助的图书选题和资助金额，以及决定中或取消资助等。经评审给予资助的图书，由国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承担着记载和弘扬这些成就，积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下，国防科工委率先设立出版基金，扶持出版科技图书，这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物，是对出版工作的一项改革。因而，评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进，这样，才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技工业战线广大科技工作者、专家、教授，以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来，为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗！

国防科技图书出版基金
评审委员会

国防科技图书出版基金 第二届评审委员会组成人员

名誉主任委员	怀国模		
主任委员	黄 宁		
副主任委员	殷鹤龄	高景德	陈芳允
	曾 铎		
秘 书 长	刘琯德		
委 员	尤子平	朱森元	朵英贤
(按姓氏笔划为序)	刘 仁	何庆芝	何国伟
	何新贵	宋家树	张汝果
	范学虹	胡万忱	柯有安
	侯 迁	侯正明	莫梧生
	崔尔杰		

前 言

在自动控制、航空交通管制、特别是军事作战指挥等领域中，为了减轻人工处理信息的工作量，为了提高系统的容错性、健壮性以及重组能力和完美的降级，等等，越来越需要多个传感器提供多种观测信息，进行优化融合处理。在这种背景下，一种新的信息处理方法——数据融合，便应运而生。

数据融合是80年代形成和发展起来的一种自动化信息综合处理技术，它充分利用多源数据的互补性和电子计算机的高速运算与智能来提高结果信息的质量。这一技术首先广泛用于军事，并很快推广到自动控制、航空交通管制以及医疗诊断等领域。由于它的潜在的巨大应用价值，所以，世界各国都投入了很多人力、物力和财力，进行广泛深入的研究。

本书介绍有关数据融合（或信息融合）的概念，数据融合系统的功能和结构，融合方法和技术及其应用。书中综合介绍了该领域国内外的一些研究成果，并融入了作者近几年的应用研究成果。

数据融合技术是数学、军事科学、计算机科学、自动控制理论、人工智能、通信技术、管理科学等多种学科的交叉和具体应用。作者在进行数据融合课题研究的过程中，深深感到，虽然数据融合技术广泛用于军事等特定应用领域，但至今尚未形成完整的理论框架。尤其是在数据融合系统的功能模型、抽象层次、系统体系结构、设计和性能评价等方面，还有待于从系统角度进行探讨，本书的初衷就是想从这方面做一些尝试。作者并未打算通过本书向读者全面地、详细地介绍有关的理论、方法和算法，而是想侧重于从多传感器多目标多平台数据融合系统的角度介绍数据融合系统的体系结构方面的问题，同时引入了最近出现的新的数据融合方法和算法，特别是基于知识和专家系统的方法，并在数据融合技术用于军事领域的具体成果方面作一些较详细的阐述，以期对新近涉足这一领域的读者有所启发。

全书共分十一章，这十一章实际上可分为三部分：第一至第四章是基础，第五至七章是数据融合系统的体系结构设计和评价，第八至十一章是应用。关于数据融合的应用，本书以军事应用（特别是海军应用）为主。在状态估计和目标识别方面，国内很多专家（如杨靖宇、郭桂蓉、董志荣教授等）已经作了大量深入的研究，限于本书篇幅，没有能全面、系统地反映他们的研究成果，这不能不说是本书的一大遗憾。而在态势评定和威胁估计方面，因其重要性，所以用了较多的笔墨，是本书的重点之一。下面是各章的内容简介。

第一章介绍数据融合的概念、层次和分类、应用领域、当前的发展水平及研究动向等，以便读者对数据融合技术有一个全面的基本的了解。多源数据是数据融合的对象，所以第二章介绍各种数据源，包括传感器、人工情报和数据链，重点是传感器建模。第三章介绍可用于数据融合的各种方法和技术，其中很多方法和技术（如不确定性推理、人

工智能、神经网络等)应由专门的学科来介绍,本书则从这些方法在数据融合中的可应用性角度加以介绍。第四章介绍传感器管理,重点是多传感器多目标多平台环境下的传感器分配和目标交接。第五章介绍融合系统的顶层结构、各融合层次的通用结构、并行结构、基于知识和专家系统的决策系统结构等,便于读者建立融合系统的结构框架,同时为设计融合系统打下基础。第六章介绍融合系统的设计方法,其中对融合系统的形式化设计问题也作了初步介绍。作为第六章的继续,第七章介绍融合系统的性能评价方法和工具。从第八章开始介绍数据融合技术的各种应用。第八章介绍数据融合技术在军事上的典型应用,重点是从这些典型应用中理解多传感器数据融合功能;第九章介绍融合技术用于估计目标状态;第十章介绍使用多传感器融合的目标识别技术,典型例子是作者开发的基于证据理论模糊推理的海上目标多传感器识别仿真系统;第十一章介绍融合技术在态势评定和威胁估计中的应用,态势评定和威胁估计是两个联系非常紧密的过程,所以放在一章中介绍,重点是基于知识的估计技术。因本书外文代号较多,为便于读者阅读方便,书末附有缩略语索引。

本书在编写过程中得到了中国舰船研究院尤子平教授、侯正明教授、董志荣教授等专家的关心和指导,在此表示衷心的感谢。

书中引用了一些作者的论著及其研究成果,这对于本书的编写是非常重要的,我们在此向他们表示深深的敬意和诚挚的感谢。

作者才疏学浅,书中错误在所难免,对于书中的不当之处,敬请读者批评指正。

编著者

内 容 简 介

本书介绍当今最新自动化信息综合处理技术——多传感器信息融合，主要内容包括：信息融合的基本概念、功能和分类；数据源；多传感器管理；融合方法；系统体系结构；系统设计和性能评价；多传感器融合技术在状态估计、目标识别以及态势评定和威胁估计中的应用；等等。内容新颖，实用性强。

本书可作为信息处理、军事指挥、航空管制、自动控制、医疗诊断等领域人员进行自动化信息综合处理的参考书，也可作为大专院校相关专业的教材。

This book introduces the state of art technology of automatic information synthetic processing——multisensor information fusion. It covers basic concept, function and classification of information fusion, data source, multisensor management, fusion methods, system architecture, system design, performance evaluation and its application in state estimation, target recognition, situation and threat estimation etc. The contents reflect the latest development and have strong applicability.

The book can be referenced by engineers in the fields of information processing, military command, aerospace navigation, automatic control, and medical diagnosis. Also it can be used as course books for college students in corresponding areas.

ISBN 7-118-01933-X/TP · 337

定价：38.00 元

目 录

第一章 数据融合概述	1
第一节 数据融合的定义.....	1
第二节 数据融合的基本原理.....	2
第三节 数据融合的功能模型.....	6
第四节 数据融合的技术和方法.....	8
第五节 数据融合的应用.....	9
第六节 数据融合技术的发展和研究	13
第二章 数据源基础	17
第一节 多传感器系统的探测和估计功能	17
第二节 软判定传感器	22
第三节 军用传感器的主要工作特征	28
第四节 源数据和通信链	33
第三章 多传感器数据融合的方法	36
第一节 指挥和控制系统中的不确定性	36
第二节 用于多传感器数据融合的 D-S 方法	40
第三节 基于信息论的多传感器数据融合方法	44
第四节 基于认识模型的多传感器数据融合方法	47
第五节 智能数据融合	52
第四章 传感器资源管理	57
第一节 传感器管理的功能	57
第二节 传感器接口	61
第三节 建立目标优先级	62
第四节 传感器分配	66
第五节 传感器指示和交接	69
第六节 传感器网络管理的应用	72
第五章 数据融合系统的体系结构	77
第一节 数据融合系统的顶层模型	77
第二节 通用处理结构	80
第三节 实际融合系统的功能结构	84
第四节 态势评定和威胁估计的功能要求	85
第五节 黑板结构和机会推理	87
第六节 并行体系结构	95
第六章 数据融合系统的体系结构设计	98
第一节 数据融合系统的设计过程	98

第二节	用于数据融合的数据库管理	103
第三节	用于数据融合的数据处理	106
第四节	集中式系统的体系结构	113
第五节	集成式系统的体系结构	114
第六节	数据库和处理参数的需求	117
第七节	关于数据融合系统设计的形式化问题	119
第七章	多传感器数据融合的系统建模和性能评估	126
第一节	数据融合处理的形式模型	127
第二节	数据融合系统的性能分析	127
第三节	融合性能与军事效能	130
第四节	数据融合系统的建模方法	133
第五节	数据融合系统性能评价的工具	141
第八章	典型的军事应用及其特点	143
第一节	三个典型的军用数据融合系统	143
第二节	传感器信息的利用	150
第三节	军用数据融合-决策支持的体系结构	151
第四节	融合信息的特征	155
第五节	军用数据融合系统的特殊问题	159
第九章	数据融合用于目标状态估计	161
第一节	概述	161
第二节	静态数据关联与目标定位	163
第三节	动态数据关联与目标跟踪	168
第四节	目标跟踪的报告-航迹数据关联	178
第五节	航迹-航迹数据关联	182
第六节	关联和跟踪的状态估计器	185
第十章	数据融合技术用于目标识别	191
第一节	用于身份估计的数据融合算法概述	191
第二节	使用多传感器融合的自动目标识别	194
第三节	一个实例:海上目标识别多传感器数据融合系统	198
第十一章	数据融合技术在态势评定和威胁估计中的应用	217
第一节	态势评定和威胁估计述评	217
第二节	军事问题求解模型	219
第三节	态势评定和威胁估计的基本功能	224
第四节	态势评定和威胁估计的实现方法	227
第五节	基于期望模板的态势和威胁估计技术	230
第六节	性能模型在 STA 中的作用	256
第七节	基于知识的海战态势评定	256
附录	缩略语索引	269
	参考文献	274

CONTENTS

Chapter 1	Outline on the Data Fusion	1
Section 1	Definition of the Data Fusion	1
Section 2	Basic Principle of the Data Fusion	2
Section 3	Functional Model of the Data Fusion System	6
Section 4	Technologies and Methods of the Data Fusion	8
Section 5	Applications of the Data Fusion	9
Section 6	Development and Research of the Data Fusion	13
Chapter 2	Foundation of the Data Source	17
Section 1	Detection and Estimation Functions of Multisensor System	17
Section 2	Soft-Decision Sensor	22
Section 3	Operating Characteristics of Military Sensor	28
Section 4	Source Data and Data Link	33
Chapter 3	Methods of Multisensor Data fusion	36
Section 1	Uncertainties in the Command and Control System	36
Section 2	Dempster-Shafer Method Used to Multisensor Data Fusion	40
Section 3	Multisensor Data Fusion Method Based on Information Theory	44
Section 4	Multisensor Data Fusion Method Based on Cognition Model	47
Section 5	Intelligent Data Fusion	52
Chapter 4	Sensor Resource Management	57
Section 1	Sensor Management Function	57
Section 2	Sensor Interface	61
Section 3	Establishing Target Priority	62
Section 4	Sensore Assignment	66
Section 5	Sensor Cueing and Hand-off	69
Section 6	Sensor Network Management Applications	72
Chapter 5	Architectures of the Data Fusion System	77
Section 1	Top-Level Model of the Data Fusion System	77
Section 2	Generalized Processing Architectures	80
Section 3	Functional Architectures of Real Fusion System	84
Section 4	Functional Requirements for Situation and Threat Assesment	85
Section 5	Blackboard Architectures and Opportunistic Reasoning	87
Section 6	Parallel Architectures	95
Chapter 6	Data Fusion System Architecture Design	98

Section 1	the Data Fusion System Engineering Process	98
Section 2	Database Management for Data Fusion	103
Section 3	Data Processing for Data Fusion	106
Section 4	Centralized System Architecture	113
Section 5	Integrated System Architecture	114
Section 6	Database and Processing Parametric Requirements	117
Section 7	Formalization Problem on the Data Fusion Architecture Design	119
Chapter 7	Multisensor Data Fusion System Modeling and Performance	
	Evaluation	126
Section 1	Formal Models of the Data Fusion Process	127
Section 2	Analysis of Data fusion System Performance	127
Section 3	Relating Fusion Performance to Military effectiveness	130
Section 4	Data Fusion System Modeling Methods	133
Section 5	Tools for Data Fusion System Performance Evaluation	141
Chapter 8	Representative Applications of Data Fusion and Its Characteristics	143
Section 1	Three Representative Military Data Fusion System	143
Section 2	Use of Sensor Information	150
Section 3	Military Data Fusion-Decision Support System	151
Section 4	Characteristics of Fused Information	155
Section 5	Special Problems of Military Data Fusion System	159
Chapter 9	Data Fusion for Target State Estimation	161
Section 1	Outline	161
Section 2	Static Data Association and Target Localization	163
Section 3	Dynamic Data Association and Target Tracking	168
Section 4	Report-Track Data Association for Target Tracking	178
Section 5	Track-Track Data Association	182
Section 6	State Estimators for Association and Tracking	185
chapter 10	Data Fusion for Object Identification	191
Section 1	Data Fusion Algorithm Overview for Object Identification	191
Section 2	Auto matic Target Recognition with Multisensor Data Fusion	194
Section 3	One Example, the Multisensor Data Fusion for Sea Trget Identification	198
Chapter 11	Data Fusion Techniques for Situation and Threat Assesment	217
Section 1	Comment of Situation and Threat Assesment	217
Section 2	The Militry Problem-Solving Model	219
Section 3	The basic Functions for Situation and Threat Assesment	224
Section 4	Implementation Approaches for Situation and Threat Assesment	227
Section 5	Expectation Template-Bsed Techniques for Situation and Threat	

	Assesment	230
Section 6	Roles of Performance Model in STA	256
Section 7	Knowledge-Based Approaches for Sea Battle Situation and Threat	
	Assesment	256
Appendix	Abbreviation Index	269
References	274

第一章 数据融合概述

第一节 数据融合的定义

近 20 年来, 由于超大规模集成 (VLSI) 和超高速集成电路 (VHSIC), 高精度数控机床, 计算机辅助设计和制造, 以及其它设计和生产的改进, 传感器性能大大提高, 如: 更高的分辨率、更远距离上更高的探测概率和更快的反应时间等。因此, 各种面向复杂应用背景的军用或民用多传感器信息系统也随之大量涌现。系统的信息来自多个传感器或多源。例如, 海军作战指挥控制系统的信息不只限于舰载传感器收集的实时信息, 还包括敌情综合报告、观测、局部事件和战术标图得到的非实时无设备信息, 信息通常由一群集体参战的战舰、飞机和潜艇共同完成收集和评定。在多传感器系统中, 信息表现形式的多样性, 信息容量以及信息的处理速度等要求, 都已大大超出了人脑的信息综合能力, 信息融合技术便应运而生。

十几年来, 多传感器信息融合技术获得了普遍的关注和广泛应用, 融合一词几乎无限制地被众多应用领域所引用。这些应用领域主要有: 机器人和智能仪器系统; 战场任务和无人驾驶飞机; 图像分析与理解; 目标检测与跟踪; 自动目标识别; 多源图像复合。因此, 对于信息融合这样一个具有广泛应用领域的概念, 很难给出一个统一的定义。显然, 信息融合是针对一个系统中使用多种传感器 (多个和/或多类) 这一特定问题而展开的一种信息处理的新研究方向, 因此, 信息融合又可称作多传感器融合 (MSF)。根据国外研究成果, 信息融合比较确切的定义可概括为: 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、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, 多传感器系统是信息融合的硬件基础, 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。

信息融合最早用于军事领域, 在军事教课书中则把信息融合定义为一个处理探测、互联、相关、估计以及组合多源信息和数据的多层次多方面过程, 以便获得准确的状态和身份估计, 完整而及时的战场态势和威胁估计。这一定义强调信息融合的三个核心方面: 第一, 信息融合是在几个层次上完成对多源信息处理的过程, 其中每一个层次都表示不同级别的信息抽象; 第二, 信息融合包括探测、互联、相关、估计以及信息组合; 第三, 信息融合的结果包括较低层次上的状态和身份估计, 以及较高层次上的整个战术态势估计。

综合考虑上述二个定义, 融合都是将来自多传感器或多源的信息和数据进行综合处理, 从而得出更为准确可信的结论。这一综合过程有各种名称, 如: 多传感器或多源相关, 多源合成, 多传感器混合, 信息融合, 数据融合, 后两种说法应用最多。这是因为“融合”是一种非数学的术语, 意指“组合或综合成一个整体”的过程, 这就避免了“相

关”或“集成”这样的术语。相关和集成只是融合过程中执行的不同数学运算。根据数据和信息的含义，用信息融合比较合适，因为信息融合更具概括性。由于习惯上的原因，很多文献中用数据融合。当然，这里的数据已被扩展了，在有些情况下，如在智能融合时它可以是信息，甚至是知识。本书将不加区分地使用信息融合和数据融合这两个术语。

第二节 数据融合的基本原理

本节讨论数据融合的基本原理、系统边界以及融合层次等。

一、数据融合的基本原理

多传感器数据融合是人类或其它逻辑系统中常见的基本功能。人非常自然地运用这一能力把来自人体各个传感器（眼，耳，鼻，四肢）的信息（景物，声音，气味，触觉）组合起来，并使用先验知识去估计、理解周围环境和正在发生的事件。由于人类感官具有不同的度量特征，因而可测出不同空间范围内的各种物理现象，这一过程是复杂的，也是自适应的。把各种信息或数据（图像、声音、气味以及物理形状或上下文）转换成对环境的有价值的解释，需要大量不同的智能处理，以及适用于解释组合信息含义的知识库。

在模仿人脑综合处理复杂问题的数据融合系统中，各种传感器的信息可能具有不同的特征：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，相互支持或互补，也可能互相矛盾或竞争。而多传感器数据融合的基本原理也就像人脑综合处理信息一样，充分利用多个传感器资源，通过对这些传感器及其观测信息的合理支配和使用，把多个传感器在空间或时间上的冗余或互补信息依据某种准则来进行组合，以获得被测对象的一致性解释或描述。数据融合的基本目标是通过数据组合而不是出现在输入信息中的任何个别元素，推导出更多的信息，这是最佳协同作用的结果，即利用多个传感器共同或联合操作的优势，提高传感器系统的有效性。

多传感器数据融合系统与所有单传感器信号处理或低层次的多传感器数据处理方式相比，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的一种低水平模仿，它们不能像多传感器数据融合系统那样有效地利用多传感器资源。多传感器系统可以更大程度地获得被探测目标和环境的信息量。多传感器数据融合与经典信号处理方法之间也存在本质的区别，其关键在于数据融合所处理的多传感器信息具有更复杂的形式，而且可以在不同的信息层次上出现。这些信息抽象层次包括数据层（即像素层）、特征层和决策层（即证据层）。

二、数据融合系统的边界

数据融合系统通常从各种信息源获得数据，因此往往包括传感器系统。在传感器系统与所谓数据融合系统之间没有明确的边界。数据融合的两个众所周知的“近邻”问题是跟踪和图像分析。跟踪问题可简单地描述为：将来自一个或多个信息源的测量值互联起来以形成一个目标的轨迹或“航迹”。一部分人认为，在某些情况下，特定传感器跟踪不可能在融合过程外部发生，因而在这种情况下，跟踪功能完全作为融合过程的一部分

来实现，融合过程与传感器系统之间是紧耦合型反馈过程；另一部分人则认为，在许多情况下，传感器不是实现融合过程的有机组成部分，并且不受融合过程的控制，在这种情况下，融合过程可以产生指派传感器工作的请求，但实际上融合过程与传感器系统的连接是松耦合的。

图像分析是根据高分辨率传感器（如 TV 摄像机、热成像仪、合成孔径雷达等）的输出演绎出所观察情景的三维模型，在为了产生模型而必须互联各个图像元素的意义下，这个问题可以认为是数据融合。

狭隘的数据融合定义认为，跟踪和图像识别问题在整个传感器数据处理链中处于数据融合过程之前，跟踪和识别的结果作为数据融合系统的输入。数据融合的输出可直接由人使用或馈送给态势评定级，如图 1-1 所示。

广义数据融合认为，数据融合包括从传感器探测以后的所有处理到资源分配前态势评定的最高级，见图 1-1。

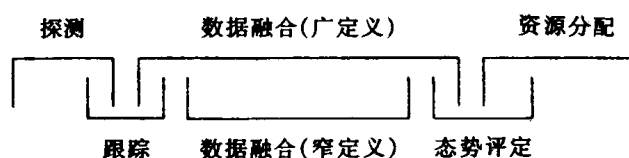


图 1-1 数据融合系统的边界

三、数据融合的种类

有两类不同的融合系统，第一类是局部或自备式，它收集来自单个平台上多个传感器的数据，这种类型的融合系统可形成有关诸如舰艇或战斗机的信息显示。第二类称为全局或区域融合，它组合和相关来自空间和时间上各不相同的多平台多个传感器的数据。本书中的融合系统多指后一类。图 1-2 所示的舰队警戒防御融合系统是一个典型的多平台多传感器融合系统，图的左下方是由战术地面支援和空中防御多传感器组成的局部融合，而图的右上方则是由担任舰队空中防御和海上警戒的多个传感器组成的全局融合系统。

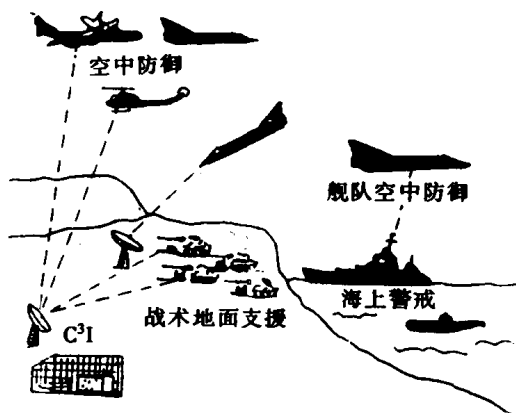


图 1-2 舰队警戒防御融合系统

四、数据融合的级别

按照数据抽象的三个层次，融合可分为三级，即像素级融合、特征级融合和决策级

融合。

1. 像素级融合

像素级融合是直接采集到的原始数据层上进行的融合，在各种传感器的原始测报未经预处理之前就进行数据的综合和分析。这是最低层次的融合，如成像传感器中通过对包含若干像素的模糊图像进行图像处理和模式识别来确认目标属性的过程就属于像素级融合。这种融合的主要优点是能保持尽可能多的现场数据，提供其它融合层次所不能提供的细微信息。但局限性也是很明显的：

它所要处理的传感器数据量太大，故处理代价高，处理时间长，实时性差；

这种融合是在信息的最低层进行的，传感器原始信息的不确定性、不完全性和不稳定性要求在融合时有较高的纠错处理能力；

要求各传感器信息之间具有精确到一个像素的校准精度，故要求各传感器信息来自同质传感器；

数据通信量较大，抗干扰能力较差。

像素级融合通常用于：多源图像复合、图像分析和理解；同类（同质）雷达波形的直接合成；多传感器数据融合的卡尔曼滤波等。美国海军 90 年代初在 SSN-691 潜艇上安装了第一套图像融合样机，它可使操作员在最佳位置上直接观察到各传感器输出的全部图像、图表和数据，同时又可提高整个系统的战术性能。

2. 特征级融合

特征级融合属于中间层次，它先对来自传感器的原始信息进行特征提取（特征可以是目标的边缘，方向，速度等），然后对特征信息进行综合分析和处理。一般来说，提取的特征信息应是像素信息的充分表示量或充分统计量，然后按特征信息对多传感器数据进行分类、汇集和综合。特征级融合的优点在于实现了可观的信息压缩，有利于实时处理，并且由于所提取的特征直接与决策分析有关，因而融合结果能最大限度地给出决策分析所需要的特征信息。目前大多数 C³I 系统的数据融合研究都是在该层次上展开的。特征级融合可划分为两大类：目标状态数据融合和目标特性融合。

特征级目标状态数据融合主要用于多传感器目标跟踪领域。融合系统首先对传感器数据进行预处理以完成数据校准，然后主要实现参数相关和状态向量估计。

特征级目标特性融合就是特征层联合识别，具体的融合方法仍是模式识别的相应技术，只是在融合前必须先对特征进行相关处理，把特征向量分类成有意义的组合。

3. 决策级融合

决策级融合是一种高层次融合，其结果为指挥控制决策提供依据，因此，决策级融合必须从具体决策问题的需求出发，充分利用特征级融合所提取的测量对象各类特征信息，采用适当的融合技术来实现。决策级融合是三级融合的最终结果，是直接针对具体决策目标的，融合结果直接影响决策水平。

决策级融合的主要优点有：

具有很高的灵活性；

系统对信息传输带宽要求较低；

能有效地反映环境或目标各个侧面的不同类型信息；

当一个或几个传感器出现错误时，通过适当的融合，系统还能获得正确的结果，所