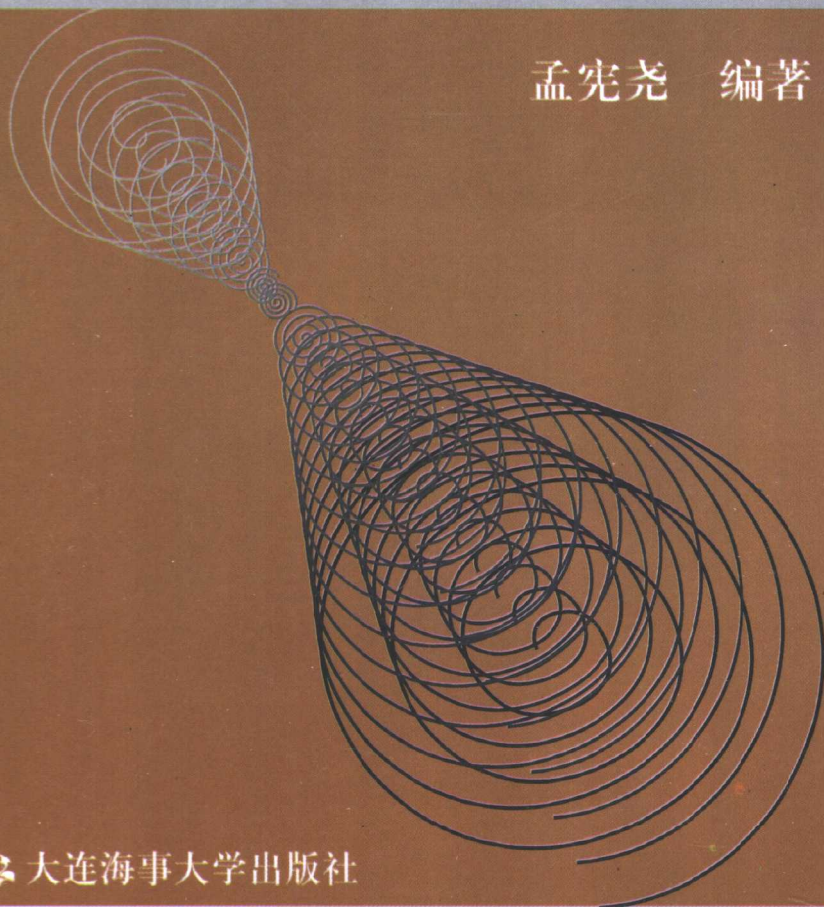


Data Fusion Techniques and Ship's Automation

数据融合技术与 船舶自动化

孟宪尧 编著



 大连海事大学出版社

© 孟宪尧 2003

图书在版编目(CIP)数据

数据融合技术与船舶自动化 = Data Fusion Techniques
and Ship's Automation / 孟宪尧编著. —大连: 大连海
事大学出版社, 2003.6

ISBN 7-5632-1659-6

I. 数… II. 孟… III. 数据融合—应用—船舶—
自动化系统 IV. U664.82

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 027443 号

大连海事大学出版社出版

地址: 大连市凌水桥 邮编: 116026 电话: 4728394 传真: 4727996

<http://www.dmupress.com> E-mail: cbs@dmupress.com

大连铁道学院印刷厂印装 大连海事大学出版社发行

幅面尺寸: 140 mm × 203 mm 印张: 8.75

字数: 220 千字

印数: 1~500 册

2003 年 12 月第 1 版 2003 年 12 月第 1 次印刷

责任编辑: 陈 航

版式设计: 陈 航

封面设计: 王 艳

责任校对: 一 艺

定价: 25.00 元

本书由

大连海事大学学术著作出版基金资助出版

The published book is sponsored by

The Academic Works Publishing Foundation
of the Dalian Maritime University

内容提要

数据融合是近年来产生的自动化领域中新的前沿技术,有巨大的潜在应用价值。本书简要介绍了数据融合技术的基本理论和方法,是国内把数据融合技术与船舶自动化技术结合起来的是一本专著。全书由 8 章组成。

第 1 章为概论,主要阐述数据融合的定义、研究现状、研究意义、发展趋势、涉及的理论基础、实现技术以及数据融合技术的应用情况和在船舶自动化领域的应用前景。

第 2 章是多传感器系统的描述。因为数据融合是建立在多传感器系统技术之上的,所以本章较系统地介绍了多传感器系统的描述方法和数据融合方法。主要内容包括:实际传感器系统的描述方法和多传感器系统的描述方法;用于多传感器的数据融合方法,由于方法较多,这里只重点介绍其中几种方法,即 Bayes 法、D-S 法、基于信息论的方法和基于认识模型的方法。

第 3 章介绍数据融合系统的体系结构,包括 5 方面的内容:①数据融合系统的一般功能模型;②数据融合系统的顶层模型;③数据融合系统的通用处理结构,主要介绍 Reiner 提出的位置/身份估计的通用处理结构;④实际数据融合系统的功能结构,介绍在数据融合概念基础上增加通信、数据库管理、操作控制等功能的组成方法;⑤数据融合系统体系结构的设计过程、并行处理及性能分析等问题。

第 4 章介绍态势评估和威胁估计的基本理论。本章内容是数据融合技术在军事领域应用的典型,有巨大的影响力。本章简述军事理论对态势评估和威胁估计的要求和影响,给出态势评估和

威胁估计的功能框架,介绍态势评估和威胁估计的实现方法,讨论传感器信息的综合利用及数据融合的特殊问题。

第5章内容为多传感器多目标跟踪的一般理论。本章内容是研究数据融合问题的具体手段,影响着新概念、新算法的形成。主要内容包括:多传感器多目标跟踪的基本思想;数据关联的概念和方法;分布式多目标跟踪的基础;分布式多目标跟踪的方法等。

第6章主要介绍多传感器系统和数据融合技术在各个领域中的应用。近年来数据融合技术除在军事领域有明显的应用成果外,已迅速扩展到其他很多领域。本章选取了几个较有代表性的系统,如多传感器系统的状态监控和故障诊断、火灾识别的气体多传感器系统、采用多传感器的在线水质监测系统、具有多传感器的汽车电子系统和数据融合技术在无损检测等方面的应用实例。通过这些应用介绍,使得读者能够更加深入地了解 and 认识数据融合技术的用途和研究的意义。

第7章介绍船舶自动化的现状和发展趋势,重点对目前应用在船舶上的自动化系统进行介绍,包括主机遥控系统、机舱集中监测和报警系统、集成驾驶台、全球海上遇险和安全系统(GMDSS)等,同时也对当前流行的现场总线技术、PLC技术等予以介绍。

第8章侧重从船舶自动化的发展前景来认识数据融合技术研究的重要意义。目前现代化船舶的自动化程度越来越高,但船舶的发展面临很多信息集成、航运安全等实际问题,其中有些关键技术亟待解决,引进数据融合技术是解决其中一些关键问题的一个很好途径。本章论述了船舶自动化的发展方向,船舶自动化与信息技术的关系,结合航海避碰决策、目标识别、船舶故障早期预报和智能诊断技术等用数据融合技术解决关键问题的方法。本章内容有些是笔者研究的心得。

本书适用于自动控制、计算机应用、信息处理等专业的大学、研究生和相关领域的科技、工程技术人员。

前言

20 世纪 70 年代初期,美国海军技术部门通过对多个独立的连续声呐信号进行融合分析,进而探测出敌方潜艇的准确位置,从而提出了数据融合(data fusion)这一概念。数据融合是对多传感器系统和多源信息进行处理的一门综合技术,它虽然起源于军事研究领域,但由于数据融合集合了当今很多研究领域的最新成果,可以解决日趋复杂庞大系统面对的信息超载、处理工作量巨大等问题,因此,数据融合技术除已经迅速应用到军事领域外,也快速地扩展到自动控制、目标识别、航空交通管制、医疗诊断等领域,并正在不断向更多的领域扩展。到目前为止,数据融合的研究基本上是根据实际问题的种类建立各自直观认识的原理模型,形成各自的融合方案,尚未形成完整的理论和方法。因此,数据融合技术的研究需要更加深入和系统地进行下去。

由于数据融合技术具有巨大的应用潜力和价值,世界许多国家都对该研究领域投入了大量的人力、物力和财力,进行了广泛和深入的研究。美国已把数据融合列为 21 世纪最受关注的 20 项新技术之一,从 1997 年以来,每年投入的研究经费都达到上亿美元。

我国从 20 世纪 90 年代开始了数据融合技术的研究,与国外先进技术比较,我们的研究还处于初级阶段。但近几年来,已引起很多学者的兴趣,并取得了一批研究和应用的成果。本书的编写有两个基本出发点:一是以国际上目前对多传感器数据融合技术的研究为主体,对数据融合涉及的基本理论和方法进行介绍,突出数据融合的先进技术;二是侧重于数据融合系统的应用,特别是结合数据融合技术在船舶自动化领域的应用进行探讨。

全书分 8 章,大体为两大部分:第一部分包括第 1 章到第 5 章,是数据融合技术的理论和方法的基础部分;第二部分包括第 6

MAG 49/07

章到第 8 章,介绍数据融合技术的应用与船舶自动化发展的关系。简述如下:第 1 章概论,概述数据融合技术的研究现况和发展前景;第 2 章到第 5 章分别简要讨论了数据融合技术的基本理论和方法,主要包括多传感器系统的描述,数据融合系统的体系结构,态势评估、威胁估计和态势数据库,多传感器多目标跟踪的一般理论;第 6 章介绍数据融合技术的主要应用情况和在一些领域应用的典型实例;第 7 章介绍船舶自动化的现状和发展趋势;第 8 章侧重探讨如何把数据融合技术应用到船舶自动化领域,解决目前的关键问题。

本书可供从事自动化方向研究的人员,尤其是交通行业的大学生、研究生及工程技术人员使用和参考。由于数据融合问题的复杂特点,特别是目前的研究状况,其中还有很多关键技术有待于进一步研究,再加上笔者自身水平的限制,本书难免存在不足之处,敬请广大同行和读者批评指正。

在本书编著过程中,孙培廷教授、钱耀鹏教授对本书结构和内容给予指导,提出了宝贵的意见;樊印海教授、信毓昌教授给予了大力支持;刘维来、韩新洁、杨兰江等同志参与了校对工作,在此表示衷心的感谢。

数据融合技术专家 Horst Ahlers 认为“未来属于多传感器”。可以断言,以多传感器为代表的融合技术和计算机信息技术一起,将会开辟新一代智能技术的新领域。

作 者

2003 年 10 月

目 录

第 1 章 概论	(1)
1.1 数据融合的起源和发展	(1)
1.2 数据融合的定义	(2)
1.3 数据融合技术的研究方向和意义	(4)
1.4 数据融合的基本原理	(5)
1.5 数据融合的处理模型	(6)
1.6 数据融合的级别	(8)
1.7 数据融合系统的实现技术	(11)
1.8 数据融合技术与船舶自动化	(14)
第 2 章 多传感器系统的描述	(19)
2.1 实际传感器系统的描述	(19)
2.2 多传感器系统的性能描述	(23)
2.3 多传感器目标检测的基本理论	(27)
2.4 基于信息论的多传感器数据融合方法	(34)
2.5 基于认识模型的多传感器数据融合方法	(39)
第 3 章 数据融合系统的体系结构	(46)
3.1 数据融合系统的一般功能模型	(46)
3.2 数据融合系统的顶层模型	(50)
3.3 数据融合系统的通用处理结构	(55)
3.4 实际数据融合系统的功能结构	(58)
3.5 数据融合系统体系结构的设计过程	(60)
3.6 数据融合中数据处理系统的体系结构	(64)

3.7	数据融合中的并行处理	(68)
3.8	数据融合系统的性能分析	(73)
第4章	态势评估、威胁估计及态势数据库	(78)
4.1	态势评估和威胁估计的基本功能	(78)
4.2	态势评估和威胁估计的应用成果实例	(81)
4.3	态势评估和威胁估计的实现方法	(87)
4.4	态势评估和威胁估计演示器(SATE)	(98)
4.5	数据融合系统中的态势数据库	(102)
4.6	黑板结构和知识库系统	(110)
第5章	多传感器多目标跟踪的一般理论	(115)
5.1	多传感器多目标跟踪的基本思想	(115)
5.2	数据关联的概念和方法	(117)
5.3	分布式多目标跟踪的基础	(124)
5.4	分布式多目标跟踪的方法	(133)
第6章	多传感器技术的应用	(141)
6.1	多传感器系统的状态监控和故障诊断	(141)
6.2	火灾识别的气体多传感器系统	(144)
6.3	采用多传感器的在线水质监测系统	(150)
6.4	具有多传感器的汽车电子系统	(155)
6.5	数据融合技术在无损检测中的应用	(162)
第7章	船舶自动化的现状和发展	(166)
7.1	船舶微机控制技术发展的特点	(166)
7.2	船舶柴油机主机遥控系统	(169)
7.3	船舶机舱集中监测和报警系统	(193)
7.4	采用现场总线技术的机舱监测报警系统	(201)
7.5	船舶自动化的发展趋势和方向	(207)

第 8 章 数据融合技术与船舶自动化.....	(225)
8.1 用数据融合技术实现船舶信息综合处理	(225)
8.2 采用数据融合技术的航海避碰决策支持系统 ...	(228)
8.3 数据融合技术在故障智能诊断中的应用	(234)
8.4 用数据融合技术实现岸船一体化的控制	(246)
8.5 数据融合技术在船舶安全控制系统中的应用 ...	(259)
参考文献	(265)

第1章 概论

1.1 数据融合的起源和发展

起始于 20 世纪的自动化技术给人类带来了革命性的变化,大规模集成电路(LSI)和计算机网络技术又极大地推进了科学技术的发展。进入 21 世纪后,以信息技术为代表的新技术将会给人类带来更加翻天覆地的变化。数据融合技术是在面向各种复杂应用背景的多传感器信息系统大量涌现的时代背景下产生和发展的。开始数据融合是针对一个系统中使用多个和/或多种传感器这一特定问题而展开的一种信息处理的新研究方向。20 世纪 70 年代初,美国海军研究部门发现,利用计算机技术对多个独立的连续声呐信号进行融合分析后,能够准确地探测出敌方潜艇的位置。这一发现对现代战争无疑产生了重大影响。美国在 C³I(command, control, communication and intelligence)系统中首次提出数据整合意义的融合一词^[1],于是数据融合首先在军事领域里受到青睐。美国 1984 年成立了数据融合专家组(DFS),专门组织和指导相关的研究,并相继研究开发了几十个军事信息融合系统,用于目标识别和战场管理。这些系统经使用后,证明了信息融合的有效性和实用性。美国从 20 世纪 80 年代开始采用信息融合技术开发研制用于目标跟踪识别、态势评估和威胁估计的战略和战术监视系统,典型代表有 TCAC(战术指挥控制系统)、INCA(多平台多传感器跟踪信息相关处理系统)、TOP(海军战争状态分析显示系统)、DAGR(辅助空中作战命令分析专家系统)、TATR(空中目标确定

和拦截武器选择专家系统)、AMSUI(自动多传感器部队识别系统)、TRWDS(目标获取和武器输送系统)等。这些以目标识别和态势评估为主开发出来的系统被称为第一代信息融合系统^[2]。80年代末期,美国和其重要盟国又致力研究为数据融合设计的混合式传感器和处理器,被称为第二代信息融合系统。主要有美国军队开发的ASAS(全源信息分析系统)、LENSCE(战术陆军和空军指挥员自动情报保障系统)、ENSCS(敌军态势分析系统)等,英国军队开发的WAVELL(莱茵河英军机动指挥控制系统)、ZKBS(舰船多传感器数据融合系统)、ZFFF(飞机的敌/我/中识别系统)、AIDD(炮兵智能数据融合示范系统)等。这些系统在实际战争(如海湾战争、科索沃战争)中发挥了重要的作用。海湾战争结束后,美国将通信局改为信息局,在C³I系统中加入计算机,建立了以数据融合中心为核心的C⁴I系统。美国国防部把数据融合技术列为对国防至关重要的21项技术之一,近年来每年用于数据融合技术的研究费用都达上亿美元。

除了在军事领域的应用外,数据融合引起了世界各国学者的广泛关注。1994年IEEE首次举办了多传感器融合和集成国际会议,被称为MFI'94,之后又相继举办了MFI'96, MFI'99和MFI'2001会议。从这些会议文献中可以看出,近年来,数据融合技术研究的发展速度很快,其研究成果除应用在军事领域外,已迅速扩展到自动控制、目标识别、交通管制、生产过程监控、导航、遥感、基于环境的复杂机械维护、机器人等多种领域。从近年的研究成果和应用情况可以看出,数据融合技术具有十分巨大的应用潜力和研究价值。

1.2 数据融合的定义

近年来,融合一词几乎在各种领域被广泛地使用,如何给数据

融合下一个准确的定义,目前还没有统一和权威的认定,这主要是由数据融合研究内容的广泛性和多样性造成的。现已给出的数据融合的定义都是功能性的,这里介绍两种提法。一是美国国防部JDL(joint directors of laboratories)从军事应用的角度将数据融合定义为这样一种过程,即把许多传感器和各种信息源的数据和信息加以联合(association)、相关(correlation)和组合(combination),以获得精确的位置估计(position estimation)、身份估计(identity estimation)和完整评价^[3]。这一定义对数据融合进行的功能描述包含两个层次:低层次的位置估计;高层次的态势评估(situation assessment)和威胁估计(threat assessment)。二是国外有些学者把数据融合定义为:利用计算机技术对按时序获得的若干传感器的观察信息,根据一定准则加以分析、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,多传感器系统是数据融合的硬件基础,多源信息是数据融合的加工对象,优化和综合处理是数据融合的核心。

综合上述两种(当然不止上面两种)定义可以看出,融合都是针对多传感器系统和多源信息的数据,进行综合处理后得到更准确、更可信的结果。这一综合处理的过程有各种提法和名称,如多传感器或多源相关、多源合成、多传感器混合、信息集成、信息融合、数据融合等。“融合”这一术语逐渐被人们认可,于是目前信息融合和数据融合成为较标准的提法。

值得一提的是,在各种文献中,经常有数据融合(data fusion)和信息融合(information fusion)两种提法。根据数据和信息的定义,信息比数据更具有概括性,但在实际中,因为习惯上的原因,使用数据融合提法的较多,在这种情况下,数据的含义被扩展了,实际上使用信息应更为确切。本书中对数据融合和信息融合这两个术语在使用中将不加区别。

1.3 数据融合技术的研究方向和意义

随着电子信息技术的迅猛发展,新的军事技术革命正在形成。从近十几年的世界形势可以看出,美国称王称霸的资本是其强大的军事实力。在现在和未来战争中,夺取信息优势是取得战役乃至战争胜利的关键。数据融合恰恰是解决这一瓶颈问题的有效技术,不仅在军事领域,在其他各种领域,数据融合理论和技术都具有重大的应用价值。因此,近年来,数据融合技术是一个十分引人注目的研究方向,开展这一方面的研究具有特别重要的意义。

数据融合技术有一个非常明显的特点,就是它不仅仅是单一学科的技术,它的综合性非常强。数据融合几乎与当今所有新的研究方向有交叉并汇集了这些研究领域里的成果,如数学、计算机、信息技术、生物工程、专家决策理论、人工智能、神经网络、数据库技术等。

数据融合技术经历了一个快速发展的时期,但由于产生的时间较短等各种因素的影响,数据融合技术的理论和体系都存在着很多不足之处,如尚未形成完整的理论框架和模型,融合处理过程中信息的一致性、二义性以及融合系统的容错性和稳健性等关键技术尚未解决等。概括起来,数据融合技术今后的研究和发展方向是:

- ①建立完整的数据融合基础理论;
- ②融合算法和模型的研究;
- ③数据融合系统体系结构和数据库技术的研究;
- ④融合推理过程中状态估计和决策方法的研究;
- ⑤并行处理方法与实现技术的研究;
- ⑥数据融合系统工程化设计方法等。

数据融合技术在我国已引起各个方面的广泛重视,国防科工

委于 1995 年组织了我国第一次数据融合的专门研讨会。近年来,参与研究的人不断增加,每年有上百篇学术论文发表,并在一些领域应用此技术解决实际问题。但从总体上看,我国在数据融合领域的研究还处于起步阶段,除军事领域外,具体应用大部分还停留在模拟和仿真阶段。因此,开展数据融合技术的研究任重而道远。我们应该充分认识到数据融合技术研究的重大意义,面向世界,着眼未来,在各行业中结合各自特点深入进行数据融合技术的研究,推动我国的科技进步。

1.4 数据融合的基本原理

数据融合是对多源信息的综合处理过程,它利用的是人类或其他逻辑思维系统中常用的基本功能,如人在自然界运用人体各个器官如眼、耳、鼻、四肢等(相当于传感器)感受到环境信息(声音、景物、气味、触觉等),再将这些信息组合起来,通过大脑思维器官和先前积累的知识去进行分析判断,从而得出结论。这一过程实际上是一个相当复杂的处理过程,数据融合的原理实质就是模仿人脑综合处理复杂问题的过程。各种传感器的信息可能具有不同的特征,如实时的或非实时的,快速变化的或缓慢变化的,确定的或模糊的,相关的或互补的,也有互相矛盾的。数据融合就是要充分利用这些信息资源,通过对传感器得来的及其他已经掌握的信息合理使用和支配,对空间或时间上冗余或互补的信息依据某种准则进行组合,以获得被测对象的一致性解释或描述。数据融合技术的基本目标是利用多传感器系统的优势,推导出更多的信息,提高多传感器系统的功效。

多传感器数据融合系统与单传感器信号处理或低层次的多传感器数据处理相比较,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方式的低水平模仿,它们不能像多传

感器数据融合系统那样充分有效地利用多传感器的资源。多传感器系统可以在更大程度上获得被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,其中的关键是数据融合所处理的多传感器信息具有更复杂的结构层次,并且能在不同的信息层次上出现,如数据层、特征层、决策层等。

Waltz E 和 Llinas J 对数据融合提出了如下两点认识^[1]:

①数据融合可以广泛应用于对 C³I 系统有核心意义的基本人工处理;

②数据融合有公共的理论基础,它与具体的应用无关,所以顺理成章地自成学科。

Waltz E 和 Llinas J 的著作 Multisensor Data Fusion 已在我国翻译出版,成为我国很多研究人员的重要参考文献。Waltz E 和 Llinas J 提出的这两点认识为数据融合的研究提供了一个参考框架。它的含义是强调数据融合的公共基础理论不依赖于它的具体应用,只有形成完善合理的融合处理模型和功能结构,才能使数据融合学科走向成熟。因此,我们在研究中应更注重数据融合的公共基础理论与方法的深入研究,突出它的特点和关键。

1.5 数据融合的处理模型

1988 年 White 针对一般的军事指挥系统,提出了一个著名的数据融合处理模型^[3],该模型把数据融合分为 3 级:

第一级:融合的位置和标志估计;

第二级:敌我军事态势评估;

第三级:敌我兵力威胁估计。

数据融合处理模型如图 1-1 所示。

从图中可以看出,一级处理主要是对数据进行关联、校准、跟

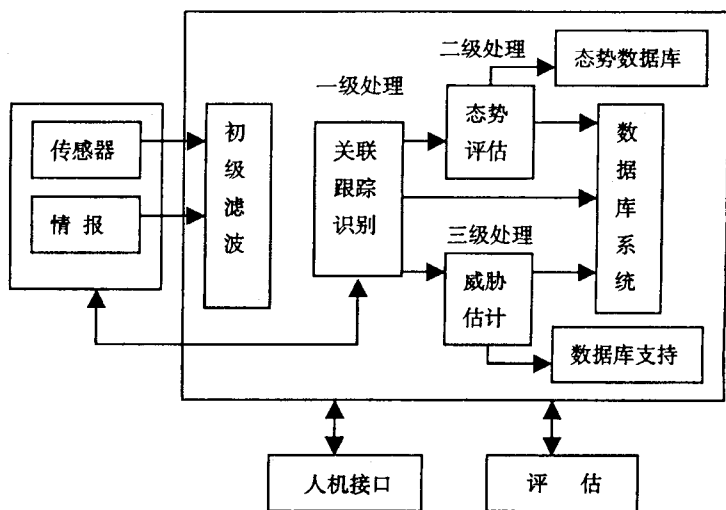


图 1-1 数据融合处理模型

踪、识别等,二级处理侧重态势评估,三级处理进行威胁估计,经过三级处理后产生最后的评估结果。White 提出的这个处理模型强调数据融合处理过程中的各个步骤,而不强调计算机上的结构形式。当处理从一级推移到三级时,模型强调推理层次,经过这些层次,融合的结果大部分从一些特殊的情况归结到一般情况。数据融合过程基本上按照这一模型的框架逐步细化。

由于数据融合对于多源信息处理过程是多层次的,因此,系统要求在融合过程中的每一个环节,有用的信息应得到充分的发挥,这样才能使融合结果准确有利。而且,在局部起作用的信息,应与其他部分的作用有机承接起来,也就是说有效数据不应在进入系统其他过程时被削弱,即系统各个部分应和谐和统一。