

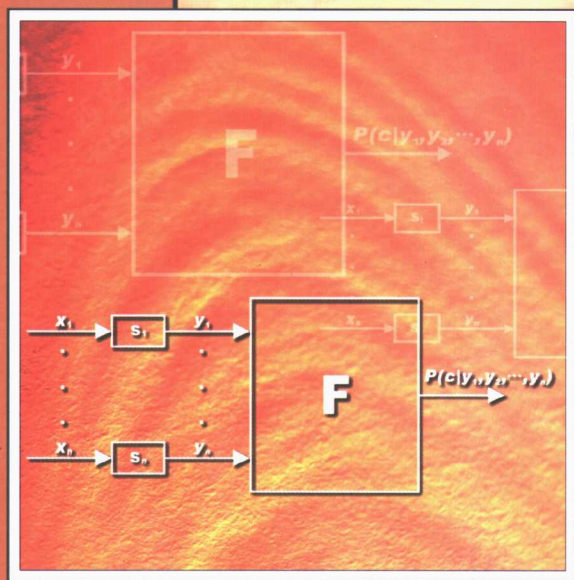


研究生系列教材

多传感器数据融合 及其应用



杨万海 编著



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>



研究生系列教材

多传感器数据融合及其应用

杨万海 编著

西安电子科技大学出版社

2004

内 容 简 介

本书以具有代表性的 C³I 系统为主线,介绍了多传感器数据融合系统的基本概念、系统组成、基本原理以及多传感器数据融合系统设计中采用的基本方法。

全书共分 7 章,第 1 章介绍多传感器信息系统的一般概念及组成,第 2 章到第 6 章的内容分别为多传感器系统状态估计、数据关联原理和方法、航迹融合、身份融合、态势评估和威胁评估,第 7 章简单介绍了 C³I 系统所用到的几种主要传感器。

本书是为电子信息类专业对应的各个学科的硕士研究生编写的,也可供从事电子信息系统研究与设计的工程技术人员和此领域的博士研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

多传感器数据融合及其应用/杨万海编著.

—西安:西安电子科技大学出版社,2004.4

(研究生系列教材)

ISBN 7-5606-1359-4

I. 多… II. 杨… III. 传感器-数据融合-研究生-教材 IV. TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 003840 号

策 划 夏大平

责任编辑 杨 璠 夏大平

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

http://www.xduph.com E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西画报社印刷厂

版 次 2004 年 4 月第 1 版 2004 年 4 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 13.5

字 数 312 千字

印 数 1~4000 册

定 价 18.00 元

ISBN 7-5606-1359-4/TN·0259(课)

XDUP 1630001-1

如有印装问题可调换

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

前言

随着科学技术的发展,特别是微电子技术、集成电路及其设计技术、计算机技术、近代信号处理技术和传感器技术的发展,多传感器数据融合已经发展成为一个新的学科方向和研究领域。多传感器数据融合技术在军事领域和民用领域均得到了广泛应用。

实际上,在第二次世界大战期间就已经在高炮火控雷达上加装了光学测距系统,这不仅大大地提高了系统的测距精度,同时也大大地提高了系统的抗干扰能力。从这种意义上说,多传感器数据融合在二战期间就已经有了应用,但数据融合(Data Fusion)一词是 20 世纪 70 年代才出现的。

20 多年来,随着各种先进武器系统的出现与发展,世界各国都在发展或完善自己的 C³I 系统,以完成指定的战略和战术任务。C³I 系统如何对各类传感器所收集的大量信息和情报进行分析、处理、综合,以便作出正确的决策,就成了数据处理的一个新的和重要的分支,即多传感器数据融合。

在民用领域,机器人多传感器信息处理系统、医学多传感器图像融合系统、遥感多传感器融合系统,乃至现代移动通信系统等,这项技术均已得到普遍应用。

这样一个重要的研究与应用领域,在我们高校的教材中没有任何体现,我们的学生缺乏这方面的知识,对电子信息系统知之甚少,尽管目前已经有几本专著面世,但它们毕竟不是教材。加之国内已有相当一部分研究所、高校和工厂正在从事多传感器信息处理方面的工作,有这方面的需求。这就是作者编写这本教材的出发点。

本书作为教材,有如下特点:

本书从学习的角度出发,注重多传感器信息系统的基本概念、基本原理和研究与设计中所采用的基本方法的介绍。

本书注重知识的系统性,循序渐进,由浅入深。如状态估计,是从用于状态估计的非递归和递归数字滤波器入手,引入最佳概念,再进一步介绍维纳滤波、 $\alpha-\beta$ 滤波、卡尔曼滤波以及用于各种实际系统的扩展卡尔曼滤波和各种自适应滤波,使学生便于对知识的理解和掌握。

多传感器数据融合系统在军口和民口都有广泛应用。从内容来说,涉及许多学科领域,内容庞杂。本教材选择在数据融合领域最有代表性的 C³I 系统信息处理为线索,抓住重点,取材适中,以便于建立系统概念和掌握具有一般性的方法;对某些已形成独立方向的,在数据融合领域所用到的一些方法,如聚类分析、模式识别等方法,就没有展开介绍。

本书尽管取材不是很多,但每部分内容学完之后均给出了进一步学习的参考资料,以供同学们继续深入学习和研究,扩展知识面,加深对多传感器信息系统的认识和理解,为以后从事此领域的工作奠定良好的基础。

多传感器信息融合研究的对象是各类传感器提供的信息,它们是以波形、图像、数据、文字以及声音等形式给出的。传感器的工作原理、工作方式、给出的信号形式和给出的测

655263/66

量数据所具有的精度，都是我们研究、分析和设计多传感器信息系统，甚至研究各种信息处理方法所要了解或掌握的。各种类型的传感器是电子信息系统的最关键的组成部分，它是数据融合系统的信息源。因此，在最后一章，给出了一些 C³I 系统常用传感器的简单介绍，以便学习与参考。

许录平教授审阅了本书的全文，对本书的修改提出了许多宝贵意见，编者在此对许录平教授表示衷心的感谢。编者对西安电子科技大学研究生院的领导和同志们的关心与支持表示衷心的感谢，对西安电子科技大学出版社的领导及负责本教材编辑工作的夏大平和杨璠同志的支持表示衷心的感谢。对本书取材论文和著作的作者表示衷心感谢。

本书的出版得到了国防预研基金的资助，同时还得到了西安电子科技大学研究生教材建设基金的资助。

由于编者水平的限制，加之时间仓促，本书一定会有很多缺点和错误，望读者多加批评和指正。

编者

2003 年 10 月

目 录

第 1 章 多传感器数据融合概述	1
1.1 引言	1
1.1.1 概况	1
1.1.2 雷达信息处理系统的发展过程	3
1.1.3 数据融合系统中的主要传感器	6
1.1.4 数据融合的应用领域	8
1.2 数据融合的定义和通用模型	10
1.2.1 数据融合的定义	10
1.2.2 数据融合的通用模型	11
1.2.3 传感器组成及描述	12
1.3 数据融合的重要性和潜在能力	16
1.4 数据融合的分类	17
1.4.1 像素级融合	17
1.4.2 特征级融合	18
1.4.3 决策级融合	18
1.5 数据融合技术	19
1.6 数据融合的主要内容	20
第 2 章 状态估计	23
2.1 卡尔曼滤波器	23
2.1.1 用数字滤波器作为估值器	24
2.1.2 线性均方估计	26
2.1.3 最优递归估值器——标量卡尔曼滤波器	28
2.1.4 向量卡尔曼滤波器	30
2.1.5 扩展卡尔曼滤波器	35
2.1.6 卡尔曼滤波器在雷达跟踪中的应用	40
2.1.7 扩展卡尔曼滤波器在目标跟踪和卫星轨道确定方面的应用	43
2.1.8 目标机动检测	47
2.1.9 自适应卡尔曼滤波器	49
2.2 常系数 α - β 和 α - β - γ 滤波器	52
2.2.1 目标运动模型	52
2.2.2 常系数 α - β 和 α - β - γ 滤波器	52
2.2.3 常系数 α - β 和 α - β - γ 滤波器的系数	54
2.2.4 变系数 α - β 和 α - β - γ 滤波器的系数	55
2.2.5 α - β 和 α - β - γ 组合滤波器	56
2.3 自适应 α - β 滤波器	57

2.3.1	目标运动方程和观测方程	57
2.3.2	自适应系数的获取	57
2.3.3	滤波算法	58
2.3.4	获取 $\alpha(k)$ 和 $\beta(k)$ 的局部方差方法	58
第 3 章	数据关联及其数据准备	60
3.1	多传感器数据关联时的数据准备	60
3.1.1	对雷达信号处理的要求	60
3.1.2	预处理	60
3.1.3	修正系统误差	62
3.1.4	坐标变换或空间对准	62
3.1.5	时间同步或对准	64
3.1.6	量纲对准	65
3.2	数据关联	66
3.2.1	数据关联举例	66
3.2.2	数据关联过程	69
3.2.3	数据关联的一般步骤	76
3.3	状态关联及关联门的应用	77
3.3.1	位置关联及关联门	77
3.3.2	位置—速度关联	79
3.3.3	编批目标的关联	81
3.4	关联门的选择	81
3.4.1	关联门的形状	81
3.4.2	关联门的类型	82
3.4.3	关联门的尺寸	82
3.5	各种数据关联方法	84
3.5.1	最邻近数据关联(NNDA)	84
3.5.2	概率数据关联(PDA)	85
3.5.3	联合概率数据关联(JPDA)	88
3.5.4	交互多模型法(IMM)	92
3.5.5	全局最邻近数据关联	96
3.5.6	简易联合概率数据关联(CJPDA)	97
3.5.7	模糊数据关联(FDA)	98
3.5.8	准最佳联合概率数据关联(SJPDA)	100
3.5.9	最邻近联合概率数据关联(NNJPDA)	100
3.5.10	“全邻”最优滤波法	100
3.5.11	多假设法(MHT)	100
3.5.12	航迹分裂法	101
3.5.13	最大似然数据关联(MLDA)	101
3.6	用实际雷达数据对某些关联方法的评价	101
第 4 章	航迹及其融合	104
4.1	引言	104

4.2 航迹管理	106
4.2.1 逻辑法	106
4.2.2 记分法	108
4.3 航迹的初始化算法	109
4.3.1 两点外推	109
4.3.2 三点加速外推	110
4.4 航迹关联	111
4.4.1 统计关联方法	111
4.4.2 模糊关联方法	112
4.5 航迹融合	114
4.5.1 航迹融合结构	114
4.5.2 航迹融合中的相关估计误差问题	115
4.5.3 航迹状态估计融合	115
4.5.4 模糊航迹融合	122
4.5.5 利用伪点迹的航迹融合方法	124
4.5.6 信息去相关算法	126
第5章 身份融合	130
5.1 引言	130
5.2 身份融合算法的分类	132
5.3 特征及其提取	132
5.3.1 图像特征	133
5.3.2 信号数据特征	134
5.4 身份识别	135
5.5 识别技术概述	137
5.5.1 相似性系数法	137
5.5.2 统计模式识别技术	138
5.5.3 神经网络技术	139
5.5.4 参数模板法	142
5.5.5 聚类分析技术	143
5.5.6 物理模型	147
5.5.7 基于知识的方法	148
5.6 身份融合算法	149
5.6.1 经典推理	149
5.6.2 Bayes 推理	150
5.6.3 Dempster - Shafer 证据推理方法	152
5.6.4 身份信息融合的最佳方法	161
第6章 态势评估与威胁评估	166
6.1 态势评估	166
6.1.1 态势评估的定义	166
6.1.2 态势评估元素	166
6.1.3 态势评估包含的主要内容	167

6.1.4 态势评估的特点	168
6.1.5 态势显示	168
6.2 威胁评估	168
6.2.1 威胁评估的定义	168
6.2.2 威胁评估元素	168
6.2.3 威胁评估的主要内容	169
6.3 态势评估和威胁评估的实现方法	171
6.3.1 态势评估和威胁评估的主要特点	171
6.3.2 用于 STA 的主要技术	171
第 7 章 C³I 系统中常用传感器概述	184
7.1 引言	184
7.2 常用传感器	185
7.2.1 动目标显示/检测雷达	185
7.2.2 脉冲多普勒雷达(PD)	186
7.2.3 连续波雷达(CW)	188
7.2.4 电子情报接收机(ELINT)/电子支援测量(ESM)	188
7.2.5 二次监视雷达(SSR)/IFF/IFFN 系统	190
7.2.6 毫米波雷达	191
7.2.7 声纳	192
7.2.8 红外传感器(IR)	192
附录 A 坐标系的变换	194
附录 B 名词与缩略语	196
参考文献	201

第 1 章 多传感器数据融合概述

1.1 引言

1.1.1 概况

在 20 世纪 80 年代初,有关多传感器数据融合方面的文献尚且少见,但到 80 年代末,美国便每年举行两个关于数据融合领域的会议。它们是由美国国防部联合指导实验室 C³I 技术委员会和国际光学工程学会分别赞助召开的,每年发表大量的关于电子信息系统和多传感器数据融合方面的论文。十多年来,随着科学技术的发展,特别是微电子技术、集成电路及其设计技术、计算机技术、近代信号处理技术和传感器技术的发展,多传感器数据融合已经发展成为一个新的学科方向和研究领域。由于人类在各种不同电子信息系统中采用了大量的不同类型的传感器,因此,有时也将多传感器数据融合称为多传感器融合。

实际上,在第二次世界大战期间就已经把多传感器数据融合应用到实际系统中了,当时在高炮火控雷达上加装了光学测距系统,综合利用雷达和光学传感器给出的两种信息,不仅大大地提高了系统的测距精度,同时也大大提高了系统的抗干扰能力。不过那时没有使用计算机,对数据的处理、综合、判断都是由人工完成的。从这种意义上说,多传感器数据融合系统在二战期间就达到了实用程度,但数据融合(Data Fusion)一词是 20 世纪 70 年代出现的。另外,在民航的交通管制系统中,一次雷达和二次雷达配对也应用的是数据融合的概念,在 20 世纪 70 年代之前也已经得到了应用。

近 20 年来,随着各种先进武器系统的出现与发展,世界各国都在发展或完善自己的 C³I(Command, Communication, Control, Intelligence)系统,以完成指定的战略和战术任务。C³I 系统如何将利用各类传感器所收集的大量信息和情报进行分析、处理、综合,作出正确的决策,就成了数据处理的一个新的和重要的分支,即多传感器数据融合。

到 20 世纪 90 年代初,美国已经研制了几十个军用数据融合系统。如“军用分析系统”、“多传感器多平台跟踪情报相关处理系统”、“海洋监视融合专家系统”和“雷达与 ESM 情报关联系统”、“超级座舱”、“自主式地面车辆系统”等。美国国防部将“多传感器数据融合”列为 20 世纪 90 年代重点研究、开发的 20 项关键技术之一,从 1992 年起,每年投巨资用于数据融合技术的开发与研究。其它国家,如英国的“炮兵智能数据融合示范系统”等,也早已面世。从目前看到的资料,诸如此类已经应用的系统已超过 80 多个,涉及陆、海、空各军兵种,这还没有考虑其它领域的各种应用系统。从国外的这些系统看,没有哪一个系统是完善的,或者说开始就有一个完善的多传感器数据融合系统。实际上,这都是一点一点

逐步地发展起来的，由不完善到完善，由功能少到功能多。通过对国外的 80 多个系统的分析可以看出，目前的数据融合系统大约有以下几个特点：

(1) 所采用的传感器类型，一般以雷达，电子情报(ELINT)接收机，电子支援测量(ESM)系统，红外、激光和可见光、声音传感器为主；

(2) 所采用的融合算法，应用最多的是数据关联和多目标跟踪算法，其次是身份估计和基于知识系统；

(3) 所采用的系统按融合级别分，状态与身份估计、态势评估和威胁评估的比例约为 8:5:1。威胁评估目前应用最少，可能是因为它最贴近战争，出于保密的原因，报道很少。

国内的研究是 20 世纪 90 年代以后才被重视起来的，可以说起步较晚，但目前已经有部分高校和研究所从事此领域的研究工作，已有部分专著面世，每年约有几百篇学术论文在国内、外学术刊物和会议上发表。

多传感器信息融合研究的对象是各类传感器提供的信息，这些信息是以信号、波形、图像、数据、文字或声音等形式给出的。传感器本身对数据融合系统来说也是非常重要的，它们的工作原理、工作方式、给出的信号形式和给出测量数据的精度，都是我们研究、分析和设计多传感器信息系统，甚至研究各种信息处理方法所要了解或掌握的。各种类型的传感器是电子信息系统最关键的组成部分，它们是电子信息系统的信息源。如气象信息，可能是由气象雷达提供的；遥感信息可能是由合成孔径雷达(SAR)提供的；敌人用弹道导弹对我某战略要地的攻击信息可能是由预警雷达提供的等等。之所以说“可能”，是因为对每一种信息的获得，不一定只使用一种传感器。我们将各种传感器直接给出的信息称作源信息。如果传感器给出的信息是已经数字化的信息，就称作源数据；如果给出的是图像，就是源图像。源信息是信息系统处理的对象。信息系统的功能就是把各种各样的传感器提供的信息进行加工、处理，以获得人们所期待的、可以直接使用的某些波形、数据、图像或结论。基础理论的发展和技术的进步，使传感器技术更加成熟，特别在 20 世纪 80 年代之后，各种各样的具有不同功能的传感器如雨后春笋般相继面世，有无线电的、红外线的、激光的、可见光的、声音的、电磁的等等。它们有非常优良的性能，已经被用于人类生活的各个领域。

源信息、传感器与环境之间的关系如图 1-1 所示。

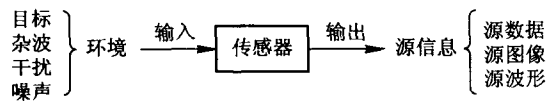


图 1-1 传感器、源信息与环境的关系

各种传感器的互补特性为获得更多的信息提供了技术支撑。但是，随着多传感器的利用，又出现了如何对多传感器信息进行联合处理的问题。消除噪声与干扰，实现对观测目标或实体的连续跟踪和测量，并对其属性进行分类与识别，分析敌我双方的兵力对比，提供敌方各类平台的瞬时位置及其企图，作出威胁判断等一系列多层次的处理，就是多传感器数据融合技术，有时也称作多传感器信息融合(Information Fusion)技术或多传感器融合(Sensor Fusion)技术，它是对多传感器信息进行处理的最关键技术。它在军事和非军事领

域的应用都非常广泛。其在军事领域的应用包括海上监视、地面防空、战略防御与监视等，其中最典型的就 是 C^3I 系统，即军事指挥自动化系统；在非军事领域的应用包括机器人系统、生物医学工程系统和工业控制自动监视系统等。在多传感器系统中所用到的各种传感器又分有源传感器和无源传感器。有源传感器发射某种形式的信息，然后接收环境和目标对该信息的反射或散射信息，形成源信息，如各种类型的有源雷达、激光测距系统和敌我识别系统等；而无源传感器则不发射任何形式的信息，完全靠接收环境和目标的辐射来形成源信息，如红外无源探测器、被动接收无线电定位系统和电视跟踪系统等，它们分别接收目标发出的热辐射、无线电信号和可见光信号。

前面已经指出，数据融合在军事领域最典型的应用是军事指挥自动化系统，而 C^3I 系统中最主要的传感器是具有不同体制和功能的雷达。尽管第二次世界大战之后雷达有了很大的发展，但真正大的进步还是最近二十几年的事情。采用各种先进技术的各种不同体制的现代雷达已数不胜数。现代雷达信息处理技术已成为现代雷达技术的核心。

1.1.2 雷达信息处理系统的发展过程

在雷达应用早期，它完全依靠操纵员在荧光屏上对目标的有无进行人工判断。如发现目标，由操纵员根据雷达荧光屏上的刻度估计目标的距离和方位(点迹)，并对每个刚发现的目标由人工给予一个批号，然后向上级站，如雷达团站，进行口报所发现目标的坐标和批号。该雷达团站所辖各雷达站均按同一模式工作。上级团站在收到各雷达站报来的数据的同时，根据相应的坐标和批号，在标图板上进行标图。标图板上有方格和对应的地面坐标。若干周期之后，便可在标图板上绘出目标的航迹。从这里可以看出，早期雷达的点迹与航迹的关联是由人工完成的，每条航迹都是由同一个批号的点迹形成的，对目标的跟踪是由操纵员和标图员在标图板上完成的。随着科学技术的发展，雷达体制越来越多样化，雷达发射波形越来越复杂，特别是电子计算机的普及和应用，使雷达的数据处理发生了革命性变化。雷达信号处理、信号检测和数据处理的技术、方法和手段更丰富、更先进，在干扰背景中能提取的信息越来越多；不仅能发现空中目标，而且能自动录取目标的坐标，并把它们连成航迹，判断目标是否机动，判断目标的类型、架次，飞行的意图，携带的武器等。要完成这些任务，就需要有坚实的理论基础、新的信息处理方法和其它高新技术，这是雷达系统乃至 C^3I 系统的核心技术，因此几十年来一直都是国内外研究的热点。从技术的角度来说，目前都采用雷达组网来提高系统发现目标的能力，这就必然导致从单雷达多目标数据处理演变到多雷达多目标数据处理，即数据融合。

在雷达发展过程中，雷达信号的检测、录取和数据处理可以概括为如下几个阶段：

(1) 在雷达站，由操纵员在荧光屏上通过人工的方法进行目标有无的判断，并估计目标的坐标，同时给予新目标一个批号。若目标存在，加上目标的坐标便是我们所说的目标点迹或测量。在雷达站的标图板上进行标图，并通过无线方式向上级团站进行口头报告，在团站的标图板上也按相同的方式进行人工标图。经多个扫描周期之后，在标图板上根据目标的多少形成若干条航迹，没有形成航迹的那些点迹通常称为孤立点迹，在后续若干扫描周期中没有延续点迹与它相关，则认为是噪声或杂波剩余所形成的虚警。

(2) 在雷达站，由操纵员在荧光屏上通过人工的方法进行目标有无的判断，如果是两坐标雷达，操纵员利用手球或操纵杆产生一个瞬时信号，在距离和方位传感器读出当时的

坐标, 给予一个批号, 并同时批号和坐标数据显示在荧光屏上该目标附近, 然后将坐标数据和批号送往电子标图板进行自动标图, 同时通过数传机将该点迹送往上级团站。这种录取方式便称为半自动录取。经多个扫描周期之后, 最后在电子标图板上形成若干条航迹, 没有形成航迹的那些点迹可能是虚警或新目标的点迹。这种工作方式的点迹与航迹的关联也是通过批号完成的, 即每条航迹的各个点迹的批号是相同的。

(3) 在雷达站, 由雷达信号处理机通过雷达目标检测器自动判断目标的有无。如果存在目标, 便自动在各种坐标传感器读取坐标数据, 这种工作方式便称作自动检测与录取。然后将坐标数据送往上级团站进行数据处理, 在综合显示器上显示目标的航迹和一些假点迹或孤立点迹。

(4) 对多部雷达组成的雷达网, 每部雷达均进行自动检测与录取, 然后将各自的坐标数据送往信息处理中心, 进行数据融合, 这就是所谓的集中式处理方式。

以上过程就是雷达数据处理由人工向自动化发展的过程。这个发展过程, 是科学发展的必然, 也是战争发展的需要。我们知道, 一个熟练的操纵员, 在典型搜索雷达的一个扫描周期中, 通过人工录取和口报不会超过 10 批目标, 而在现代战争中, 空中目标可能有几十到几百批, 甚至上千批, 加上大量的杂波和干扰, 利用传统的方法已经不能适应现代战争的需要。另一方面, 由于战争的需要使雷达有了突飞猛进的发展, 这主要体现在新的体制、新的技术和计算机的应用等方面。现代雷达的功能、抗杂波和抗干扰能力更强了, 信息处理速度更快了, 处理容量更大了。特别是, 在现代战争中广泛使用具有不同功能、不同覆盖范围、不同频段的各种传感器以获取更多的信息, 这就必须利用现代信号与数据处理的手段, 实时处理来自多传感器大容量的雷达目标回波和杂波数据。这就是我们要介绍的多雷达或多传感器多目标数据融合技术。

现代雷达信息处理技术是现代雷达系统的核心技术。通常, 人们把现代雷达信息处理技术分成三个层次, 即雷达信号处理与目标检测、单部雷达数据处理和多部雷达系统数据融合, 有时也分别称其为雷达信息一次处理、雷达信息二次处理和雷达信息三次处理。

1. 雷达信号处理和目标检测

通常, 经典的雷达信号处理主要是指雷达中频信号经相干检波或包络检波后, 经动目标显示(MTI)、自适应动目标显示(AMTI)、动目标检测(MTD)、脉冲压缩(PC)、恒虚警处理(CFAR)、视频积累等一系列处理。经信号处理之后, 根据尼曼-皮尔逊准则给出有无目标的判断; 如有目标存在, 则录取其坐标, 给出状态码, 以形成点迹(Plot), 也称测量。前者称为信号检测, 后者称为信号录取。当然, 目标的存在是在虚警概率一定的情况下, 以概率出现的, 这就是我们所说的发现概率。

20 世纪 80 年代后期发展起来的阵列信号处理技术、自适应波束形成技术、自适应旁瓣相消技术、多普勒波束锐化(DBS)技术、各种成像技术和时-空二维处理技术等均属信号处理的范畴。通常把雷达信号处理与检测称作雷达信息一次处理。雷达信息一次处理是在每一部雷达的雷达站进行的, 通常它利用的是同一部雷达、同一扫描周期、同一距离单元或距离门的信息。

雷达信息一次处理的作用是在杂波、噪声和各种有源或无源干扰的背景中, 提取有用信息, 即提升信号, 抑制杂波、噪声和干扰, 提高信噪比, 以较高的概率发现目标。尽管现代雷达采用了很多信号处理技术, 包括各种滤波技术, 但由于杂波谱特性和滤波器特性不

是很完美，总会有一小部分杂波和干扰信号漏过去，即滤波滤的不是很干净。这一部分杂波和干扰信号，我们称其为杂波剩余。

一次处理之后，有时为了减轻后续处理计算机的负担和防止计算机饱和，提高系统性能，还要对一次处理所给出的点迹(测量)进行过滤，以便进一步去掉或减少信号处理所产生的杂波剩余、噪声或远区杂波形成的假点迹。去野值及由于距离分割和目标检测准则等因素引起的目标分裂，也需要在这里进行目标合并处理。这些工作也可以看作是二次处理的预处理。

2. 单雷达数据处理

雷达数据处理可以是对单部雷达，也可以是对多部雷达的数据进行处理。这里我们是指对单部雷达或单传感器的数据处理。数据处理单元的输入是前端送来的点迹，因此，点迹是数据处理的对象。在这里对一次处理给出的点迹与数据库中的所有航迹进行关联，然后进行外推、滤波等处理，以对目标的状态进行估计并形成航迹，这一过程就是我们通常所说的跟踪。这里所说的关联是指将同一目标的点迹与其对应的航迹配对，以保证同一目标的点迹与历史数据的相关。关联上的点迹被归并到相应的航迹，没有关联上的点迹被保留下来，直到在以后有限的几个扫描周期中满足目标起始准则，然后建立新的航迹；关联不上的点迹，在满足一定条件的情况下，被判定为假点迹，它们可能是由杂波剩余或干扰形成的，予以剔除。外推、滤波是对同一个目标的不同时刻已关联上的点迹而言的，否则没有任何意义。一条航迹一旦被确认之后，就要对下一采样时刻的目标位置进行预测，以预测值为中心建立一个波门，以限制其它目标和杂波进入该波门，等待下一采样周期该航迹对应目标的点迹的到来，进行新的关联，关联上之后，用测量值取代预测值，对滤波器的状态进行更新。这一过程，通常称作波门跟踪。如果雷达工作环境是多目标环境，还要考虑航迹的交叉等处理。单传感器数据处理单元的输出是多目标所形成的航迹。数据处理时所用到的主要滤波技术包括： α - β 滤波器、自适应 α - β 滤波器、 α - β - γ 滤波器、卡尔曼滤波器、扩展卡尔曼滤波器、自适应卡尔曼滤波器、多模型滤波器等。通常把雷达数据处理称作雷达信息二次处理。二次处理利用的是同一部雷达、不同扫描周期、不同距离单元的信息，它可以在各个雷达站进行，也可以在雷达网的信息处理中心或系统指挥中心进行。

二次处理的功能是在一次处理的基础上，实现对多目标的滤波、跟踪，对目标的运动参数和特征参数进行估计。

3. 多雷达数据融合

雷达信息的三次处理通常是在信息处理中心完成的，它所完成的是多雷达或多传感器的信息处理。信息处理中心接收各部雷达送来的点迹或航迹，对它们继续进行数据处理。对多部雷达或传感器的点迹或航迹的处理通常称作多雷达数据处理或多传感器数据融合。每部雷达送来的航迹，通常称作局部航迹，融合之后形成的航迹称作全局航迹或系统航迹。根据不同的雷达网络结构，融合又分点迹融合和航迹融合。有时融合系统的结构确定了信息处理的关系，甚至影响其系统的性能。一般集中式网络结构采用点迹融合，分布式结构采用航迹融合，由于点迹融合利用的是各部雷达的原始点迹，性能略高于航迹融合，但在网络中除了雷达之外还有更多类型的传感器，若目标和杂波的数量很大，通信和处理

都存在困难时,就不得不采用航迹融合。信息处理中心所接收的是多雷达的一次处理后的点迹或二次处理后的航迹,它们是三次处理的对象。三次处理不像二次处理是在一次处理之后进行的,有一个严格的时间顺序,它与二次处理之间没有严格的时间界限,它是二次信息处理的扩展和自然延伸,主要表现在空间和维数上。因此,三次处理所采用的技术,如数据关联方法、滤波方法等也是二次处理的扩展。三次处理用的是多部雷达或多传感器不同扫描周期的信息。

三次处理的功能是通过多部雷达或多传感器的多目标关联,进行目标的状态估计、属性或身份估计或识别,以便后续处理时实现态势和行为与威胁评估,为指挥员提供决策方案,即实现辅助决策。

图 1-2 所示为雷达信息处理的层次示意图。

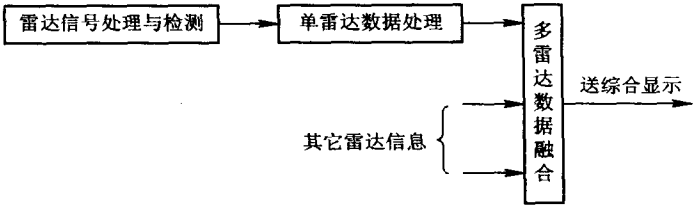


图 1-2 雷达信息处理层次示意图

1.1.3 数据融合系统中的主要传感器

科学技术的发展使现代战争的层次越来越高,反过来战争又推动科学技术的发展。特别是 20 世纪 70 年代之后发展起来的高科技兵器,如精确制导武器和远程打击武器等的出现,使现代战场扩大到了陆、海、空、天和电磁五维空间。目标探测传感器也从单一类型发展到多种类型,并可安装在多种武器平台上,以收集战场目标和环境信息,对目标或事件及时准确地定位和识别,准确地给出战场的态势和威胁评估,这就必须对所获得的信息进行综合处理、分析、判断,给指挥员提供高质量的决策信息。目前,在 C³I 系统中的各类传感器主要有以下几种。

1. 雷达

1) 按环境分

空中: 机载脉冲多普勒(PD)雷达、机载预警雷达、机载火控雷达、合成孔径雷达(SAR)、逆合成孔径雷达(ISAR)等。

地面: 地面搜索雷达、地面跟踪雷达、地面火控雷达、引导雷达等。

水面: 舰载火控雷达、舰载搜索雷达、舰载导航雷达等。

水下: 各种类型的声纳。

2) 按技术分

相控阵雷达、动目标指示雷达、脉冲压缩雷达、单脉冲雷达、天波或地波超视距雷达、双基地雷达、连续波雷达等,是对所采用的技术而言的,它们都可能用在不同的环境中。

2. 其它

电子情报(ELINT)接收机、电子支援测量(ESM)系统、红外(IR)探测与跟踪器、无线

电干扰机、通信情报接收机、雷达告警机、激光测距及告警机、电视跟踪和光电(EO)传感器、敌—我—中识别器(IFFN)等。

从这些传感器可以看出,它们所利用的频谱范围是很宽的。从音频、视频、微波、毫米波,一直到紫外和 γ 射线频段。其中紫外频段还分近紫外和远紫外频段;红外频段分近红外、短波红外、中波红外、长波红外和远红外频段;微波频段分Ka、K、Ku、X、C、S、L频段。需要注意的是,不同国家和不同技术领域对频段的定义可能略有差别。

有源和无源声纳、地震仪和直接声音探测仪利用的是音频信号,它可以从零点几赫兹到几十千赫兹;雷达所用的频段更宽,从短波一直到毫米波;红外频段尽管很宽,但云雨杂波衰减严重,红外探测器只有 $3\sim 5\text{ }\mu\text{m}$ 和 $8\sim 12\text{ }\mu\text{m}$ 的两个窗口利用较多。表1-1给出了各个频段的名称、相对应的波长和频率范围。

表 1-1 信号波谱图

名 称	波 长	频 率 范 围
γ 射线	$0.003\sim 0.1\text{ nm}$	$3\times 10^{12}\sim 10^{14}\text{ MHz}$
紫外线	$10\text{ nm}\sim 0.4\text{ }\mu\text{m}$	$7.5\times 10^8\sim 3\times 10^{10}\text{ MHz}$
可见光	$0.38\sim 0.76\text{ }\mu\text{m}$	$3.95\times 10^8\sim 7.5\times 10^8\text{ MHz}$
红外线	$0.76\sim 1000\text{ }\mu\text{m}$	$3\times 10^5\sim 3.95\times 10^8\text{ MHz}$
毫米波	$0.1\sim 1.0\text{ cm}$	$30\sim 300\text{ GHz}$
厘米波	$1.0\sim 10.0\text{ cm}$	$3\sim 30\text{ GHz}$
分米波	$10.0\sim 100\text{ cm}$	$300\sim 3000\text{ MHz}$
米波	$1.0\sim 10.0\text{ m}$	$30\sim 300\text{ MHz}$
短波	$10.0\sim 100.0\text{ m}$	$3\sim 30\text{ MHz}$
中波	$100.0\sim 1000\text{ m}$	$0.3\sim 3\text{ MHz}$
长波	$1.0\sim 10.0\text{ km}$	$30\sim 300\text{ kHz}$
超长波	$10.0\sim 100.0\text{ km}$	$3\sim 30\text{ kHz}$

这些传感器可能分布在空间的各种运动平台上,但在性能上,它们可能有很大的差异,以雷达为例:

(1) 有不同的精度。不同体制和功能的雷达,可能有不同的测距、测角、测高和测速精度。影响雷达精度的误差主要有两部分,即系统误差和随机误差。不同的雷达可能有不同的误差,这就使雷达有精度上的差异。

(2) 有不同的分辨率。不同体制和功能的雷达的天线波束宽度和发射脉冲宽度不可能相同,必然有着不同的距离和角度分辨率。长波的雷达分辨率较低,短波的分辨率较高;但长波的作用距离远,短波的作用距离近。

(3) 有不同的维数。根据战术和技术用途的不同,雷达有两坐标雷达和三坐标雷达之分,甚至还有专门用于测距、测角和测速的雷达。

(4) 有不同的频段。如有米波雷达、分米波雷达、厘米波雷达、毫米波雷达等,其中每个频段又可能分成很多波段。如厘米波雷达,又分X波段、C波段、S波段等;毫米波雷达又分 35 mm 和 96 mm 等。

(5) 有不同的覆盖范围。根据用途不同,各种雷达的覆盖范围可能相差很大,远程雷达可探测几千公里,近程可能只有几十公里,某些特殊用途的雷达可能只能探测几米到几十米,如探地雷达等。

实践证明,到目前为止还没有哪一个传感器能够取代一切其它传感器。传感器所提供的数据包含各种各样的信息,如目标的位置(距离、方位和仰角或高度)、速度、机型、架次、航班号、飞行方向以及它们所携带的电子装备、武器类型等。这些信息是数据融合中状态估计、身份估计、态势评估和威胁评估以及指挥员辅助决策非常重要的依据。每个传感器都是一个信息源,它们为多传感器系统提供多源数据。

在未来的战争中有非常多的武器平台,天上飞的,地上跑的,水里游的,应有尽有,它们又都携带各种各样的传感器,这样就出现了需求。如何对它们所收集到的各种信息进行处理,去掉冗余信息,滤掉杂波和干扰,把有用的信息提取出来,这是一个非常艰巨的任务。解决这一问题的惟一手段就是数据融合或信息融合。实际上,对多传感器多目标进行融合的过程就是对多源数据进行处理的过程,它是单传感器多目标处理的扩展。

实际上,进行多传感器多目标数据融合是科学技术发展的必然结果,是科学技术的发展适应了现代战争在战术和战略上的需要。我们知道,现代战争的进攻策略多采用多批次、多层次、多方向的进攻,不仅目标数量多,而且类型也多样化,因此就要采用多种传感器用于搜集这些信息或数据。

图 1-3 所示为数据融合技术在 C³I 系统中应用的示例。

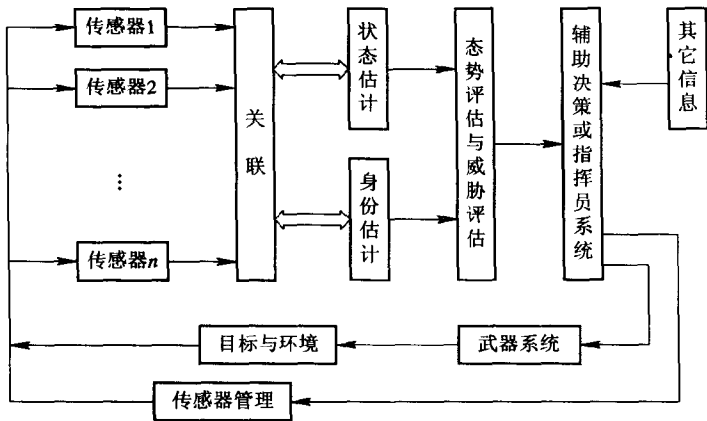


图 1-3 数据融合在 C³I 系统中的应用

1.1.4 数据融合的应用领域

众所周知,数据融合系统首先是从军事领域发展起来的。到目前为止,它已经应用到海上监视、空一空防御和地一空防御、战场侦察、监视和目标捕获、战略防御与告警等领域。实际上,数据融合技术除了在军事领域的应用之外,在许多非军事领域也有着非常广泛的应用,如机器人、医学、遥感、工业控制、空中交通管制、海洋监测、禁止毒品和管理领域等。下面给出一些它在军事领域和非军事领域应用的例子。