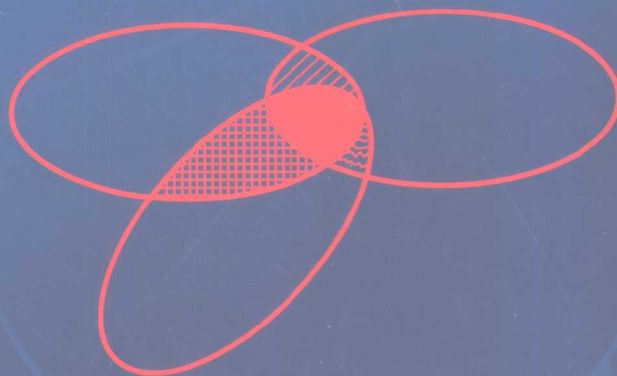


//

Sensor and Data Fusion Concepts
and Applications

多传感器数据融合 理论及应用

(第二版)



[美] Lawrence A. Klein 著
戴亚平 刘征 郁光辉 译

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS



多传感器数据融合 理论及应用

(第二版)

[美] Lawrence A. Klein 著
戴亚平 刘 征 郁光辉 译

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

多传感器数据融合理论及应用/(美)克莱因(Klein, L. A.)著;戴亚平,刘征,郁光辉译. —北京:北京理工大学出版社, 2004. 2

ISBN 7-5640-0185-2

I. 多… II. ①克…②戴…③刘…④郁… III. 传感器-数据融合 IV. TP212

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第080318号

北京市版权局著作权合同登记号 图字:01-2002-2690号
Copyright ©1999 SPIE. All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage and retrieval system, without permission in writing from the Publisher and SPIE.

Authorized Chinese-language edition

出版发行/北京理工大学出版社

社 址/北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编/100081

电 话/(010)68914775(办公室) 68912824(发行部)

网 址/http://www.bitpress.com.cn

电子邮箱/chiefedit@bitpress.com.cn

经 销/全国各地新华书店

印 刷/北京地质印刷厂

开 本/787毫米×1092毫米 1/16

印 张/11.25

字 数/225千字

版 次/2004年2月第1版 2004年2月第1次印刷

印 数/1~3500册

责任校对/郑兴玉

定 价/20.00元

责任印制/刘京凤

图书出现印装质量问题,本社负责调换

本系列教材简介

为了响应那些没能参加 SPIE 短期课程，但又想复制其笔记的同学的要求，我们出版了此套系列教材。根据有关法律规定，授课教师对这些笔记拥有版权，因此它们不能在市场上随意流通。由于这些笔记仅仅是为课堂讨论提供了一个方向或作为对专题演讲的一个补充，而且有时现场演讲会用到一些复杂图形，所以笔记常常不能替代教材的功能。为了出版本系列教材，我评阅了很多套课程笔记，结果发现，尽管这些课程已涉及到几乎所有相关领域的内容，但与之对应的笔记却不能对相应的理论做进一步阐明，有时反而更加困惑读者。

本系列教材正是为了填补这个缺口，使它们能成为一个完整的教材体系，详细解释被笔记里忽视的一些观点和论据。这个主题确认后，我们开始这项工作的最关键的问题是，这套系列教材能否有效地表达与这个主题相关的一些基本概念。在刚开始动笔和最后成稿时，我查阅了原始的笔记手稿，这样就能保证本系列教材能提供丰富的理论来帮助读者建立一些基本概念，然后运用这些基本概念，再给读者具体的有关本主题的实际工程知识。参考文献作为每本教材必备的一个部分也在本系列教材中列出，它为读者提供了更深层次的学习素材。

本系列教材的一个优势就是覆盖了最新发展的一些新领域。传统的教材对某些新领域涉及不深或根本没有涉及，如多传感器融合、形态图像处理及数字压缩技术等。从 1989 年以来，本系列教材就对以上技术及其他新的技术领域进行了介绍。在此基础上，我们又扩展了这套系列教材的内容，使它不仅仅包含短期课程的范围，而且还包含一些专家所研究的领域，我想这些资深专家在所研究的领域中有资格对研究进展作出权威的评价。本系列教材还一直突出它作为教材的特点，我衷心希望在以后的几年中还会出现类似于第一个十年中所取得的高质量、宽范围的作品。

Donald C. O'Shea
佐治亚理工大学

第一版序言

本书的内容来源于一系列演讲的笔记。该演讲的内容主要是高级传感器操作及传感器数据的融合。在实际多传感器应用系统中，由于空间的限制，主传感器一般都工作在红外和毫米波的频段。另外由于这些传感器具有相对短的波长，从而占用的空间比较小，所以各传感器在响应不同的能产生信号的物理现象时能相互补充。最后得到的结果是对在恶劣天气、密集杂波及由于反测量而使信号被淹没的条件下，也能得到很好的效果。

最初演讲的主题主要包括以下几个方面：多传感器系统在智能武器中的应用；在各子系统中任务分配的优化方法；对于工作在不同电磁频域的主动、被动式传感器所产生信号的物理学方式；整个雷达系统的操作，包括硬件设施、检测概率的计算、对目标及回波信号的分析以及各种信号处理算法；红外传感器的设计及考虑什么时候使用图像传感器及什么时候不采用图像传感器；激光雷达的操作与应用；对传感器性能有影响的干扰以及传感器数据融合技术，该技术能在目标判别（检测、定位、分类和识别）和跟踪中起帮助作用。

在本书中对上述有关主题进行了详细的描述，包括：多传感器系统的应用；目标、背景及大气中一些能产生信号的物理现象的研究；应用于目标识别与跟踪的数据融合体系结构等，这些体系结构能结合多个传感器的数据进行融合。我们在解释能产生信号的物理现象和数据融合技术时，使用了少量的数学知识。即使在用数学理论时也只是使用最简单的数学运算来描述一些内在原理。我们在每一章中还使用一些非数学的解释来帮助读者理解概念。

使用本书的一些概念如能产生信号的物理现象和数据融合等，有助于理解一些实际应用中的背景知识，如天气预报、使用遥感进行地球资源勘探、机动车辆的交通管制、目标分类与跟踪以及战场态势估计等。即使对于一些狭窄的领域如国防开支等，人们对数据融合在此方面应用的兴趣也越来越高，因为它能帮助我们识别出各种导弹、其他战略目标及各潜在因素的威胁。信号产生的物理现象及已提出的数据融合体系结构与算法不仅不断地应用于国防领域，在非国防领域的应用也越来越多。本书的最后一章主要描述了只使用被动得到的数据来检测和跟踪目标。我想从事导弹定位问题的研究人员应该对这一章有特别的兴趣或关注。

本书的出版融合了许多人有价值的建议。Henry Heidary 除了对第 9 章内容作出主要的贡献外，他还评阅了全书的其他章节。Sam Blackman 评阅了整本书，并提供了一些参考文献，这些参考文献为本书提供了新的内容。Pat Williams 评阅了关于跟踪的章节，并且提供

了跟踪算法运行时间的数据。SPIE 的 Mary Horan 以最出色的方法进行了最后的编辑工作。最后，我想要感谢我的妻子和我的孩子，他们不懈地支持我、理解我一直在计算机前工作到深夜。

Lawrence A. Klein

1993 年 4 月

第二版序言

通过多年连续讲授“在对潜在目标的跟踪和识别中多传感器多目标数据融合技术”这门短期课程，我很明显地感到有必要对一些新的数据融合算法进行解释和举例说明。许多读者对其中三个领域特别感兴趣，即贝叶斯推理、人工神经网络和模糊逻辑。本版正是包含了这些新发展起来的内容，相信它能满足对这些知识有需求的读者。

另外，对第一版中原有的各章节也进行了不同程度的修改，主要改动的内容有：第二章原来主要讲述了有关多传感器系统的应用、优点及大气对信号的衰减等内容。本版扩充的内容包括 FASCODE 和 MODTRAN 的大气模型信息以及分析各种不同物理过程的 EOSAEL，这些物理过程能影响毫米波和红外传感器的性能。我们还扩充了有关 LOWTRAN、可观测性度量及在雪中红外扩散等内容。在第三章某些段落得到相关授权后，我们还增加了有关数据融合体系结构及算法的解释。在关于 D-S 算法一章，加入了关于不确定区间的解释。在讨论表决融合中另一类型信任级别结构时，给出了另一篇附录。最后，在关于“在定位目标过程中被动数据关联技术”一章中，对用正弦定理来定位目标和枝节-边界算法作出了修改。

和我一起讲授多传感器多目标数据融合课程的 Martin Dana 评阅了新章节的内容。他的建议改进了本书的质量。我还要感谢 SPIE 的 Eric Pepper 和 Donald O'Shea，他们给了我出版本书第二版的机会。这里我还要感谢 Sue Price, Rick Hermann 和 SPIE 编辑部的全体工作人员给予我的许多帮助，这些都改进了本书的质量，并在我准备此书时也给予了很大的帮助。

Lawrence A. Klein

1999 年 4 月

目 录

第 1 章 概述	(1)
第 2 章 多传感器系统的应用及优势, 大气对信号的衰减作用	(5)
2.1 多传感器系统中数据融合的应用	(5)
2.2 传感器的选择	(7)
2.3 多传感器系统的优势	(11)
2.4 信号波长对其在大气衰减中的影响	(13)
2.5 雾的特征	(16)
2.6 毫米波传感器的工作频率对其性能的影响	(17)
2.7 雨和雾对毫米波雷达信号能量的吸收	(17)
2.8 在雨中毫米波能量的反向反射	(20)
2.9 红外传感器工作波长对性能的影响	(22)
2.10 能见度度量	(23)
2.10.1 主观能见度	(23)
2.10.2 客观能见度——气象距离	(23)
2.11 红外能量在雨中的衰减	(24)
2.12 消光系数值(典型)	(25)
2.13 电磁波类传感器优缺点小结	(26)
2.14 大气与传感器系统的计算机仿真模型	(27)
2.14.1 LOWTRAN 衰减模型	(28)
2.14.2 FASCODE 与 MODTRAN 衰减模型	(29)
2.14.3 EOSAEL 传感器性能模型	(30)
2.15 小结	(33)
参考文献	(33)
第 3 章 数据融合算法与融合结构	(37)
3.1 数据融合的定义	(37)
3.2 处理层 1	(39)
3.2.1 数据融合中的检测、分类与识别算法	(40)
3.2.2 数据融合中的状态估计和跟踪算法	(44)
3.3 处理层 2, 3 和 4	(49)

3.4	结构的定义	(51)
3.5	数据融合处理过程	(52)
3.6	数据融合的结构	(52)
3.6.1	传感器级融合	(53)
3.6.2	中央级融合	(55)
3.6.3	混合式融合结构	(56)
3.6.4	像素级融合	(57)
3.6.5	特征级融合	(58)
3.6.6	决策级融合	(59)
3.7	各传感器有效覆盖区域的配准和对覆盖区域大小的考虑	(59)
3.8	小结	(60)
	参考文献	(61)
第4章	贝叶斯推理	(64)
4.1	贝叶斯法则	(64)
4.2	贝叶斯推理和经典概率推理的比较	(65)
4.3	用来自两个传感器的不同类型的量测数据提高矿物的检测率	(69)
4.4	小结	(72)
	参考文献	(72)
第5章	Dempster-Shafer 算法	(74)
5.1	算法概述	(74)
5.2	算法的实现	(75)
5.3	支持度、似然度以及不确定区间	(76)
5.4	用 Dempster 规则融合多传感器数据	(79)
5.5	Dempster-Shafer 与贝叶斯判决理论的比较	(82)
5.6	小结	(83)
	参考文献	(83)
第6章	人工神经网络	(85)
6.1	人工神经网络的应用	(85)
6.2	自适应线性组合器	(86)
6.3	线性分类器	(87)
6.4	线性分类器的容量	(88)
6.5	非线性分类器	(88)
6.5.1	Madaline	(88)
6.5.2	前向网络	(90)

6.6	非线性分类器的容量	(91)
6.7	有监督和无监督学习	(92)
6.8	有监督学习规则	(93)
6.8.1	μ -LMS 最快速下降算法	(94)
6.8.2	α -LMS 误差修正算法	(94)
6.8.3	μ -LMS 算法和 α -LMS 算法的比较	(95)
6.8.4	Madaline I 和 II 误差修正法	(95)
6.8.5	感知器规则	(96)
6.8.6	后向传播 (BP) 算法	(97)
6.8.7	Madaline III 最快速下降法	(98)
6.8.8	死区算法	(99)
6.9	其他人工神经网络	(100)
6.10	小结	(102)
	参考文献	(102)
第 7 章	表决融合	(104)
7.1	传感器目标报表	(105)
7.2	传感器检测空间	(106)
7.2.1	检测空间的文氏图表示	(106)
7.2.2	信任级别	(106)
7.2.3	检测单元	(107)
7.3	系统检测概率	(108)
7.3.1	在信任级别不相交的情况下推导系统检测率和虚警率	(108)
7.3.2	传感器各信任级别与对应的检测率和虚警率之间的关系	(110)
7.3.3	条件概率的估计	(110)
7.3.4	虚警率	(111)
7.3.5	检测率	(112)
7.3.6	计算多传感器系统检测率的小结	(112)
7.4	应用实例	(113)
7.4.1	满足虚警率的要求	(113)
7.4.2	满足系统检测率的要求	(114)
7.4.3	从实例中观察到的现象	(115)
7.5	传感器逻辑表决融合的硬件实现	(116)
7.6	表决融合与 D-S 证据理论的比较	(117)
7.7	小结	(117)

参考文献	(118)
第8章 模糊逻辑和模糊神经网络	(119)
8.1 模糊逻辑能提供合适解的条件	(119)
8.2 模糊逻辑应用于汽车反锁刹车系统	(120)
8.3 模糊系统中的基本元素	(120)
8.4 模糊逻辑处理过程	(121)
8.5 模糊质心的计算	(122)
8.6 用模糊逻辑来控制倒立摆的平衡	(124)
8.6.1 常规数值解	(124)
8.6.2 模糊逻辑解	(125)
8.7 模糊逻辑用于多目标跟踪	(128)
8.7.1 常规卡尔曼滤波器	(129)
8.7.2 模糊卡尔曼滤波器	(130)
8.8 模糊神经网络	(134)
8.9 小结	(135)
参考文献	(136)
第9章 确定目标位置的被动数据关联	(138)
9.1 直接接收信号融合	(140)
9.1.1 序列处理技术	(141)
9.1.2 系统设计的几个主要方面	(143)
9.2 角度数据融合	(144)
9.2.1 目标位置的解空间	(145)
9.2.2 0-1 整数规划算法研究	(148)
9.2.3 松弛算法的研究	(152)
9.3 分布式融合体系结构	(153)
9.3.1 方向角度航迹关联的局部优化	(154)
9.3.2 方向角度航迹关联的全局优化	(155)
9.4 使用单个传感器的角度航迹计算目标径向距离	(157)
9.5 小结	(158)
参考文献	(159)
附录A 普朗克辐射定理和辐射转移	(161)
附录B 传感器信任级别相交时的表决融合	(166)

第1章 概述

在天气预报、交通管制、战场态势估计、目标分类与跟踪等民用和军事领域中，多传感器数据融合技术得到了广泛的重视和应用。对整个多传感器关联数据处理系统产生影响的因素主要有：对要探测的目标及其所处背景的了解程度、传感器的选用、信号处理的各种算法、在检测环境中隐含的某些统计信息、能够利用的通信方法以及最后所用的融合手段等，这些因素决定了这套融合系统是否具有合理而完善的设计，并且具有最佳的性能价格比。

本书对上面提到的各领域都进行了讨论，但重点放在了以下几个方面：电磁传感器能响应的物理信号，大气的影响；数据融合算法及目标检测、分类、识别及跟踪框架的构造。传感器获得的信号及数据主要与以下几个因素有关：

- (1) 传感器接收能量的类型（例如：电磁、声、超声波、磁信号、地震信号等）；
- (2) 传感器的工作类型，即主动式或被动式，以及传感器工作的中心频率、极化情况、带宽及入射角等；
- (3) 传感器对应于目标尺寸的空间分辨率；
- (4) 目标与传感器的运动状态；
- (5) 恶劣天气、杂乱回波及反测量的影响。

虽然本书重点介绍能被电磁式传感器响应的物理信号，但对于能被其他类型传感器检测到的信号，如声波、超声波、磁信号、地震信号等也可以构成多传感器数据融合系统。而后者类型的多传感器系统在民用领域中，除了应用于地理研究外，还可用于对道路上行驶的车辆或在跑道中滑行的飞机的探测。在军用领域中，多传感器系统用于对地上或地下目标的检测和分类。由非电磁类传感器获得的信息当然也可以作为整个多传感器体系结构的一部分。

如果事先对信号的产生过程或对可测量的“量”的性质都清楚的话，那么我们就可以设计出一个多传感器系统，该系统能捕捉到物理现象各个方面所特有的一些性质。具体做法是我们可以选择多个传感器，分别响应对应的物理属性，这时这些传感器的输出合并融合后所得到的结果就能免受恶劣天气、杂乱回波和各种反测量等干扰因素的影响。在通常情况下，经过多传感器数据融合处理后的结果能提供其他单传感器系统所不能得到的知识，或者至少经过数据融合处理后的结果，其精度要比单传感器系统高很多。这里举一个多传感器数据融合的例子，通过融合位于太空中多个传感器的输出，这里传感器为空间可见/红外图像分光计（AVIRIS），来探测地球上的植被状况。AVIRIS 系统中含有 224 个传感器，每个传感器探测特定的波长，范围近似为 10 nm，而所有传感器把 380~2 500 nm 的波长范围全部覆盖住。数据融合也可以提高导弹的跟踪精度及摧毁目标的能力。导弹性能的提高主要是通过具有



高低分辨率的传感器之间传递信息实现的。低分辨率的传感器用于优化整体搜索，而高分辨率的传感器用于找到要攻击目标的特定区域。

本书所采用的数据融合的定义来源于美国国防部数据融合实验室小组推荐的定义：

数据融合是一个多级、多层面的数据处理过程，主要完成对来自多个信息源的数据进行自动检测、关联、相关、估计及组合等处理。

数据融合是一个多学科的研究领域，有些学科相对成熟，有理论基础支持其具体应用，如贝叶斯推理、多传感器、多目标跟踪等，也有些学科相对不够成熟，主要集中在启发式推理理论及其他一些特殊方法。

融合结构的设计，主要依据特定的应用场合、传感器的分辨率以及可以利用的信息处理资源等因素。

(1) 应用场合：相对于目标跟踪系统来说，自动目标识别系统的各传感器在处理他们各自的数据时具有更大的自主权。在自动目标识别系统中，大多数相对自主传感器的处理结果甚至可以和以前不属于该融合体系结构中的传感器的输出进行融合。但对于许多目标跟踪问题来说，只有将未处理过的多个传感器数据集中合并后再去识别一条新的航迹或与一条已经存在的航迹相关联，才会得到更加可靠的航迹估计值。

(2) 传感器分辨率：如果传感器可以分辨出我们感兴趣目标所占的多个像素（图像级），那么这些传感器数据就可以按照像素对像素的办法合并起来，产生一个新的融合图像。利用这个新的融合图像就能够分析出所感兴趣的目标是否出现。我们还有另外一种分析方法，具体步骤为：①从每个传感器数据中提取特征；②将这些特征组合后形成一个新的维数更大的特征向量；③随后基于该向量来确定目标的所属类别，比如我们可以将该向量输入给一个基于统计的算法来确定目标的分类。

(3) 信息处理资源：如果每个传感器都具备充足的处理资源，则每个传感器可以用来对数据进行预处理。在这种情况下，由每个传感器获得的检测和分类预决策信息被送到一个融合处理器以得到最终的分类结果。如果各个传感器分布在一个相对比较大的区域，但是具备高的数据传输率和宽带通信媒介，那么系统就有能力传输未作处理的原始数据到融合中心，这样，我们可以实现一个更加集中的数据处理与融合算法。

第2章将讨论能产生信号的物理现象以及与多传感器系统有关的优点。其他的章节则分别讨论多传感器数据融合处理的结构，适用于目标自动识别、目标跟踪估计以及态势估计的各类算法。而贝叶斯方法、D-S证据理论、表决逻辑、模糊逻辑等融合方法将在各自章节中详细讨论。这些方法其实有一个共同特点，即都需要来自于设计者的专家知识或信息来确定各算法中所需对应的先验概率和似然函数、概率分配值、信任级别、隶属函数以及产生式规则。对于其他算法，如经典概率推理、基于知识的推理及模式识别等，也需要设计者事先假定概率密度函数、规则及其他相关的参数才能进行实际操作。所以，数据融合算法的实现要依赖于设计者的专门知识、对工作环境的分析以及传感器数据所提供的信息类型等。



第 2 章将说明在恶劣天气条件、密集回波及反测量的干扰背景下,多传感器系统在目标定位、跟踪方面所表现出来的优越性。我们将描述大气层、目标所处的背景环境以及目标本身所具有的不同属性,为它们建立模型从而可以计算信号经过大气层时,其吸收、散射和传播的毫米波或红外能量的多少。这些属性信号当然可以被主动式或被动式的电磁传感器检测出来。

第 3 章将探讨传感器与数据融合系统的构成,并分析不同类型的融合算法在目标自动探测、分类及跟踪估计方面的应用。本章也说明了对数据融合方法进行分类的几种方案,这些方案是基于:①传感器数据是在何处处理和融合的;②在融合之前数据预处理的程度。本章也讨论了这些方案的具体实现和应用。

第 4 章将讨论贝叶斯推理方法,它是一种属于统计意义上的数据融合算法。贝叶斯推理的理论基础是贝叶斯定理,即在出现证据的条件下,计算假设事件为真的条件概率或后验概率。与此相对应,传统的概率推理方法是在给定的假设事件下,计算本次量测是来源于某一目标或事件的概率。本章还给出了一个双传感器矿产探测装置的例子,说明如何运用贝叶斯推理来实现数据的融合。

第 5 章将讨论 D-S 证据理论的算法,在此方法中,传感器把检测或分类信息归结为传感器自身知识的多少,而 D-S 方法的一个重要特点就是能够将传感器的一部分知识分配给不确定,这个不确定其实就是指组成决策空间的所有可能事件。正是在这个方面 D-S 理论与贝叶斯推理是有明显区别的。

第 6 章将介绍人工神经网络及一些用来训练线性或非线性的单层或多层网络的常用学习算法。对于有监督学习算法主要包括最小均方误差(这里误差是指理想输出和网络的实际输出之差)、感知器规则及后向传播(BP)算法,这种 BP 算法可以使隐层神经元的权值达到最优。本章还介绍了其他的非线性训练算法以及使用无监督学习算法的神经网络。

第 7 章将讨论由布尔代数导出的表决算法。这里每个传感器使用各自的算法来处理自己所得到的信息,这些算法是经过精心调整以适应各个传感器不同的分辨率、扫描速度和数据处理的能力,最后将各个传感器的输出信号作为融合算法的输入。在融合算法中,各传感器的输出或并行或串行地进行组合,最后完成对目标所属类别的判定。

第 8 章将讨论模糊逻辑与模糊神经网络。当输入变量没有一个明确的边界或对某一问题无法建立起精确的数学模型时,模糊逻辑方法就显示出其优越性。当问题比较复杂且是高维问题时,用模糊逻辑方法可以减少为求其解而需要的计算时间。根据模糊集合理论,在某一模糊集中的某一元素的隶属度是对该元素属于该集合的一种度量,而且一个元素可能属于多个不同的模糊集合。模糊逻辑允许在控制语言中,即产生式规则,也称作为模糊关联记忆中,包含有不精确的状态变量。本章还讨论了几种解模糊的方法,即将输出的模糊值转化为能够被控制系统直接使用的固定的离散控制量。本章给出了倒立摆的平衡和用卡尔曼滤波进行航迹估计的两个例子,用以说明模糊逻辑的广泛应用。同时,本章还讨论了模糊神经网络



系统，这些系统依赖于每个时刻的训练样本和所采用的网络学习算法。

第 9 章将给出三种融合框架结构，这三种结构适用于融合被动式传感器的（角度）数据来定位和跟踪本身发射能量的目标。本章的部分内容是由在 Hughes Aircraft 公司（现称为 Raytheon Systems 公司）工作的 Henry Heidary 撰写的。从理论上讲，任何形式的发射能量（微波、红外、可见光、声音、超声波、磁等），都可以由按照某种阵列排列的被动式接收器进行定位。本章讨论的三种方法只需要使用被动式接收器接收到的（角度）数据，来对发射物的径向距离进行估计。其中有一种方法直接运用接收到的未作处理的信号波形进行分析，而另一种方法是关联多传感器的高低角和方位角量测值来估计发射物的径向距离。第三种方法使用分布式信息处理结构来关联多条角度航迹，这些角度航迹是在各单传感器中计算得到的。每种方法对信号处理及对通信的要求在本章中也进行了分析。

第2章 多传感器系统的应用及优势， 大气对信号的衰减作用

毫米波（MMW）传感器和红外（IR）传感器在自主式多传感器系统中经常被组合使用，这是因为对它们的工作频率可以设计成互补状态。如果仅用一个传感器往往难以实现对目标的辨识，使用多个传感器，收集来自多种物理现象产生的信号，就可以比较容易地实现对目标的辨识。通过使用足够宽的电磁波频率范围，即使在恶劣天气、密集回波和干扰环境下，我们仍然可以对目标实现相对高的检测率和分类，同时使错误率控制在一个可以接受的范围。运用多个传感器获得的信号也扩展了信息检测范围，从而可以提高对敏感区域目标的定位能力。这一点对于智能武器是相当重要的，因为自主式传感器在不需要人工干预的条件下可以引导该武器攻击目标。同样，多传感器系统在民用领域也有广泛的应用，例如使用空间多传感器系统进行天气预报和地球资源勘探等。在这里，各窄带频段的多个接收器装置，如主动式雷达发射器、被动式雷达接收器以及红外和可见光传感器可以提供多种物理量的数据，如温度、湿度、雨量、风速、暴风雨轨迹、雪和云的覆盖情况以及作物的类型和成熟度等。声波、超声波、磁场以及地震波等物理信号同样在军用和民用领域中有广泛的应用。但本书对这些信号不作介绍，而这些信号数据也可以和其他类型传感器的数据进行融合，方法可以采用本书后续章节中介绍的算法和结构。

通常一个传感器由两部分组成，一是前端电路装置，称之为感应器；一是数据处理器。感应器把进入传感器中的能量转化为信号，据此信号可以在数据处理器中将目标和背景的分离信息进行抽取。导引头实际上是一个带有扫描能力的传感器，增加扫描功能是为了扩大搜索的范围。搜索器采用的形式可以是：放在单轴或多轴平衡环上的多个传感器；接收大范围反射信号的红外检测器阵列；对频率敏感的天线阵列，该阵列的指向随着发射频率在某一时间间隔内扫过时而改变。

2.1 多传感器系统中数据融合的应用

多传感器数据融合的一个应用是智能武器。通过由多个传感器获得的关于目标的实时航迹估计及分类信息，能够实现对导弹或各种弹头的精确制导，同时还能减少由于人工操作而带来的风险和伤亡。多传感器数据融合的另一个应用是使用位于不同平台的传感器（地面、空中、海上、空间或任何组合）或者使用同一平台的多个传感器，实现对飞机或导弹的跟踪。在不同位置的地方配置多个传感器可以减少传感器中的目标被遮挡的时间，从而使目标的航



迹数据在更长的飞行时间范围内有效。把来自不同传感器的航迹文件进行综合考虑，然后得到最终的航迹文件，这一处理过程就涉及到了数据融合的技术。在一个多传感器系统中，可能需要一个大视野的传感器来对大范围区域进行搜索，而我们所重点关心的区域也可能是其中一部分，所以需要把这一部分区域让具有更高分辨率的传感器进行搜索，以获取更高精度的目标航迹和身份信息。把我们感兴趣的区域让具有更高分辨率的传感器进行搜索处理，能充分利用数据融合的功能。

为了增加目标信号被检测到的概率，我们往往采用多个传感器的组合，因为多个传感器能对不同的物理信号进行分别响应。有时某个传感器在某些气候、回波或干扰背景下无法检测到目标，但加上其他类型的一些传感器就可以获得该目标的数据。有一个例子说明了多个传感器响应独立物理信号的情况，即雷达提供距离数据给具有更高分辨率的红外传感器，而这个距离信息正是红外传感器所不能得到的。通过选择合适的信号处理算法来组合距离数据和红外传感器提供的数据，我们就可以得到目标的实际尺寸这一新的信息。这种组合多种传感器数据的过程又要涉及到数据融合的技术。

表 2.1 列举了在精确制导武器中应用多传感器系统的一些功能。这些功能既可以用硬件实现也可以用软件实现，或者使用软硬件的组合来实现。当多个传感器数据支持同一项功能时，对这些传感器进行融合是不言而喻的。这些传感器的功能，除了应用于火控系统和制导系统外，还可应用于非军事领域中。例如，在某些智能交通系统中，实现在恶劣天气条件（如雨天和雾天）下对车辆的检测、分类和跟踪是很有必要的，而在这些恶劣天气下，车辆和其背景的区分度往往要被减弱，而需要传输的信号也往往要被衰减。

表 2.1 在精确制导的武器中传感器的功能及其实现

功 能	实 现
目标检测	多级门限（可以是双极性的门限）
虚警和漏检	数据处理
目标优先级	数据处理
反反量测	高分辨率传感器
	目标分类算法
	调整雷达的孔径
	——天线波束和旁瓣
	——IR 像素尺寸（瞬时视野）
	接收多个独立物理信号
	数据处理

