国防科技大学学报
JOURNAL OF NATIONAL UNIVERSITY OF DEFENSE TECHNOLOGY
第16卷第3期 1994年9月 Vol. 16 No. 3

多传感器信息融合技术述评*

郁文贤 雍少为 郭桂蓉

(国防科技大学自动目标识别重点实验室 长沙 410073)

摘 要 近十几年来，多传感器信息融合技术获得了普遍的关注和广泛的应用，其理论与方法已成为智能信息处理的一个重要研究领域。本文概述了信息融合的基本原理，从系统的信息层次和功能划分两个方面阐述了信息融合的基本结构，并对信息融合的具体方法及应用进行了层次化概括，较完整地展示了这一研究领域的全貌。最后进一步分析了信息融合研究领域所存在的一些主要问题，以此指明这一研究领域的发展侧重点。

关键词 多传感器，信息融合，系统

分类号 TH703,TP274

0 引 言

近二十年里，传感器技术获得了迅猛发展，各种面向复杂应用背景的多传感器信息系统也随之大量涌现。在这些系统中，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已大大超出人脑的信息综合能力，信息融合技术便应运而生。在公开的技术文献中，基于多传感器信息整合意义的融合一词最早出现在70年代末[1]。由于信息融合系统本身所具有的良好的性能稳健性、宽阔的时空覆盖区域、很高的测量维数和良好的目标空间分辨力以及较强的故障容错与系统重构能力等潜在特点，因此，自信息融合问题一开始提出，就引起了西方各国国防部门的高度重视，并将其列为军事高技术研究和发展领域中的一个重要专题。美国国防部早在1984年就成立了数据融合专家组(DFS, Data Fusion Subanal)，指导、组织并协调有关这一国防关键技术的系统性研究，从而在80年代中期，信息融合技术首先在军事领域研究中取得了相当的进展[2]。

由于信息融合的早期研究大多着重于增强计算能力和有效组合数据（信息）的具体方法，并且这些研究主要是基于军事应用背景，所以很长时期内其技术一直是处于封闭状态。随着研究的深入和应用领域的扩大，有关这方面的研究内容及成果才逐渐大量披露于各种学术会议和公开文献中。如美国三军数据融合年会，SPIE传感器融合年会，国际机器人和自动化会刊，以及IEEE的相关会议和会刊等；并使得各个领域的研究人员日益认识到信息融合技术的重要性。迄今为止，信息融合技术已成功地应用于众多的研究

* 1994年6月20日收稿

领域，Fusion 一词几乎被无限制地引用；这些领域主要包括：

机器人和智能仪器系统[3-8]

战场任务与无人驾驶飞机[2,4,9-14]

图像分析与理解[15-19]

目标检测与跟踪[20-27]

自动目标识别[28-32]

多源图像复合[33-35]

对于信息融合这样一个具有广泛应用领域的概念，必须要明确界定信息融合的内涵。从而将不同领域内的研究者对信息融合的理解统一在同一个结构框架中，以建立信息融合的结构体系，找出其内在的本质性，消除岐义，指导相应的研究课题和发展方向。本文概述了信息融合的基本原理，从系统的信息层次和功能划分两个方面阐述了信息融合的基本结构，并对信息融合的具体方法及应用进行了层次化概括，较完整地展示了这一研究领域的全貌。最后进一步分析了信息融合研究领域所存在的一些主要问题，以此指明这一研究领域的发展侧重点。

1 信息融合的基本原理和系统结构

各种传感器的信息可能具有不同的特征：可能是实时信息，也可能是非实时信息；可能是快变或瞬变的，也可能是缓变的；可能是模糊的，也可能是确定的；可能是相互支持或互补，也可能互相矛盾或竞争。而多传感器信息融合的基本原理或出发点就是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，使该信息系统由此而获得比它的各组成部分的子集所构成的系统更优越的性能。

由于在机器人研究领域多传感器信息融合技术得到了最广泛的直接应用，因此信息融合被比拟为是对人脑综合处理复杂问题的一种较全面的高水平的模仿[7]。而所有单传感器的信号处理或低层次的多传感器信息处理方式都是对人脑信息处理的一种低水平模仿。它们不能象多传感器信息融合系统那样有效地利用传感器资源，从而可以更大限度地获得有关被探测目标和环境的信息量。同时，多传感器信息融合与经典信号处理方法之间存在本质的区别，其关键在于信息融合所处理的多传感器信息具有更为复杂的形式，而且可以在不同的信息层次上出现。这些信息表征层次包括数据层、特征层和决策层(即证据层)。

通过对多传感器信息表征形式的研究，便能以增强系统的某种或几种形式的信息为准则，设计出融合算法。R. C. Luo 等人采用贝叶斯预测来融合一致传感器的数据[36]，以及田纳西大学的 M. A. Abidi 提出的在知识源确证和信任度增强/减弱两个准则约束下的模糊隶属度函数的融合[37]，都是这方面的典型例子。

对于具体的融合系统而言，它所接收到的信息可以是单一层次上的信息，也可以是几种层次上的信息。融合的基本策略就是先对同一层次上的信息进行融合，从而获得更高层次的融合后的信息，然后再汇入相应的信息融合层次。因此总的来说，信息融合本

质上是一个由低（层）至顶（层）对多源信息进行整合，逐层抽象的信息处理过程。但在某些情况下，高层信息对低层信息的融合要起反馈控制的作用，亦即高层信息有时也参与低层信息的融合。而且，在一些特殊应用场合，也可先进行高层信息的融合。由此我们可以概括出信息融合过程的基本模型，如图1所示。传感器各层次的信息逐次在各融合节点（即融合中心）合成；各融合节点的融合信息和融合结果，也可以交互的方式通过数据库/黑板系统进入其它融合节点，从而参与其它节点上的融合。由模型可见，系统的信息融合相对于信息表征的层次也相应分为三类：数据层融合、特征层融合和决策层融合；但这并不意味着每个融合系统必须包括这三个信息层次上的融合，它们仅仅是融合的一种分类方式。

多传感器信息融合的层次划分，对于我们设计融合系统结构，有效利用多传感器信息具有重要的指导意义。R. C. Luo 等人曾提出一种与本文类似的层次化融合结构[31]，论证了利用分布在同一地域内多个平台上的多传感器信息来进行融合和自动目标识别问题，指出融合的层次化结构能大大降低识别过程中每阶段所需的数据存储容量和在不同平台间进行信息（数据）关联所需的通信带宽；S. C. A. Thomopoulos 等也针对多传感器信息融合问题提出了类似的层次化划分方法[6]。

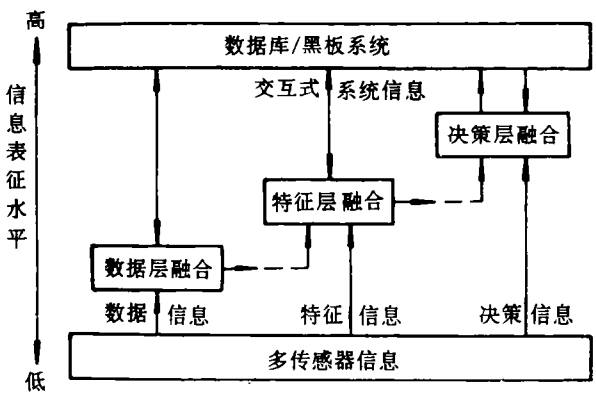


图1　多传感器信息融合层次化结构

多传感器信息融合不仅是一个信息处理的理论概念，同时也是一个系统概念。无论是单层融合还是多层融合，多传感器信息融合系统都必须具有以下的主要功能模块：

1. 传感器信息的协调管理

用于将多传感器信息统一在一个共同的时空参考系，把同一层次的各类信息转化成同一种表达形式，即实现数据配准。然后把各传感器对相同目标或环境的观测信息进行关联，一般称为信息关联；在目标跟踪领域也把它称之为数据关联。

2. 多传感器信息优化合成

依据一定的优化准则，在各不同的层次上合成多源信息。

3. 多传感器协调管理

包括传感器的有效性确定、事件预测、传感器的任务分配和排序、传感器工作模式和探测区域的控制等功能。

多传感器信息融合一方面强调对传感器信息的优化合成，另一方面也十分重视对传感器的优化管理，以使获得所探测对象的最大信息，从而达到对传感器资源的最佳利用和总体上的系统最优性能。

已有很多学者从不同角度提出了信息融合系统的一般功能模型，试图从功能和结构上来刻画多传感器融合技术[9][29][38][39][40]；最有权威性的是DFS（美国三军政府组织——

实验室理事联席会（JDL）下面的C³技术委员会(TPC³)数据融合专家组）提出的功能模型。上述这些功能结构模型可用如下统一的简化模型来表示。

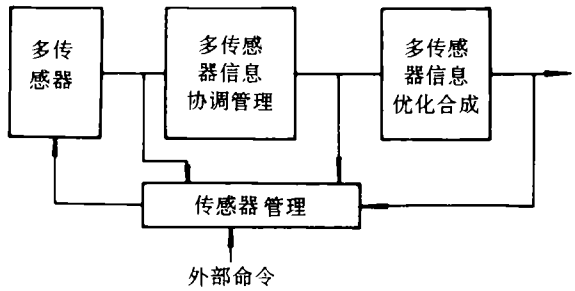


图 2　多传感器信息融合的功能模块结构

多传感器信息融合系统的结构模型应根据应用问题特性来灵活确定，但一般可分为集中式、自主式、混合式等；它们在信息损失、数据通信带宽要求、数据关联、处理精度等方面各有优劣。参考文献[10]对此有较详细的分析。

2　信息融合的基本方法与应用

多传感器信息融合在不同问题领域采用不同的实现形式，也使得我们难以对大量涌现的信息融合问题进行分类描述。一般说来，大多数的融合问题都是针对同一层次上的信息形式来开展研究的，因此，我们根据融合系统所处理的信息层次，对各种信息融合方法和具体应用进行分类描述。

2.1　数据层融合与应用

图 3 说明了数据层融合的基本内容。数据层融合通常用于多源图像复合、图像分析与理解等方面。

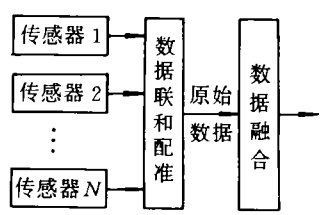


图 3　数据层融合

多源图像复合是将由不同传感器获得的同一景物的图像经配准、重采样和合成等处理后，获得一幅合成图像的技术，以克服各单一传感器图像在几何、光谱和空间分辨率等方面存在的局限性和差异性，提高图像质量[34]。美国陆地资源卫星（LANDSET），用多幅光谱图像进行简单的数据合成运算，取得了一定的噪声抑制和区域增强效果；F—16 战斗机上的“LANTIAN”吊舱将红外前视、激光测距、可见光摄像机等多种图像传感器数据统一迭加显示在飞机平显上，提高了低空导航和目标寻的的性能。美海军 90 年代在 SSN—691（孟非斯）潜艇上安装了第一套图像融合样机，可使操纵手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[35]。

图像分析与理解方面主要研究利用高分辨率扫描传感器（例如 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问题，如三维运动图像光流场的融合计算[15][16]、景深的合成[17]、利用多源图像所提供的边缘信息进行图像分割[18]、由有噪双目图像序列来重建三维场景[19]等。

除此之外，数据层融合还应用于研究同类型（同质）雷达波形的直接合成，以改善雷达信号处理的性能[31]。

数据层融合对数据传输带宽、数据之间的配准精度要求很高。例如在图像分析与理解中，为了再现立体图像的深度，必须首先识别出相应于物体上同一点像素[41][42]。从信

息融合的角度看，由于没有任何办法对多传感器原始数据所包含的特性进行一致性检验，因此数据层上的合成具有很大的盲目性。因而信息融合原则上不赞成在数据层上直接进行。但由于图像处理本身的特殊性，才保留了数据层这一带有浓厚图像处理色彩的融合层次。

2.2 特征层融合与应用

特征层融合可划分为两大类；一类是目标状态信息融合；另一类是目标特性融合。

(1) 目标状态信息融合

目标状态信息融合主要应用于多传感器目标跟踪领域；目标跟踪领域的大量方法都可以修改移植为多传感器目标跟踪方法。跟踪问题亦已有了一整套渐趋成熟的理论。因此通常能建立起一个严格的数学最佳解模型来描述多传感器融合跟踪过程。Bar－Shalom 曾在 1989 年就总结了该领域中的应用情况[24]；文献[25]对跟踪融合性能进行了严格的数学评估。

图 4 说明了特征层目标状态信息融合的基本内容。传感器输出的参量数据可以是角度（方位角或仰角）、距离等，也可以是被观测平台的参数矢量、立体像或真实状态矢量（三维位置和速度的估计）。融合系统首先对传感器数据进行预处理以完成数据配准，即通过坐标变换和单位换算，把各传感器输入数据变换成统一的数据表达形式（即具有相同的数据结构）。在数据配准后，融合处理主要实现参数关联和状态矢量估计。

参数关联把来自多传感器的观测与传感器各自的观察对象联系起来，各传感器观察分别组合在一起以保证这些观察组分别属于各自的观察对象。Blackman 等[26]对于密集目标环境下的多传感器参数关联问题作了十分详细的描述，并讨论了关联测度和跟踪门技术的选择和应用问题。一旦关于同一对象的各个观察相互关联后，就可以应用估计技术来融合或合成这些关联后的数据，以得到估计问题的解。由于计算上的好处，常见的是序贯估计技术，其中包括卡尔曼滤波和扩展卡尔曼滤波。

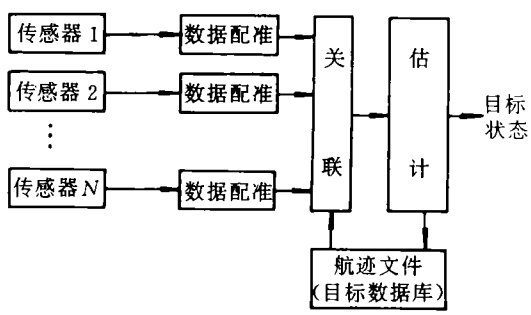


图 4 特征层状态信息融合

目前该领域发展所遇到的核心问题是如何针对复杂环境来建立具有良好稳健性及自适应能力的目标机动和环境模型，以及如何有效地控制和降低数据关联及递推估计的计算复杂性。

(2) 目标特性融合

特征层目标特性融合就是特征层联合识别，它实质上是模式识别问题。多传感器系统为识别提供了比单传感器更多的有关目标的特征信息，增大了特征空间维数。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关联处理，把特征矢量分类成有意义的组合，如图 5 所示。

对目标进行的融合识别，就是基于关联后的联合特征矢量。具体实现技术包括参量模板法[43][44]、特征压缩和聚类算法[45][46]、K 阶最近邻[47]、人工神经网络[32]，模糊积分[48]

等。除此之外，基于知识的推理技术也常试图被应用于特征融合识别，但由于难以抽取环境和目标特征的先验知识，因而这方面的研究仍仅仅是开始，至今尚未看到系统化的结果。

由上两个方面所述，特征层融合无论在理论上还是应用上都逐渐趋于成熟，形成了一套针对问题的具体解决方法。在融合的三个层次中，特征层上的融合可以说是发展最完善的，而且由于在特征层已建立了一整套行之有效的特征关联技术，可以保证融合信息的一致性，所以特征层融合有着良好的应用与发展前景。但由于跟踪和模式识别本身所存在的困难，也相应牵制着研究和应用的进一步深入。

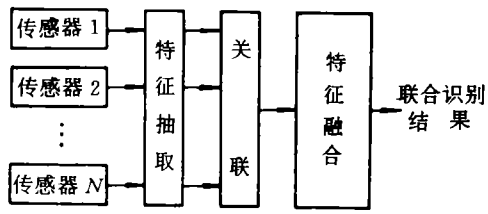


图 5　特征层目标特性融合

2.3　决策层融合与应用

图 6 说明了决策层融合的基本概念。不同类型的传感器观测同一个目标，每个传感器在本地完成处理，其中包括预处理、特征抽取、识别或判决，以建立对所观察目标的初步结论。然后通过关联处理、决策层融合判决，最终获得联合推断结果。决策层融合已有很多成功的应用实例，象战术飞行器平台上用于威胁识别的报警系统 (TWS)[13]、多传感器目标检测[20]、工业过程故障监测[49]、机器人视觉信息处理[36]等等。

决策层融合输出是一个联合决策结果，在理论上这个联合决策应比任何单传感器决策更精确或更明确。文献[50] [53]举例说明了决策层融合对正确决策概率的改善。决策层融合 所采用的主要方法有贝叶斯推断[54]、D—S 证据理论[55]~[57]、模糊集理论[58]、专家系统方法[59]等。其中 D--S 证据理论应用最为广泛，Thomopoulos[60]推广了贝叶斯推理，提出了基于硬判决的证据最佳组合方式，把 D—S 理论处理问题的灵活性和贝叶斯推断理论解决冲突命题的优点统一在一起；同时，在专家系统方法中，黑板模型以其灵活的知识控制策略，适宜于解决连续动态问题的优点，在融合应用研究中得到了重视[11]。另外，决策层融合还采用一些启发式的信息融合方法，来进行仿人融合判决[61]。

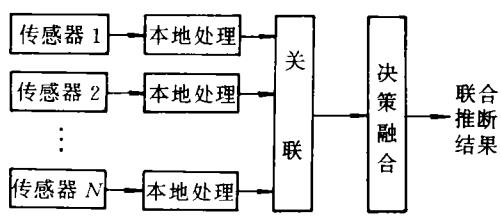


图 6　决策层融合

决策层融合在信息处理方面具有很高的灵活性，系统对信息传输带宽要求较低，能有效地融合反映环境或目标各个侧面的不同类型信息，而且可以处理非同步信息，因此目前有关信息融合的大量研究成果都是在决策层上取得的，并且构成了信息融合研究的一个热点。但由于环境和目标的时变动态特性、先验知识获取的困难、知识库的巨量特性、面向对象的系统设计要求等，决策层融合理论与技术的发展仍受到阻碍。

2.4　其　它

由于融合问题本身的复杂性，由上述三个层次来对融合问题作一个全面的概括还是不够的。象多层次混合结构的融合处理[62]，包括了多层次信息的合成；区间信息融合方

法则是重点研究各层次信息本身的中介过渡特性和各传感器观察随机误差(即测不准)等问题，以提高测量、估计或决策的可靠性[63][64]；此外还有多传感器信息的稳健融合研究[65][66]等等，这些方法都不能简单归类于某一个信息层次的融合问题，而可看成一种有关信息融合某类普遍性问题的研究。但这方面的工作还只是尝试性的，需要进一步拓展。

3 信息融合研究存在的问题和发展方向

虽然信息融合的应用研究已是如此广泛，但是信息融合问题本身却至今仍未形成基本的理论框架和有效的广义融合模型及算法[67]。其绝大部分工作都是针对特定应用领域内的问题来开展研究，也就是说，目前对信息融合问题的研究都是根据问题的种类，各自建立直观认识原理（即融合准则），并在此基础上形成所谓的最佳融合方案。如典型的分布式检测融合[21]，已从理论上解决了最优融合准则、最优局部判决准则和局部判决门限的最优协调方法，并给出了相应的算法[22][23]。但这些研究反映的只是信息融合所固有的面向对象的特点，也就难以构成信息融合这一独立学科所必需的完整理论体系。这一理论短缺现象阻碍了研究者对信息融合本身的深入认识，也使得信息融合在某种程度上仅被看成是一种多传感器信息处理概念；人们无法对面向对象的融合系统作出综合分析与评估，使得融合系统的设计带有一定的盲目性。因此即使少数学者曾探索了融合系统的性能评估问题[68]，但这类评估大多只是提出一些特定的系统性能指标，或针对特定应用背景来对某种具体融合算法进行分析[69][70]。

在进行融合处理前，必须对信息进行关联，以保证所融合的信息是有关同一目标或现象的信息，即保证融合信息的一致性。如果不同目标或现象的信息进入融合系统，将难以使系统得出正确结论，这一问题称为关联的二义性，是信息融合中所要克服的主要障碍。由于在多传感器信息系统中引起信息的不一致性，即关联二义性的原因很多，例如传感器测量的不精确性、干扰等，因此怎样确立信息可融合性的判断准则，如何进一步降低关联的二义性已成为融合研究领域亟待解决的问题。另外，冲突（矛盾）信息或传感器故障产生的错误信息等的有效处理，即系统的容错性或稳健性也是信息融合理论研究中所必须考虑到的问题。

少数已建成的信息融合系统[12]，仅仅是以一种简单的方式合成信息，还没有充分有效地利用多传感器所提供的冗余信息，而且许多研究工作仍属于试探性的，或是仿真性的。同时，信息处理其他领域的很多新技术也都可以借鉴到这一研究领域，例如，人工神经网络信息融合。因此目前在信息融合具体方法方面的研究也处于起步阶段。

需要指出的是，在信息融合系统设计方面也还面临很多实际问题。例如传感器测量误差模型的建立、复杂动态环境下的系统实时响应、大知识库的建立及其管理等等。在引人注目的BETA 系统(战场维护与目标探测系统)[71]研究中，研制者们就曾认识到信息融合这一新技术的复杂性和突出困难，并预示了将来的技术发展必须依据一种严格的系统工程方法。

综上所述，当前多传感器信息融合的研究侧重点和发展方向可归纳为：

1. 建立信息融合的基本理论；
2. 兼有稳健性和准确性的融合算法研究；

3. 大系统中的信息融合技术；
4. 人工神经元网络和规则库专家系统的应用；
5. 建立信息融合系统的设计和评估方法。

4 结 语

近十几年来，多传感器信息融合技术获得了普遍关注和广泛应用，其理论与方法已成为智能信息处理的一个重点研究领域。本文概述了信息融合的基本原理和融合系统的基本结构，较全面地分析了这一研究领域的现状和存在的主要问题，并总结了这一研究领域的发展侧重点。

总之，信息融合理论及方法的研究还只是开始，但它的很多初步的成功应用已显示出十分诱人的前景。

致谢：感谢国防科技大学四系陆仲良教授对本论文的撰写提出了许多宝贵建议。

参 考 文 献

1 Intelligence Fusion Pushed. Auiation Week and Space Technology, Jan. 29. 1979: 205～211;

2 J Linas. A Survey of Techniques for CIS Data Fusion. SAIC, ProcVIEE C³I Conf, Bournemouth;

3 R C Luo, et al. The Issues and Approaches of a Robot Multisensor Integration. Inter Conf on Robotics and Automation, Raleigh, 1987: 1941～1946.

4 R C Luo, et al. Multisensor Integration and Fusion: Issues and Approaches. Proc of SPIE, Vol. 931－23, Sensor Fusion, Apr. 1988: 42～49;

5 M T Miller, et al. Sensor－based control of robotic manipulators using a general learning algorithm. IEEE Journal of Robotics and Automation, 1987, 3 (2): 157～165.

6 S C A Thomopoulos. Sensor Integration and Data Fusion. Journal of Robotic Syetems 1990, 7 (3): 337～372.

7 A R June. A Framework for Automated Tactical Data Fusion. Proc of the First Tti－Service Data Fusion Symposium, Jt, Directors of Laboratories (Sponsor), Johns Hopkins University, MD, 1987

8 G Yates, et al. Autonomous Exploration System: Techniques for Interpretation of Multispectral Data. NASA, Ames Research Center, Mar. 1989: P65～66.

9 E Waltz. Data Fusion for C³I Systems. in the C³I Handbook EW Communications, Palo Alto, CA, 1986.

10 E Waltz, J Llinas. Multisensor Data Fusion, Artech House, MA. 1990

11 J Llinas, et al. Blackboard Concepts for Data Fusion and Command and Control Applications. International Journal on Pattern Recognition and Artificial Intelligence, Forthcoming, Spring 1992

12 Harris. Application of Artificial Intelligence to Command and Control System. IEE Int. Conf. on C3MIS. 1988

13 A N Steinberg. Threat Management System for Combat Aircraft. Proc. of the 1987 Tri－Service Data Fusion Symposium, Vol. 1 Johns Hopkins University APL, June 1987, Naval Air Development Center, Warminster, Pennsylvania. P528～543.

14 J A Dasaro. Increasing Helicopter Survirability Through Information Fusion, Annual Formu Proc. American Helicopter Society, Vol. 1, USA, 1990: 289～294.

15 Ajit Singh. Computing Image－flow and Scene－depth: an Estimation－theoretic Fusion-based Framework. Proc. of SPIE Vol. 1383, Sensor Fusion Ⅱ, 1990: 122～140.

16 Ajit Singh. An Approach to Fuse Correlation－based and Gradient－based Methods for Image－flow Estimation. Proc. of SPIE Vol. 1198 Sensor Fusion Ⅱ, 1989. 128.

17 Heinrich H Bulthoff, et al. Shape-from－X: Psychophysics and Computation. Proc. of SPIE Vol. 1383 Sensor Fusion Ⅱ, 1990: 235～246.

18 Guna Seetharaman, et al. Hierarchical Fusion of Geometric Constraints for Image Segmentation. Proc. of SPIE Vol. 1383, Sensor Fusion Ⅱ, 1990: 582～588.

19 Lang Hong. 3－D Scene Reconstruction Using Optimal Information Fusion. Proc. of SPIE Vol. 1383 Sensor Fusion Ⅱ, 1990: 333～344

20 Tao Li, et al. Optimal Multiple Level Decision Fusion with Distributed Sensors. IEEE Trans. on AES, 1993, 29 (4): 1251～1259.

21 Roman Krzysztofowicz, et al. Fusion of Detection Probabilities and Comparision of Multisensor Systems. IEEE Trans. on System, Man, and Cybernetics, 1990, 665.

22 R Viswanathan, et al. Optimal Serial Distributed Decision Fusion. IEEE Trans. on AES, July 1988.

23 P K Varshney, et al. Optimal Data Fusion in Multiple Sensor Detection Systems. IEEE Trans. on AES. Jan 1986

24 Bar－Shalom. Multitarget－Multisensor Tracking: Advanced Application, 1987

25 Ted J Broida. Performance Prediction for Multi－sensor Tracking Systems: Kinematic Accuracy and data association Performance. SPIE Vol. 1198, Sensor Fusion Ⅱ, 1989: 256～271

26 S S Blackman. Multiple－target Tracking with Radar Applications. Artech House, Norwood, Massachusetts, 1986

27 S C A Thomopoulos, et al. Object Tracking form Image Sequences Using Stereo Camera and Range Radar. Proc. of SPIE on Sensor Fusion Ⅱ, Vol. 1198, 1989: 156～169

28 R Johnson. Automatic Target Recognition Fuse Sensors and Artificial Intelligence. Defense Electronics, 1984, 1: 106～115

29 W Pemberton, et al. An overview of ATR Fusion Techniques. Proc. 1987 Tri－Service Data Fusion Symp. Johns Hopkins University, Baltimore, June 1987

30 P L Bogler. Shafer－Dempster Reasoning with Applications to Multisensor Target Identification Systems. IEEE Trans. on SMC, 1987: 706, 968～977

31 R C Luo, et al. A hierarchical Target Representation for Autonomous Recognition Using Distributed Sensors. Proc. SPIE Conf. on Sensor Fusion Ⅱ, 1989: 537

32 S K Rogers, et al. Artificial Neural Network Technology for Automatuic Target Recognition. SPIE Institute Series Vol. IS 7, 1990: 231～247

33 G Cliche, et al. Integration of the SPOT Panchromatic Channel Into its Multispectral Mode for Image Sharpness Enhancement. PERS. 1985. 51 (10): 311～316

34 P S Chavez. Digital Merging of Landsat TM nad Digitized NHAP Data for 1:2400 Scale Image Mapping. PERS, 1986, 52 (10) 1637～1645

35 王泽和. 九十年代美海军潜艇传感器融合系统. 现代军事, 1992. 7: 74～77

36 R C Luo, et al. Robot Multi－sensor Fusion and Integration: Optimum Estimation of Fused Sensor Data. Proc. of the 1988 IEEE International Conference on Robots and Automation, Philadelphia, Pennsylvania, IEEE Comuter Society Press

37 M A Abidi. Sensor Fusion: a New Approach and Its Applications. in Proc SPIE Conf. on Sensor Fusion Ⅱ. 1989: 235～246

38 J Reiner. Applications of Expert Systems to Sensor Fusion. NAECON Record 1985

39 F White, et al. A Model for Data Fusion. SPIE Conf on Sensor Fusion, Orlando, FL, Apr. 1988.

40 DFS/JDL—TPC3, Proc 2nd Tri—Service Data Fusion Symp, Johns Hopkins University, Baltimore

41 T M Sobh etal. Recovery of 3-D Motion and structure by Temporal Fusion, SPIF Vol. 1198 Sensor Fusion Ⅱ, 1989: 147～151

42 B K P Horn, Robot Vision. The MIT Press, Cambridge, MA, 1986

43 D L Hall, et al. Algorithm Selection for Data Fusion Systems. Proc. of the 1987 Tri—Service Data Fusion Symposium, Vol. 1, Johns Hopkins APL, June 1987, Naval Air Development Center, Warminster, Pennsylvania: 100～110

44 D L Hall,et al. Comments on the Use of Templating Techniques for Multisensor Data Fusion. Proc. of the Third Tri—Service Data Fusion Symp, Vol. 1, Johns Hopkins APL, May 1989: 343～354

45 L F Pau. Fusion of Multisensor Data in Pattern Recognition in Pattern Recognition Theory and Application. Reidel, 1982: 189～201

46 M S Aldenderfer, et al. Cluster Analysis, in the Series Quantitative applications in the Social Sciences Sage University Paper 07～044. Sage Publications, London 1984

47 David R Scott. Sensor Fusion Using K—Nearest Neighbor Concepts. SPIE Vol. 1383 Sensor Fusion Ⅲ, 1990: 367～378

48 H Tahani and J M Keller. Information Fusion in Computer Vision Using the Fuzzy Integral. IEEE Trans. SMC, 1990: 20 (3) 733～741

49 J R Koelsch. Sensors—the Missing Iink. Manufacturing Eng, October 1990: 53

50 E Waltz. Data Fusion for C3I Systems. C3I Handbook, EW Communication, Palo Alto, California, 1986: 24～29

51 S C A Thomopoulos, et al. Optimal Decision Fusion in Multiple Sensor Systems. IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems, 1987, 23 (5), 644～653

52 R Viswanathan, et al. Optimal Serial Distributed Decision fusion. IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems, 1988 24 (4): 366～376

53 S C A Thomopoulos, et al. Optimal and Suboptimal Distributed Decision Fusion. IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems, 1989, 25 (6)

54 H F Durrant—Whyte. Consistent Integration and Propagation of Disparate Sensor Observation. Inter Journal of Robotics Research, No. 6 (3), 1987: 3～24

55 T P Garey, et al. An Inference Technique for Integration Knowledge from Disparate Source. Proc the Inter. Joint Conf on Artificial Intelligence, Vancouver, August 1981: 319～325

56 E L Waltz, D M Buede. Data Fusion and Decision Support for Command and Control. IEEE Trans. on SMC, 1986, 616: 865～879

57 Lang Hong, et al. Recursive Temporal—Spatial Information Fusion with Applications to Target Identification. IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems, 1993, 29 (2): 435～445

58 T L Huntsherger,et al. A Framework for Multisensor Fusion in the Presence of Uncertainty. Proc. of Workshop on Spatial Reasoning and Multi—sensor Fusion, St. Charles, Ⅰ Ⅲ Ⅰ, Oct. 1987: 345～350

59 J Llinas, et al. Data Fusion Technology forecast for C3MIS. Proc. of the 3rd International Confer-

ence on Command, Control, Communications and MIS, Bournemouth, UK, IEE, London, March 1989

60 S C A Thomopoulos. Sensor Integration and Data Fusion. J Robstic Syst. 1990, 7 (3): 337～372

61 D L Hall, dt al. An Interactive Approach for Selecting IR&D Projects. IEEE Trans. Eng. Manage. 1990, 37 (2): 126～133

62 D Heistrand, et al. An Automated Threat Value Model. Proc of the 50th MORS, March 1983

63 G Hage. Deciding not to Decide Using Resource—bounded Sensing. Proc SPIE Vol. 1383 Sensor Fusion Ⅲ, 1990: 379～390

64 G D Hager. Interval—based Method for Sensor Data Fusion, IEEE Conf. on Robotics and Automation, 1990

65 Gerda Kamberova, et al. Robust Multi—sensor Fusion: a Decision—theoretic Approach. SPIE Vol. 1198 Sensor Fusion Ⅱ, 1989: 192～201

66 Raymond Mckendall, et al. Using Robust Statistics for Sensor Fusion, SPIE Vol. 1383 Sensor Fusion Ⅲ, 1990: 547～566

67 美国国防部关键技术计划, 1992 财政年度

68 J Llinas. Assessing the Performance of Multisensor Fusion Systems. SPIE Vol. 1611 Sensor Fusion Ⅳ, 1991

69 S Chaudhure, et al. Multisensor Data Fusion for Mine Detection. SPIE Vol. 1306 Sensor Fusion Ⅱ, 1990

70 J Bronskill, et al. A Test—bed for the Real—time Implementation of Infrared Target Detcetion and Tracking Algorithms, SPIE Vol. 1297, Hybrid Image and Signal Processing Ⅰ, 1990

71 Evaluation of Defense Attempts to Manage Battlefield Intelligence Data. LCD — 81 — 82, Comptroller General Rept. to Congress of the U S February 24, 1981

Comments on Multisensor Information Fusion

Yu Wenxian Yong Shaowei Guo Guirong

(Automatic Target Recognition Lab)

Abstract

Multisensor information fusion (MIF) has received a widespread attention and has been applied to a lot of research fields in recent years. Its theory and methods have become an important research area of intelligent information processing. In this paper, the basic principles of MIF are discussed. The system structures of MIF are studied from the viewpoints of information manifestation levels and function differentiation respectively. Then the concrete methods adopted in MIF and their applications are introduced and analysed hierarchically. Finally the existing crucial problems are pointed out and the research trends are also emphasized.

Key words multisensor, information fusion, system