

·学科进展与展望·

# 多传感器信息融合技术的研究与进展

郭惠勇

(西安交通大学建筑工程和力学学院,西安 710049)

**[摘要]** 本文通过对多传感器信息融合技术近年来国内外研究成果的总结,阐述了信息融合技术研究的发展历程。首先对信息融合的概念和通用处理模型进行了介绍,然后按照信息融合技术研究的三个主要方面,即信息融合的系统结构、信息融合的应用领域和信息融合的算法,分别探讨了信息融合技术的发展现状和面临的问题,最后对信息融合的未来研究趋势进行了展望。

**[关键词]** 多传感器,信息融合,系统结构

## 引言

近年来,随着计算机技术、通讯技术的发展,特别是军事上的迫切要求,多传感器信息融合技术得到了迅速发展,并引起了世界范围内的普遍关注。目前这一技术已经在各个领域得到了广泛深入的研究。信息融合技术首先应用于军事领域,包括航空目标的探测、识别和跟踪,以及战场监视、战术态势估计和威胁估计等;在地质科学领域上,信息融合应用于遥感技术,包括卫星图像和航空拍摄图像的研究;在机器人技术和智能飞行器研究领域,信息融合主要被应用于机器人对周围环境的识别和自动导航;信息融合技术也被应用于医疗诊断和人体模拟以及一些复杂工业过程控制领域<sup>[1]</sup>。信息融合作为一门跨学科的综合信息处理理论,涉及系统论、信息论、控制论、人工智能和计算机通信等众多的领域和学科。信息融合理论与经典信号和信息处理理论存在着本质的区别,不同之处在于信息融合所处理的多传感器信息具有更复杂的形式,而且可以在数据层、特征层和决策层等不同信息层次上体现。

一般而言,使用多传感器系统和信息融合技术,具有以下优点:

- (1)可提高系统的可靠性和鲁棒性;
- (2)可扩展空间和时间上的观测范围;
- (3)可提高信息的精确程度和可信度;
- (4)可提高对目标物的检测和识别性能;

(5)可降低对系统的冗余投资。

本文结合近年来国内外的研究成果,首先介绍了信息融合的概念和通用处理模型,然后按照信息融合技术研究的三个主要方面,即信息融合的系统结构、信息融合的应用领域和信息融合的算法来分别探讨信息融合技术的发展现状和面临的问题,以及未来的可能研究方向。

## 1 信息融合的概念与处理模型

信息融合作为多源信息综合处理的一项新技术,它能将来自某一目标的多源信息加以智能化合成,产生比单一信息源更精确、更完全的估计和判决。信息融合的概念始于20世纪70年代初期,来源于军事领域中的C<sup>3</sup>I(command, control, communication and intelligence)系统的需要,当时称为多源相关、多传感器混合数据融合,并于80年代建立其技术。信息融合又称数据融合,美国国防部JDL(Joint Directors of Laboratories)从军事应用的角度将信息融合定义为这样一个过程:把来自许多传感器和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)和身份估计(identity estimation),以及对战场情况和威胁及其重要程度进行适当的完整评价。Waltz和Llinas对上述定义进行了补充和修改,用状态估计代替了位置估计,并加上了检测(detection)功能,给出了如下定义:信息融合是一种

本文于2004年8月9日收到。

多层次、多方面的处理过程,这个过程是对多源数据进行检测、互联、相关、估计和组合以达到精确的状态估计和身份识别,以及完整的态势评估和威胁评估<sup>[1]</sup>。

信息融合的处理模型是对一组处理过程的描述,它描述的是系统功能单元的组成,而不涉及各单元的物理结构和软件实现。该处理过程也允许反馈的存在,即在决策的基础上调整融合架构。而形成详细合理的处理模型是信息融合学科逐渐成熟的一个标志。在1990年美国国防部JDL的数据融合专家小组(DFS)建立了数据融合的标准术语,并对相关融合的转换技术信息进行了连贯的明确阐述,在此基础上建立了JDL信息融合模型。它是一个四层次分级系统,包含目标评估、态势评估、威胁评估和过程优化四部分。该模型对人们理解信息融合的基本概念有着重要影响,已成为我国学者研究信息融合的基本出发点。在此基础上,Boyd J A提出了控制环路模型,该模型与JDL模型相比,包含了执行的可能性。对于被动的应用方式如纯粹的监测,JDL模型可以提供一个足够的框架。如果考虑主动的因素,如要求具有事件反应功能等,Boyd模型是更恰当的。Bedworth M首先提出了Waterfall模型,该模型虽不具有一般性,却有较好的层次性描述。然后Bedworth M综述了以上所描述的融合模型,并指出了各自的局限性,在此基础上提出了Omnibus理想模型<sup>[2]</sup>。该模型利用了Waterfall模型中较好的层次定义,并使其隐含在Boyd闭环循环系统中,因此是一种较好的模型。

## 2 信息融合的系统结构

信息融合的系统结构研究包含两部分,即信息融合的层次问题和信息融合的体系结构。融合的层次结构主要从信息的角度来分析融合系统,信息融合的体系结构则主要是从硬件的角度来分析融合系统。

### 2.1 信息融合的层次

信息融合系统可以按照层次划分,对于层次划分问题存在着较多的看法。目前较为普遍接受的是3层次融合结构,即数据层、特征层和决策层。文献<sup>[3]</sup>中利用图示方法说明了该3层次融合结构。

数据层是指将全部传感器的观测数据直接进行融合,然后从融合的数据中提取特征向量,并进行判断识别。这便要求传感器是同质的,如果传感器是异质的,则数据只能在特征层或者决策层进行融合。

数据层融合的优点是保持了尽可能多的原始信息,缺点是处理的信息量大,因而处理实时性较差。

特征层融合是指将每个传感器的观测数据进行特征抽取以得到一个特征向量,然后把这些特征向量融合起来,并根据融合后得到的特征向量进行身份判定。特征层融合对通信带宽的要求较低,但由于数据丢失使其准确性有所下降。

决策层融合是指每个传感器执行一个对目标的识别,将来自每个传感器的识别结果进行融合。该层次融合对通信带宽要求最低,但产生的结果相对来说最不准确。

Dasarathy B<sup>[4]</sup>则以数据的输入输出作为分类的标准,进一步将该3层次结构扩展为5层次结构,即数据入-数据出融合、数据入-特征出融合、特征入-特征出融合、特征入-决策出融合、决策入-决策出融合。并以此得出了一般融合层次结构,在文献<sup>[4]</sup>中利用了图示方法说明了该层次结构,该层次结构具有较为普遍的意义,不仅可以应用于军事领域,而且可以应用于复杂工业领域。

信息融合的层次结构是按照信息抽象程度来划分的。在多传感器融合系统的实际工程应用中,应综合考虑传感器的性能、系统的计算能力、通信的带宽、期望的准确率以及现有资金的能力,以确定采用哪种层次化系统结构模型或者混合的层次模型。而基于信息的层次结构的确定,可以为系统硬件体系结构的确定打好基础。

### 2.2 信息融合的体系结构

信息融合的硬件体系结构大致分为三类:集中式、分布式和混合式。集中式是将各传感器节点的数据都送到中央处理器进行融合处理。该方法可以实现实时融合,其数据处理的精度高、解法灵活,缺点是对处理器要求高、可靠性较低、数据量大,故难于实现。分布式是各传感器利用自己的量测单独跟踪目标,将估计结果送到总站,总站再将子站的估计合成为目标的联合估计。该方法对通信带宽要求低、计算速度快、可靠性和延续性好,但跟踪精度没有集中式高。混合式是将以上两种形式进行组合,它可以在速度、带宽、跟踪精度和可靠性等相互影响的各种制约因素之间取得平衡,因此目前的研究着重于混合式结构。

采用何种体系结构完全是为了满足各种不同的实际需要,在设计数据融合体系结构时,应根据确定的系统层次结构来确定相应的体系结构,同时还必须考虑数据通信、数据库管理、人机接口、传感器管

理等许多支撑技术。

### 3 信息融合的应用

目前对信息融合技术的应用研究并不局限于军事领域,已经扩展到了许多方面,如地质科学应用、机器人技术与智能交通工具、医学应用、工业工程应用等。

#### 3.1 军事应用

信息融合技术首先应用于军事领域,包括目标的探测、识别和跟踪。这些目标可以是静止的,也可以是运动的。具体应用包括海洋监视、地面目标探测以及空对空、地对空防御系统。海洋监视系统包括潜艇、鱼雷、水下导弹等目标的监测、跟踪和识别,典型的传感器包括雷达、声纳、远红外、综合孔径雷达等。在地面目标探测中,扫雷探测是一种很好的例子,它需要综合使用金属探测器、红外照相机或者地面探测雷达以提高探测率。空对空、地对空防御系统的基本目标是检测、跟踪、识别敌方的飞机、导弹和反飞机武器,典型的传感器包括雷达、远红外、敌我识别传感器、电光成像传感器等。

Nandhakumar N 等<sup>[5]</sup>将信息融合技术的军事应用扩展到了战场监视、战术环境估计、威胁估计和目标探测。这些是基于敌方武装力量以及战场环境观测的先验知识而进行的,而该种信息常常是不确定的和模糊的。其中对气象条件的评估成为了战场环境估计的补充信息,并且对战场的主要参与者——人,本身进行鉴定和识别,根据其生理测量特征,如声音、脸型以及侧影进行信息融合,实现多模式的识别,最后融合的结果将会得到所探测目标“人”的敌我识别和重要程度识别,即判决该人是敌我双方的普通人员还是重要指挥决策人员。

#### 3.2 地质科学应用

信息融合技术在地质科学上的应用,也就是在遥感领域上的应用。主要是指利用卫星图像和航空图像进行地质研究,可以通过高空间分辨率图像和低光谱分辨率的图像的融合,得到高空间分辨率和高光谱分辨率的图像,融合多波段和多时段的遥感图像来提高分类的准确性,也可以通过特征融合进行公路、机场、山区的探测。Costantini M 等<sup>[6]</sup>对同一场景的图像进行融合集成,从而得到比所有输入图像更清晰的解。目前,在该领域的主要问题仍是图像的分类和译码问题,仍需进一步的研究。

#### 3.3 机器人技术与智能交通工具

在该领域的研究中,主要面对两个问题:(1)对

周围环境的识别;(2)导航。

现有的识别研究已经实现了机器人的实时定位识别功能。通过采用了“占有格”形式进行环境的重构,利用照相机、激光和远红外传感器获得信息。环境可以是动态的,但是要求获得的数据在时间上保持一致。

而利用信息融合技术对导航的研究,则已经能够使机器人或智能交通工具避开障碍物并按照一定轨道行驶<sup>[7]</sup>。智能交通运行工具常常装有视频设备和激光测距仪,而机器人运行则需要实现全自动化避免任何外来的干扰,其主要使用视频、音频、电磁信号等数据的融合来进行推理,以完成物料的搬运、零件制造、检验和装配等。

#### 3.4 医学应用

信息融合技术也被应用于医学领域,主要用于医疗诊断。在以往的医疗诊断中,外科医生常用视觉检查以及温度计和听诊器来帮助诊断。现在出现了更为复杂而有效的医用传感技术,如超声波成像、核磁共振成像和 X-射线成像等,将这些传感器的数据进行融合能更准确的进行医疗诊断,如肿瘤的定位和识别。Nejatali A 等<sup>[8]</sup>则进一步利用信息融合进行了人体模拟研究,主要包括组织器官的识别和重构。如利用血管造影术和回波扫描术的融合实现血管的 3D 重构研究,利用信息融合技术来分析层析 X-射线摄影图像,以识别脾、肝以及肌肉组织,以及利用信息融合来实现三维人脑的图像的模拟和进行细菌的识别等。

#### 3.5 工业工程等应用

在工业领域上信息融合的应用是多方面的。目前已经利用信息融合技术对铁轨进行无损检测,并利用信息融合中的模糊集方法在粮食的工业烘烤系统中进行质量控制。Herrera F 等<sup>[9]</sup>将信息融合技术扩展到经济领域。在经济领域,管理者需要综合数值的和逻辑的信息以进一步做出决策,投票分析系统经常需要使用和分析大量的数据,而信息融合系统可以综合的融合这些数据。信息融合技术也被应用于运行中的机车定位、海洋鱼类识别以及车辆运行探测等方面。

信息融合技术的应用领域将会越来越广泛,特别是对于与信息融合技术有类似特征的其他领域的信息系统。例如交通管制系统、工业仿真系统、金融形势分析系统等等。这样将会进一步获得更广泛的经济和社会效益。

## 4 信息融合算法

信息融合算法主要是指信息融合所需要的实现方法。对于多传感器来说,信息具有多样性和复杂性,包含有同质信息和异质信息,对于异质信息常常需要先进行数据分解,使之成为同质信息。因此对信息融合方法的基本要求是具有鲁棒性和并行处理能力。此外还要求考虑方法的运算速度和精度,以及与不同技术和方法的协调能力等。目前在信息融合领域中的算法是多种多样的,这里主要介绍四种常用的算法及其研究进展。

### 4.1 概率论方法

概率论方法较早应用于信息的融合。这种方法首先对各种传感器信息作相容性分析,删除可信度很低的错误信息,在假设已知相应的先验概率的前提下,对有用的信息进行贝叶斯估计,以求得最优的融合信息。H. Pan等<sup>[10]</sup>认为贝叶斯方法的优点是简洁,易于处理相关事件;缺点是不能区分不知道与不确定信息,而且要求处理的对象相关。特别是在实际应用中很难知道先验概率,当假设的先验概率与实际矛盾时,推理的结果会很差,在处理多重假设和多重条件时会显得相当复杂。

### 4.2 证据理论

Dempster-Shafer(D-S)证据理论的发展始于20世纪70年代,它是对概率论的扩展,依据信任函数运算,解决了一般的确定问题。它根据人的推理模式,采用了概率区间和不确定区间来确定多证据下假设的似然函数,还能计算任一假设为真条件下的似然函数值,因而具有较大的应用前景。D-S证据理论能融合不同层次上的属性信息,能区分不确定性信息与未知性信息,还能较好地解决报告冲突,容错能力强,在信息融合技术中已经得到了较广泛的应用。

但是证据理论也存在着不足,即证据冲突的情况下,D-S证据组合将无法进行或者组合结果与实际不相符合。针对该问题,学者们进行了一系列的改进。Yager R给出了基于一致性因子的集合加权“与”运算算子的分析,提出了一种针对优先级别存在差异的证据信息的加权 Dempster 证据组合规则。此后的学者根据各自的需要,将加权参数引入了 D-S 组合规则,以保证在证据不一致时提高可靠证据的权威性。Murphy R R 则添加了辅助规则,修正结论的偏差。Desmarais K 则使用与智能技术相结合的方法,李华等则对 D-S 证据组合中的“与”运算算子

进行了改进<sup>[11]</sup>。

### 4.3 模糊集方法

该方法是用某种模型系统地反映数据融合过程的不确定性,并通过模糊推理来完成数据融合。其中模糊聚类是按照一定标准对用一组参数表示的样本群进行分类的过程。模糊聚类的过程,也就是样本中的特征参数被融合、样本按标准被分类的过程。当选定一种相似性度量、差别检验以及停止规则后,就可以得到一种特定的聚类分析算法。自从模糊集方法提出以后,作为乘积空间上模糊集的模糊关系得到了广泛的应用。Orlovsky S A 提出用模糊性偏序关系进行决策,Sengupta K 研究了模糊序关系选择规则的一些性质,Pattanaik P K 研究了基于选择函数的序关系的结构,Patrice P 用模糊协调性与非不协调性对多准则备选对象的评估信息进行融合分类,并与不可能性定理进行了比较。文献[12]用三角模构造了一类模糊性偏序关系,扩充了 Patrice P 提出的协调性与不协调性公式,对这些公式构造的超越关系和非不协调关系两个方面进行了信息融合和分类,并讨论了这种信息融合方法满足的条件。

### 4.4 神经网络方法

神经网络算法是在现代神经生物学和认知科学对人类信息处理研究成果的基础上提出的,它具有良好的容错性、层次性、可塑性、自适应性、联想记忆和并行处理能力。近年来,神经网络已经被成功地应用于信息融合中的状态估计问题。Rowley H A 等利用神经网络实现了景象匹配,即利用神经网络对实时图像进行自动选取,判断实时图像质量的优劣,除去劣质图像,再进行匹配计算,从而提高了图像匹配算法的鲁棒性和稳定性。将神经网络与其他方法相结合进行信息融合技术的研究效果显著,已经形成了一种趋势。例如,D-S 证据理论与神经网络、模糊集与神经网络、小波与神经网络、以及遗传算法与神经网络等等的结合。

应用于信息融合的算法还很多,比如卡尔曼滤波、支持向量机、遗传算法、小波分析理论以及一些简单的推理方法等等。由于信息融合应用领域相当广泛,单独采用一种方法往往具有一定局限性,将各种方法进行优势集成逐渐成为信息融合算法研究的重点。

## 5 结论和展望

本文对信息融合技术研究的三个主要方面,即信息融合的系统架构、信息融合的应用领域和信息融合的算法进行了综述和讨论。作者认为,今后多

传感器信息融合技术的主要研究和发展方向应包括以下几个方面:

(1)确立具有普遍意义的信息融合模型标准和系统结构标准。目前已有的信息融合模型大都脱胎于军事应用领域,具有较浓重的军事应用色彩,而且对系统的融合层次架构存在着不同的看法,因此需要确立较为统一的标准,以方便相互交流。

(2)将信息融合技术应用到更广泛的新领域。虽然信息融合已经从军事领域扩展到民用领域,但是它涉及的领域还有扩展的余地,比如说智能建筑系统集成等。

(3)改进融合算法以进一步提高融合系统的性能。目前,将模糊逻辑、神经网络、遗传算法、支持向量机、小波变换等计算智能技术有机地结合起来,已经成为一个重要的发展趋势。各种算法按照优势互补原则相互结合,以克服单独使用一种算法所存在的不足。

(4)开发相应的软件和硬件,以满足具有大量数据且计算复杂的多传感器融合的要求。

### 参 考 文 献

- [1] 康耀红. 数据融合理论与应用. 西安:西安电子科技大学出版社,1997.  
[2] Bedworth M, Brein J O. The Omnibus Model: A New Model of Data

- Fusion. IEEE AES Systems Magazine, 2000.  
[3] White F. A Model for Data Fusion. SPIE Conference on Sensor Fusion, Orlando, FL. April 1988.  
[4] Dasarathy B V. Fuzzy Evidential Reasoning Approach to Target Identity and State Fusion in Multisensor Environments. Optical Engineering, 1997, 36(3): 669—683.  
[5] Nandhakumar N, Aggarwal J K. Physics-based Integration of Multiple Sensing Modalities for Scene Interpretation. Proceedings of the IEEE, 1997, 85(1): 147—163.  
[6] Costantini M, Farina A, Zirilli F. The Fusion of Different Resolution Sar Images. Proceedings of the IEEE, 1997, 85(1): 139—146.  
[7] Ng K C, Trivedi M M. A Neuro-Fuzzy Controller for Mobile Robot Navigation and Multirobot Convoying. IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetic-Part B: Cybernetics, 1998, 28(6): 829—840.  
[8] Nejatali A, Ciric I R. Novel image fusion methodology using fuzzy set theory. Optical Engineering, 1998, 37(2): 485—491.  
[9] Herrera F, Herrera-Viedma E. Aggregation Operators for Linguistic Weighted Information. IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetic-Part A: Systems and Humans, 1997, 27(5): 646—656.  
[10] Pan H, Michael D M, Lendjel M. Inference Algorithms in Bayesian Networks and the Probanet System. Digital Signal Processing, 1998, 8(4): 231—243.  
[11] 李华,史忠科. 修正 D-S 证据组方法及其在目标识别中的应用. 飞行力学,2002, 20(1): 63—66.  
[12] 仇国芳,李怀祖. 模糊性偏序关系上的信息融合. 工程数学学报,2002,19(1): 37—45.  
[13] Rowley H A, Baluja S, Kanade T. Neural Network-based Face Detection. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1998, 20(1): 23—28.

## RESEARCHES AND ADVANCES IN MULTI-SENSOR INFORMATION FUSION TECHNOLOGY

Guo Huiyong

(School of Architecture Engineering and Mechanics, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049)

**Abstract** This paper overviews the development of multi-sensor information fusion. First, the concept of information fusion and the general processing model are introduced. Second, three important aspects of information fusion, i.e. fusion system architecture, application fields and fusion algorithms, are discussed. Finally, a review of the state-of-the-art and development trend is presented.

**Key word** multi-sensor, information fusion, system architecture