

第1章 绪论

1.1 引言

从广义上讲，多源数据的融合是人类智能的一部分。人们每天都在处理各种不同的信息，这些信息是异质的，有的时候甚至是矛盾的。比如，你的一个朋友跟你说的某件事情和另外一个朋友跟你说的同一个事儿可能并不是一样的，但是，我们都可以根据他们的信息给出我们自己的关于这件事儿的一些想法和看法。

作为一名技术，多传感器信息融合技术，也称多源信息融合技术、多传感器数据融合技术，是在 80 年代诞生的信息处理技术。目前，它已发展成为一个十分活跃的热门研究领域，是多学科、多部门、多领域所共同关心的高层次共性关键技术[1]-[8]。各国学者在不同应用领域进行研究，目前还没有统一的准确定义，也未形成完整的理论体系。人们普遍接受的定义是：信息融合是对来自不同信息源的信息进行处理，以获得更高质量的信息。

其实，多源信息处理的概念并不陌生，它是人类和动物的一项基本功能，也是人类智能活动的一部分。例如，人类可以综合利用身体的多种器官（如眼、耳、鼻、皮肤等）获得信息，准确识别周围环境和事件，同时做出分析、判断和决策。

随着自动化、智能化的发展，在工业、军事等领域，系统所包含传感器种类和数量越来越多。每种传感器都有一定的特点，往往只能在某一范围内、从某一方面精确描述被测对象，若受到外界噪声的干扰，有时还可能产生较大的测量误差，因此没有一种传感器可以保证在任何时候都能提供全面准确的信息。

多传感器信息融合就是综合利用各个传感器的信息，克服单个传感器的不确定性和局限性，提高整个传感器系统的有效性能，全面准确地描述被测对象。多传感器融合系统有很多优点，如[7]：

- （1）能够更加准确地获得被测对象或环境的信息，而且比任意单一传感器所获得的信息具有更高的精度与可靠性。
- （2）通过各传感器性能的互补，获得某单一传感器所不能获得的独立的特征信息；
- （3）根据系统的先验知识，通过对多传感器信息的融合处理，可以完成更加准确的分类、判断、决策等任务。

多传感器信息融合实质上是传感器信息处理的一种方法，信息的融合可在系统的不同层次上进行。按照传感器信息处理层次中的抽象程度，融合可分为若干层。但从不同角度，分层的方法也不尽相同，例如，[8] 中从军事应用的角度将系统分为检测级融合、位置级融合、属性（目标识别）级融合、态势评估与威胁估计等五个级别。现在更普遍的分法为信号级融合、特征级融合及决策级融合三个等级[9]。从系统结构上看，主要有集中式系统和分布式系统。

1.2 信息融合系统结构

不同结构的融合系统性能上有很大区别，融合系统主要有分布式和集中式两种结构。集中式融合系统只有唯一的一个融合中心，系统将所有的信息都直接送到融合中心，在融合中心完成多个传感器信息的融合。在分布式融合系统中，由若干局部融合节点和一个融合中心组成。通常假设各局部融合节点是相互独立的；对于给定的通信方式，设计融合中心以获得状态的最佳估计。

分布式融合系统中，融合节点有预处理的功能，信息在经过预处理后再传送给融合中心产生融合结果。由于对信息的进行了压缩与处理，这种融合方式降低了对通信带宽的要求，降低了造价，利用高速通讯网络可以完成非常复杂的算法，得到很好的融合结果。所以通常情况下，分布式融合是融合系统的首选。

但是分布式融合系统中，融合中心只能得到处理后的信息，因此，相对于集中融合系统，在性能上会有一定的损失。要保证分布式融合系统的融合性能，研究局部融合算法和全局融合算法就十分关键。此外，还有网络结构的研究，例如传感器网络在通信或某个传感器发生故障时的结构重构问题，以及融合节点间的通信与融合节点和融合中心间的通信对融合性能的影响等问题。

分布式系统还可以分为以下不同的结构：

（1） 无反馈层次结构

各传感器把各自的局部估计全部传送到融合中心以形成全局估计，这是最常见的分布估计系统结构。

（2） 有反馈层次结构

它与（1）的主要区别在于通信结构不同，即融合中心的全局估计可以反馈到各传感器局部融合节点，这种结构具有容错的优点。当检测出某个局部节点结果很差时，不必把它排斥于系统之外，而可以利用较好的全局结果来修改局部节点的状态。这样既改善了局部节点的信息，又可以继续利用该节点的信息。

(3) 完全分布式结构

在这种一般化系统结构中，各节点间由网状或链状等形式的通信方式相连接，一个节点可以享有与它相连的节点的信息。这也意味着各局部节点可以不同程度地享有全局的一部分信息，从而可能在许多节点上获得较好的估计。在极端情况下，每个节点都可以作为融合中心获得全局最佳估计。

1.3 信息融合技术的基本理论

多传感器信息融合的基本原理就像人脑综合处理信息的过程一样，充分利用多传感器资源，通过对各种传感器及其观测信息的合理支配与使用，将各传感器在时间上的互补与冗余信息依据某种优化准则组合起来，产生对观测环境的一致性解释和描述。信息融合的目标是基于各传感器分离观测信息，通过对信息的优化组合导出更多的有效信息。这是最佳协同作用的结果，它的最终目的是利用多个传感器共同或联合操作的优势提高整个传感器系统的有效性。

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过程的一种低水平模仿，而多传感器信息融合系统则是通过有效地利用多传感器资源最大限度地获取被探测目标和环境的信息量。多传感器信息融合与经典信息处理方法之间也存在本质区别，其关键在于信息融合所处理的多传感器信息具有更复杂的形式，而且通常在不同的信息层次上出现[10]，寻求合理、高效的融合算法对融合系统的性能起到关键的作用。不合理的融合算法有可能造成数据“富有”但信息“匮乏”的情况，因此，多传感器信号处理方法是信息融合理论的研究关键[11][12]。

1.3.1 信息融合的基本数学方法

用于信息融合的基本数学方法必须有两个功能：1) 能表述所有的测量数据；2) 能将这些数据有机地融合起来。将这两步结合起来，可以将各种不同类型的信息进行分解、融合。目前，信息融合主要有以下几种基本方法：

(1) 贝叶斯公式及卡尔曼滤波器

这类方法在信号级融合中应用得十分普遍，缺点主要是要求已知数据的先验概率及精确的系统数学模型。

(2) 证据理论

证据理论是一种决策理论，与概率决策理论（如贝叶斯理论）相比，它不但能

够处理不确定，而且能够处理“不知道”，它能满足比概率论更弱的公理体系。目前是决策级融合的一个应用十分广泛的方法。

（3）模糊集理论

模糊逻辑是对模糊的、自然语言的表达和描述进行操作与利用。它允许在模糊系统中纳入尝试和自学习规则，并意味着一个学习模块能够用一个模糊规则集合来解释其行为。因此，从它诞生之日起，便是一个备受关注的数学工具。在信息融合领域中，主要是与特征联系起来，进行特征的融合和判断。

（4）神经网络

近年来，神经网络在信息处理方面的应用越来越引起人们的关注。神经网络本身具有非线性逼近性能，通过学习和训练可以有效的逼近输入输出的未知关系。在信息融合技术中，主要是应用于特征级融合和决策级融合。

（5）小波分析

由于多源信息融合强调的是多源信息，包括同类或异类的信息源，无论信息以信号形式还是以图像形式表现，都有可能出现不同分辨率的信息。小波变换可以在时间域—频域充分检测信号的基本特征，具有“自适应性”及“数学显微镜”的性质，是目前公认的研究多分辨率信息的好方法。近年来，多分辨率的信息融合已受到人们的重视。

1.3.2 信号级融合

信号级融合是对传感器的原始数据进行融合，属于低层次的融合。包括检测级融合、数据关联及状态融合。它处理同质数据，能够提供其他层次融合所不能具有的细节信息，所以数据量大，代价高。

检测级融合是直接在多源信息系统中的检测信号上进行融合。在经典的多传感器检测中，所有的局部传感器将检测到的原始观测信号全部直接送给中心处理器，然后利用由经典的统计推断理论完成最优目标检测任务。在多传感器分布检测系统中，每个传感器对所获得的观测先进行一定的预处理，然后在某一中心汇总和融合并产生全局检测判决。如图 1.1 所示， N 个局部节点 S_1, S_2, \dots, S_n 在收到未经处理的传感器原始数据 Y_1, Y_2, \dots, Y_n 之后，做出局部检测判决 u_1, u_2, \dots, u_n ，然后，它们在检测中心通过融合得到全局判决 u_0 。一般有两种形式的融合结果，一种是硬判决，即融合中心给出 0、1 形式的判决结果，另一种是软判决，融合中心除了给出硬判决信息外，还处理来自局部节点的统计量。

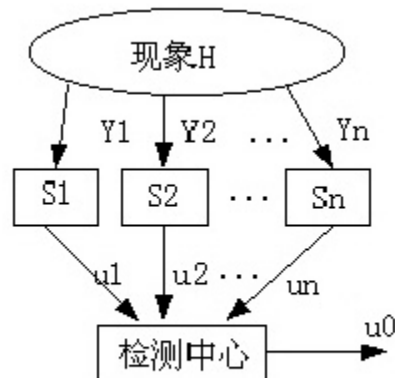


图1.1 分布式检测级融合结构

数据互联问题产生于传感器观测过程的不确定性。实际的传感器系统总是不可避免地存在测量误差，由于缺乏被测环境的先验知识，人们往往不能确指目标的个数，无法判定观测数据是由真实目标还是由其他虚假目标产生的，甚至不能判断是哪一个目标的数据。这些不确定因素破坏了观测与其目标源之间的对应关系，导致了多传感器多目标数据互联关系的模糊性。

在实时的多传感器系统中，由于噪声的干扰和传感器自身特性的不同，从不同传感器传来的测量信息必然不可能完全相同，而来自同一目标的信号也必定因其物理来源相同而具有一定的相似性，数据互联正是利用这种相似性找出源自同一目标的信息。

数据互联问题广泛地存在于多传感器融合的各个过程。如多目标跟踪过程中的新目标检测，需要在多个采样周期之间进行“观测—观测”的数据互联，以便为新目标建立起始航迹提供充分的初始化信息；而观测数据的直接融合也需要“观测—观测”互联，以稳定航迹生存周期。为了跟踪航迹，维持跟踪的连续性，还需要进行“观测—观测”的互联以确定用于航迹修正的新的观测数据。

如果已判断出哪几个传感器传来的数据源于同一个目标，接下来要解决的是状态融合估计问题。融合估计问题与融合系统结构密切相关，在分布式融合系统中，各传感器先完成状态估计，也就是时间上的信息融合，然后各个传感器把获得的状态信息传送至融合中心，并在融合中心完成坐标变换、时间校正，最后将来自同一目标的状态估计进行融合，实现状态的空间上的融合。在集中式位置级融合系统中，首先对观测的测量点迹进行时间融合，然后把各个传感器在同一时刻对同一目标的观测送至融合中心进行空间融合。

1.3.3 特征级融合

所谓特征是能表示研究对象性能、功能、行为等，并因而使其与其它对象相似或相异的信息。特征级融合属于中层融合，方法是先从各传感器提供的原始数据中提取一组特征信息，然后对各组特征信息进行融合。

特征级融合与通常所说的多属性决策不同，它通常包括以下三个步骤[8]：

- (1) 首先把有量纲的各个属性映射到 $[0, 1]$ 区间，成为一无量纲的量，用以反映各个属性的信任度或可能性；
- (2) 然后按一定的融合规则对反映各个属性的信任度或可能性进行融合，得到定量反映各备选方案信任度或可能性的大小；
- (3) 最后，根据融合的结果做出决策。

在上述三个步骤中，最关键的是第二步，第一步是实际应用中面临的关键问题，它没有固定的模式可循，是一个与具体应用密切相关的问题，要根据具体情况而定；第二步与第一步密切相关，虽然目前已有许多可用于属性融合的方法，但要根据第一步的结果进行选择。

目前，属性融合的应用领域大多是在军事范畴，如雷达辐射源等。如将某一种型号的雷达称为一个类，把一部雷达在信号空间上的一个工作点称为雷达的一个特征向量。

由于军事上保密的需要以及雷达信号环境的日益复杂，使得构成特征向量的特征参数具有一定的模糊性，因此，可认为特征参数均是模糊数，已知的特征向量和观测特征向量都是模糊数向量。基于模糊集理论的属性技术主要是不确定推理方法、可能性理论、模糊加权方法及模糊综合函数方法等[8]。

从理论上讲，神经网络在解决复杂分类问题时具有高速度、容错性、适应性及对噪声或不完全数据不敏感性等特点，因而把神经网络用于解决复杂的雷达模式分类问题具有较大潜力。但目前，当雷达数量增加时，存在学习训练时间长和性能降低等问题。因此，使用神经网络进行属性融合仍需要进一步完善。

1.3.4 决策级融合

决策级融合是高层次的数据融合。原理为将来自各种传感器的数据通过各自的预处理机构进行预处理后对目标进行独立的决策，然后对各个独立决策进行融合，从而获得整体一致性的决策结果。

在军事领域中广泛使用的“态势和威胁估计（STA）”就属于决策级信息融合。通过综合敌我双方及地理、气象环境等因素，将所观测到的战斗力量分布与作战意图有机地联系起来，分析并确定事件发生深层原因，得到关于敌方兵力结构、使用特点的估计，最终形成战场综合态势图。并在此基础上，综合敌方破坏能力、机动能力运动模式及行为企图的先验知识，得到敌方兵力的战术含义，估计出作战事件出现的程度，并对作战意图作出指示与告警。

态势和威胁估计是战场中的高层次信息处理过程，具有多级融合、多功能信息处理的特点，必要时，还受心理学的影响。因此，STA 融合过程十分复杂，是信息融合技术研究的薄弱环节。

1.3.5 信息融合系统中的传感器管理

随着信息融合技术的系统结构、性能、算法等研究的日益深入，目前传感器管理（SM）越来越引起人们的兴趣。传感器技术的日益发展，使多传感器系统变得更加复杂，随着工程实践的应用，被测量环境的复杂程度日益提高，因此，SM 是实际多传感器系统设计与正常工作的需要。

多传感器系统中的多个传感器构成了互补系统，为获取最优的测量性能，必须按照适当的准则管理这些传感器。根据不同传感器各自的性能及所担负的任务的不同，对传感器的管理也不同，但管理的内容大体相同，一般包括[13]：

空间管理：对监测应用来说，传感器的视野必须有规律地移动，以便搜索和截取新的目标；或者有规律的再现目标点，以获得一条运动目标的轨迹。这类管理主要应用于轨迹跟踪系统，用于指定非全向传感器的检测方向。

模式管理：即选择传感器的工作模式，包括选择传感器的孔径（FOVS）搜索模式、信号波形、功率大小和处理技术等。这类管理一般是位于同一平台上的多传感器系统，通过传感器管理有效地利用各个传感器的不同特性和时间。

时间管理：即多传感器系统中的各个传感器必须保持同步，对传感器操作进行定时管理，主要应用于分布式传感器网络。在这种系统中，需要知道各传感器的位置坐标，以便控制多个传感器检测同一目标，获取目标的定位数据，以及当目标从一个传感器视野进入另一个传感器视野时，后者可取代前者对目标继续进行检测。

在上述三类应用中，传感器资源管理的目的，就是要充分利用有限的传感器资源，尽可能相互协作，同时检测多个目标和扫描整个空间，以便获得最优的目标探测性能。

1.4 信息融合技术的应用

1.4.1 防御系统

信息融合的第一个应用领域是军事上的应用，美国早在 1973 年就在国防部的资助下开展了信息融合技术的研究。军事防御系统是一个非常典型的信息融合系统，例如，发现、识别、跟踪敌机，军事上广泛使用雷达、红外探测仪、声纳及其它传感器，不同信息都被传输到融合中心进行处理[14] -[18] 。

军事上的另一个应用是战场监督，例如，态势估计和威胁估计。这些都是基于敌方和作战地区的先验知识，但这些知识往往是不确定和模糊的。在实战中，天气和航线方面的情况可以作为补充。除此之外，还需要身份上的识别，如根据俘虏的声音、相貌及体态特征判断是否是某一关键人物[8] 。

1.4.2 工业过程及经济领域

信息融合技术应用于民用中较早的是矿藏的检测。检测中使用金属探测仪、红外摄像机及地下探测雷达提高检测率。另一个民用应用是在高速公路上自动探测车辆记录违章汽车，将信号与图像信息在决策级融合[19] -[21] 。在工业过程中，信息融合已广泛应用于大型设备的运行状态监控。例如，监视刀具的磨损程度、设备的故障诊断、高精度检测及工业过程的可靠性评估等[22] -[34] 。在经济领域，决策者们融合各种渠道的信息，其中包括数字的和语言描述的信息，对某一经济活动进行决策。另外，信息融合技术还用在铁路路基的位置设计及鱼群识别等。

1.4.3 机器人及智能交通

在这个领域，主要有两个问题要解决：1) 识别周围的环境；2) 实现无人驾驶。在行走机器人和智能交通应用之中需要安装多种传感器，主要包括两大类：一类是内传感器，如速度传感器、加速度传感器、角度传感器、位移传感器等；一类是外传感器，如视觉传感器（摄像机）、测距传感器（激光测距仪、超声传感器）、力觉传感器等。由于环境信息是动态的，信息必须实时采集这两大类传感器的信息，然后进行融合[35] -[39] 。机器人要解决的问题一般是定位、景物识别、路径规划和运动控制等问题。

在农业领域，无人驾驶小车装有三维摄像机和在一定范围的激光探测仪，能够自动驾驶[40]。无人驾驶农业装置将通过融合不同传感器的图像及信号分析地面的纹理探测需要开垦的块的边界。无人驾驶技术包括避免碰撞及轨迹跟踪。

1.4.4 防火

在现代防火系统中，往往使用各种先进的传感器进行火情检测，如温度传感器、地表湿度传感器、烟雾传感器及红外传感器等。温度传感器及地表湿度传感器测量气温和地表湿度，并以此来判断天气及地表对火情的影响，烟雾传感器、红外传感器监测火点的产生及火情的发展。这是一个典型的异类传感器融合系统。应用多传感器信息融合技术可以大幅度地提高火警检测的准确性[41]。

1.4.5 地球科学

地球科学通常指的是基于人造卫星及航天飞机所传递的图像研究地球。由于由各个信息源所得的图像有较大的差别，所以融合多源信息的十分必要的。该领域的主要任务是图像的分类及分析，融合之后的图像将更加清晰地分辨出道路、机场、山脉及冰川等。由于图像是由不同的图像采集系统得到的，分辨率不同，应用中往往利用小波变换技术将多分辨率的图像融合在一起，得到更清晰的图像[42]。

1.4.6 疾病诊断

近年来，信息融合技术在医学领域的应用日渐活跃，主要包括疾病诊断及人体结构的研究。在医学领域应用信息融合技术的前提条件是医学可视化及图像提取设备的发展，通过 X 光片图像及超声波图像融合能够更容易发现癌变组织，还能更清晰的对不同组织进行分类。通过融合血管造影术及超声波图像，可以重建血管的 3D 图像。信息融合技术还应用于研究脑组织的结构及睡眠状态的识别等。

1.4.7 其他

近年来，信息融合技术的应用领域不断扩大，尤其是民用领域。除了上述所提到的应用外，还有在电路系统[43]、模式识别[44]及复杂巨系统[45]中的应用等。

1.5 测量传感器的特点

参考文献

- [1] J. Linas, E. Waltz. Multisensor Data Fusion. Artech House, Noewood, Massachusetts, 1990
- [2] D. L. Hall., Mathematical Techniques in Multisensor Date Fusion. Artech House, Boston, London, 1992
- [3] 赵忠贵等编译, 多传感器融合, 电子工业部二十八所, 1993 年 2 月, 南京
- [4] 赵忠贵编译, 数据融合方法概论, 电子工业部二十八所, 1998 年 4 月, 南京
- [5] 康耀红, , 数据融合理论与应用, 西安电子科技大学出版社, 1997 年 11 月, 西安
- [6] 何友, 多目标多传感器综合算法研究, 硕士论文, 海军工程大学, 1988 年 2 月, 武汉
- [7] 王祁, 聂伟, 张兆礼, 数据融合与智能传感器系统, 传感器技术, 1998, 17 (6) , 51-53
- [8] 何友, 王国宏等, 多传感器信息融合及其应用, 电子工业出版社, 2000
- [9] L. Valet, G. Mauris, Ph. Bolon, A Statistical Overview of Recent Literature on Information Fusion, IEEE AESS Systems Magazine, March 2001, 7-14
- [10] 黄瑛, 多传感器数据融合系统的软件实现, 传感器技术, 17 (6) , 1998, 9-11
- [11] Eloi Bosse, Jean Roy, Stephane Paradis, Modeling and Simulation in Support of the Design of a Data Fusion System, Information Fusion, 2000(1), 77-87
- [12] Anlan N. Steinberg, Data Fusion System Engineering, IEEE AESS Systems Magazine, June 2001, 7-14
- [13] 刘同明等, 数据融合技术及其应用, 国防工业出版社, 1998
- [14] 郭志恒, 杨春英, 机载多传感器两种数据融合方法探讨, 电光与控制, 67 (3) , 1997, 14-19

- [15] 戴筠, 王建海, 分布序贯最近邻多目标跟踪算法, 系统工程与电子技术, 1998, 第 7 期, 11-14
- [16] 卢君明, 李瑞棠, 组网雷达自组织最小均方差数据融合算法, 西安电子科技大学学报, 27 (2), 2000, 161-165
- [17] 张军英, 多雷达站数据融合处理的聚类方法, 计算机仿真, 17 (3), 2000, 8-10, 26
- [18] Peter S. Maybeck, Robert L. Jensen, An Adaptive Extended Kalman Filter for Target Image Tracking, IEEE Transaction on Aerospace and Electronic System, Vol. AES-17, No.2, March, 1981, 173-179
- [19] Yong-Jian Zheng, Bir Bhanu, Adaptive Object Detection from Multisensor Data, Proceedings of 1996 IEEE/SICE/RSI International Conference on Multisensor Fusion and Intelligent Systems, 633-640
- [20] E. Jouseau, B. Dorizzi, Neural Network and Fuzzy Data Fusion. Application to an Online and Real Time Vehicle Detection System, Pattern Recognition Letters 20(1999), 97-107
- [21] 刘源, 谢维信, 多传感器图像模糊融合算法在图像识别中的应用, 西安电子科技大学学报 27 (1), 2000, 5-8
- [22] 宝音贺喜格, 黄文虎, 设备故障诊断的关联矩阵方法研究, 振动与冲击, 1999, 18 (1), 1-5
- [23] 张雨, 设备故障信息融合问题思考, 长沙交通学院学报, 1999, 15 (2), 22-29
- [24] 刘燕燕等, 数据融合技术在输电线网故障诊断中的应用, 信息技术, 2002, 第 8 期, 2-5
- [25] 张彦泽, 多传感器信息融合及在智能故障诊断中的应用, 传感器技术, 1999, 18 (2), 18-22
- [26] 赵方, 谢友柏, 油液分析多技术集成的特征与信息融合, 摩擦学学报, 1998, 18 (1), 45-52
- [27] 史天运等, 柔性加工单元的状态监测与故障诊断研究, 北京理工大学学报, 1998, 18 (5), 567-572
- [28] 董选明, 裘丽华, 基于 BP 算法的液压泵在线状态监测及故障诊断, 北京航空航天大学学报, 1997, 22 (2), 193-198
- [29] Wadi, R. Balendra, An Intelligent Approach to Monitor and Control the

-
- Blanking Process, *Advances in Engineering Software*, 30(1999), 85-92
- [30] P. G. Mathews, M. S. Shummugam, Neural-network Approach for Predicting hole quality in Reaming, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 39(1999), 723-730
- [31] Hrianmayee Vedam, Signed Digraph Based Multiple Fault diagnosis, *Computer Chem. Engng. Vol. 27*, 1997, 655-660
- [32] Shang-liang Chen, Y. W. Jen, Data Fusion Neural Network for Tool Condition monitoring in CNC Milling Machining, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 40(2000), 381-400
- [33] 钢铁, 吴林, 超声检测中的多源信息融合技术与缺陷识别, 1999, 35 (1), 11-14
- [34] 庄钊文, 郁文贤, 王浩, 信息融合技术在可靠性评估中的应用, *系统工程与电子技术*, 2000, 22 (3), 75-77, 80
- [35] 郭呈贺等, 多智能传感器的有限分散自治体系研究, *机器人*, 1997, 19 (1), 28-34
- [36] 罗志增, 蒋静坪, 基于 DS 理论的多信息融合方法及应用, *电子学报*, 1999, 27 (9), 100-102
- [37] 王祁, 聂伟, 基于信息融合技术的气体识别方法的研究, *机器人*, 1999, 21 (4), 288-293
- [38] 王祁, 聂伟, 张兆礼, 数据融合与智能传感系统, *传感器技术*, 17 (6), 1998, 51-53
- [39] 王志武等, 多传感器数据融合在切割机器人系统中的应用, *上海交通大学学报*, 36 (7), 2002, 995-998
- [40] Soo-Chang Pei and Lin-Gwo Lion, Vehicle-type Motion Estimation by the Fusion of Image Point and Line Features, *Pattern Recognition*, Vol.31, No.3, pp. 333-344, 1999
- [41] L. Vergara, P. Bernabeu, Automatic Signal Detection Applied to Fire Control by Infrared Digital Signal Processing, *Signal Processing*, 80(2000), 659-669
- [42] X. Dai, S. Khorram, Data Fusion Using Artificial Neural Network: a Case Study on Multitemporal Cjange Analysis, *Computer, Environment and Urban Systems*, 23(1999), 19-31
- [43] P. Arena, S. Baglio, Analog Cellular Networks for Multisensor Fusion and

Control, IEEE Transaction on Circuits and Systems-I: Fundamental Theory and Application, Vol. 47, No.9, September, 2000, 1378-1382

[44] 张九龙, 模式识别的最大熵方法, 2000, 29 (4) , 152-156

[45] 艾克武, 综合集成的内容与方法——复杂巨系统问题研究, 系统工程与电子技术, 1998, 7, 18-23