



多传感器信息融合概述及其应用

摘要：多传感器数据融合广泛应用于自动目标识别、工业过程控制、遥感、医疗诊断、图像处理、模式识别等领域。介绍了多传感器信息融合技术的概念，对信息融合的算法进行了概述，提出了基于粗糙集理论的多源信息融合算法，最后对多传感器融合技术的研究动向进行了展望。

关键词：多传感器；信息融合；融合方法；粗糙集

中图分类号：TP212 文献标识码：A 文章编号：1006-883X(2010)12-0006-05

▶▶ 王媛彬

一、引言

近年来，多传感器信息融合技术不论在军事领域还是在民事领域都受到了广泛的关注^[1~3]。信息融合作为新近崛起的一个前沿性的、前景十分广阔的研究领域，广泛地应用于多传感器信息处理过程。它综合利用了多种类型传感器的不同特点，可以多方位全面获取目标。这一技术正广泛应用于自动目标识别、战场监视、自动飞行器导航、机器人、遥感、医疗诊断、图像处理、模式识别和复杂工业过程控制等领域。

多传感器数据融合是指对不同知识源和传感器采集的数据进行融合，以实现对观测现象更好地理解。从表面上看，多传感器融合的概念很直观，但实际上要真正实现一个多传感器融合系统是比较困难的。多传感器融合是一个复杂的信息处理过程，所要研究的问题多，而且解决问题的方法也很多，因此有必要对目前的研究情况进行系统的介绍。

二、信息融合的算法

融合方法研究的内容是与数据融合有关的算法。多传感器融合的实质是多源不确定性信息的处理，而信息的不确定性可以是随机的、模糊的等有验前信息的形式，也可以是无验前信息的形式。信息融合中数学工具的功能是最基本和多重的，它将所有的输入数据在一个公共空间内得以有效描述，同时它对这些数据进行适当综合，最后以适当的形式输出和表现。在信息融合领域使用最多的数学工具或方法有概率论、推理网络、模糊理论和神经网络等。当然，除了这几种常用的方法之外，还有其他很多解决途径。

1、概率论

概率论已有很长的历史，它成功地处理了许多与不确定性有关的问题，有丰富的理论和系统的方法。在融合技术中最早应用的就是概率论^[4]，它所研究的现象是随机的，用随机变量来表示不确定信息(随机信息)，并对不确定信息进行处理。在一个公共空间根据概率或似然函数对输入数据建模，在一定的先验概率情况下，根据贝叶斯规则合并这些概率以获得每个输出假设的概率，这样可以处理不确定性问题^[5~9]。在多传感器融合中，常采用的与概率统计有关的方法包括估计理论^[10]、卡尔曼滤波^[11]、假设检验^[12, 13]、贝叶斯方法，统计决策理论^[14]以及其他变形的方法^[15, 16]。

其中，贝叶斯方法是将所有传感器视为一个由多个决策者组成的小组，这些传感器必须确定该小组一致的结果，适于静态环境，可以处理冗余的数据。这种方法的主要难点在于对概率分布的描述，特别是当数据

是由低档传感器给出时，就显得更为困难。另外，在进行计算的时候，常常简单地假定信息源是独立的，这个假设在大多数情况下非常受限制。

卡尔曼滤波方法^[17, 18]是根据早先估计和最新观测，递推地提供对观测特性的估计。卡尔曼滤波在多传感器融合系统中被广泛适用。它适于处理动态的、低层的、冗余的数据，实时性好。

另外，概率论和模糊集理论的综合应用给解决多源数据的融合问题提供了工具。

2、逻辑推理

逻辑推理包括概率推理、证据推理、模糊推理和产生式规则等，它们都属于不确定性推理，是人工智能研究中最为活跃的研究领域之一。不确定性推理的方法，首先需要对不确定信息进行表示(或度量)、不同的表示方法即构成不同的不确定性推理的方法。文献[20]对人工智能中的不确定性进行了深入的讨论。文献[21]对不确定性推理原理进行了详细的讨论，并且提出了包含度理论。包含度理论不仅是研究不确定性推理的一般原理，而且是研究不确定现象的方法学。文献[22, 23]分别给出了模糊方法和DS证据理论在多传感器数据融合中的应用。文献[10]介绍了产生式规则在多传感器融合中的应用。此外，Luo 和Kay 还对D2S 证据理论、模糊逻辑和产生式规则进行了比较^[13]。

与概率统计方法相比，逻辑推理存在许多优点，它在一定程度上克服了概率论所面临的问题，它对信息的表示和处理更加接近人类的思维方式，一般比较适合于在高层次上的应用(如决策)，但是逻辑推理本身还不够成熟和系统化。此外，由于逻辑推理对信息的描述存在很大的主观因素，所以信息的表示和处理缺乏客观性。在文献[24]中，针对这一问题对DS证据理论做了一些改进。

证据理论在推理网络分析中扮演着重要角色。证据推理^[25, 26]是一种数学工具，它允许人们对不精确和不确定性问题进行建模，并进行推理，为组合不确定信息提供了另一条思路，它是概率论的推广。根据不同的决策模式，可以对信息的特殊性和确定性进行折衷。证据推理在不确定性的表示、量度和组合方面的优势受到大家的重视。在改进自身不足的同时又结合其他方法的长处，先后推广到概率范围和模糊集，不仅可以像贝叶斯推理那样结合先验信息，而且能够处理像语言一样的模糊概念证据。缺点是对结果往往给出过高估计，对未进行冲突处理的许多算法，输入数据的微小变化会对输出造成很大的影响；当处理的对象相容性较大时，其性能变坏。

3、模糊理论

模糊集理论是基于分类的局部理论，因此，从产生起就有许多模糊分类^[27]技术得以发展。隶属函数可以表达词语的意思，这在数字表达和符号表达之间建立了一个便利的交互接口^[28~31]。在信息融合的应用中，主要是通过与特征相连的规则对专家知识进行建模。另外，可以采用模糊理论来对数字化信息进行严格地、折衷或是宽松地建模^[32~36]。模糊理论的另一个方面是可以处理非精确描述问题，还能够自适应地归并信息^[37]。对估计过程的模糊拓展可以解决信息或决策冲突问题，应用于传感器融合、专家意见综合以及数据库融合，特别是在信息很少，又只是定性信息的情况下效果较好。

4、神经网络

神经网络是由大量互联的处理单元连接而成，它基于现代神经生物学和认知科学在信息处理领域应用的研究成果。神经网络应用于信息融合的历史并不长，它具有大规模并行模拟处理、连续时间动力学和网络全局作用等特点，有很强的自适应学习能力，从而可以替代复杂耗时的传统算法，使信号处理过程更接近人类思维活动。利用神经网络的高速并行运算能力，可以实时实现最优信号处理算法；利用神经网络分布式信息存储和并行处理的特点，可以避开模式识别方法中建模和特征提取的过程，从而消除由于模型不符和特征选择不当带来的影响，并实现实时识别，以提高识别系统的性能。

神经网络的层或节点可以用多种方式相互连接，对输入向量进行非线性变换^[24]，当输入一输出关系未知时，可以得到较为理想的结果^[15]。为了获取概率、可能性或证据分布数据，也可将神经网络技术与前述理论结合使用。比如在处理冲突信息问题中，与基于迭代优化的神经网络方法相比，聚类法计算复杂性较低，但性能也略逊一些。因此文献[38]将Potts spin理论和证据推理相结合，提出了快速神经网络聚类法，较好地兼顾了上述问题。

5、其它

在信息融合技术研究中还有许多不同的方法，代表性的有以下几种：小波法、马尔可夫方法、熵法、类论、随机集、生物学灵感法、Choquet积分法、JSM法、HyM法、Chu空间法、非线性梯度滤波、小波神经元滤波器等。

尽管对目前已有的融合方法进行了分类介绍，但它们之间没有严格的界限。每种融合方法都存在各自的优缺点，显然对它们进行组合可以更好地发挥它们各自地优点。

三、基于粗糙集的多源信息融合

图像融合是多传感器信息融合的一个重要分支，多传感器图像融合技术最早应用于遥感图像的分析和处理中。遥感影像融合有利于增强多重数据分析能力，改善遥感信息提取的及时性和可靠性，有效地提高数据的使用率，为大规模遥感应用研究提供良好的基础。

粗糙集理论是一种刻画不完整性和不确定性的工具，能有效地分析和处理不精确、不一致、不完备等各种不完备信息，并从中发现隐含的知识，揭示潜在的规律。利用粗糙集进行信息融合，主要利用它对不完整数据进行分析、推理、发现数据间的关系、提取有用特征和简化信息的能力来融合多源复杂信息，以提高融合速度和进行最优化融合算法的选择，增强系统的决策能力。

1、Rough Set的基本概念

任一属性子集 $B \subseteq A$ 定义了一个等价关系(不可辨别关系)为：

$$\begin{aligned} ND(B) &= \{x, y\} \in U \times U \quad \forall \alpha \in B \\ \alpha(x) &= \{\alpha(y)\} \end{aligned} \quad (1)$$

对于 U 中的任意子集 X ， R 为 U 中的一个等价关系，如果 X 可用 R 属性集确切地描述时， X 总可以用某些 R 的基本集合的并来表达；反之，当 X 用 R 的属性不能确切地描述时，用 R 的基本集合的并来描述 X 就存在一定的模糊性和不确定性。为了衡量 R 的基本集合对 X 的成员隶属关系的说明情况，定义如下两个子集：

$$\begin{aligned} R_-(X) &= \bigcup \{Y_i \in U \mid ND(R) : Y_i \subseteq X\} \\ R_+(X) &= \bigcup \{Y_i \in U \mid ND(R) : Y_i \cap X \neq \emptyset\} \end{aligned} \quad (2)$$

式(2)为 X 的 R 下近似集和 R 上近似集。当 X 的 R 下近似集不等于 X 的 R 上近似集时，称 X 为 R 粗糙集。

2、Rough Set知识化简与应用模型

在基于粗糙集的知识处理系统中，常用所谓的属性值系统或称为信息表来表示系统，即一个知识系统可以方便地用数据表的形式来实现，用列表示属性，行表示论域中的对象，并且每行表示该对象的一条信息。通过知识关系的建立，粗糙集的应用核心便在于如何利用Rough Set理论得到数据规则。采用数据分析法进行化简，即从系统的决策表中，将属性集的属性逐个移去，每次移去一个属性立即检查其决策表，如果不出现新的不一致，则该属性可以约去；否则，该属性不能约去。

3、基于粗糙集的多源信息融合的算法流程

根据Rough Set理论知识，我们利用Rough Set理论的化简、相容性等概念，对大量遥感数据进行分析，提出了基于粗糙集的信息融合的方法，其具体的算法步骤如下：

(1) 将遥感影像看成知识系统，对遥感数据信息进行预处理，选取一定的信息特征作为条件属性，按照评价指标结合专家经验选取处理效果最优的算法，并将其作为决策属性，从而构成一个信息决策表。

(2) 利用粗糙集的等距离划分算法或等频率划分算法对信息决策表进行离散化。

(3) 选择知识化简应用模型对决策表进行属性约简，生成相应的决策规则，即为最快融合算法。

(4) 进行知识推理，利用决策规则根据待处理目标的特征属性值进行相应的智能处理。

4、实验与分析

我们选择了6幅不同时相、多分辨率的不同区域IKONOS和QuickBird高分辨率影像进行相关实验。按照基于粗糙集的决策级融合算法的思想，我们首先利用像素级融合算法对上述影像进行融合处理，结合信息熵、平均梯度、偏差指数、相关系数、边缘强度等融合定量评价，目视选择出视觉效果最优的融合算法，并构建了决策信息表。

采用数据分析法决策应用模型进而生成了如下的决策规则，对于实验中的影像，获取的规则描述如下：

(1) 多光谱影像三个波段信息熵的平均值位于区域[10,11]时，优先选择高通滤波融合方法；

(2) 多光谱影像三个波段均值的平均值位于区域[60,120]时，优先选择IHS融合法；

(3) 多光谱影像三个波段信息熵的平均值位于区域[11,13]，同时平均梯度的平均值位于区域[3,6]时，优先选择PCA融合法；

(4) 全色影像的平均梯度值位于区域[0,10]时，优先选择基于区域特征的自适应小波包融合法。

四、结论与展望

本文对多传感器融合目前的研究现状进行了讨论，并且对存在的融合方法进行了分类介绍。信息融合的研究尽管取得了不少成果^[5~12, 39~43]，但至今尚未形成统一的理论框架，大部分工作都是针对特定应用领域开展的。

近年来，随着人工智能技术的发展，信息融合技术朝着智能化、集成化的方向发展。多传感器集成与融合未来研究的方向将会以运行在未知、动态环境下的多传感器系统为研究对象，相应的融合方法的研究将会成为研究热点之一。将模糊逻辑、神经网络，进化计算、粗集理论、支持向量机、小波变换等计算智能技术有机地结合起来，是一个重要的发展趋势^[29]。在此方面，不确定性信息的数学处理工具将发挥

重要的作用^[11, 12]。人工智能和神经网络方法也将继续成为研究的热点。人工智能的研究将会在传感器选择、自动任务误差检测与恢复以及世界模型等领域发挥更大的作用。神经网络也会在目标识别和鲁棒多传感器系统两个领域里发挥重要的作用。在计算机方面应多开发并行计算的软件和硬件，以满足具有大量数据且计算复杂的多传感器融合的要求。此外，微传感器技术也将成为未来的研究热点。

参考文献

- [1] 李洪志. 信息融合技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 1996.
- [2] Ren C. L uo, M ichael G Kay. Multi-sensor integration and fusion in intelligent systems[J]. IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics. 1989, 19 (5) : 901- 931
- [3] Durrant Whyte H F. Elements of Sensor Fusion[M]. IEE Colloquium on Published, 1991.
- [4] Valet L, Mauria G, Bolon Ph. A statistical overview of recent literature in information fusion[A]. Proceedings of 2000 International Conference on Information Fusion[C]. France : Paris. 2000. 95-102
- [5] Wald L. An European proposal for terms of reference in data fusion[J]. International Archives of Photo Grummet and Remote Sensing, 1998,XXXII(7):651-654
- [6] Bastiere A. Methods for multi-sensor classification of airborne targets integrating evidence theory[J]. Aerospace Science and Technology, 1998, 2 (G) : 401-411
- [7] Kam M. Rorres C , Chang W, Zhu X. Performance and geometric interpretation for decision fusion with memory[J]. IEEE Transactions on Systems , Man, and Cybernetic Part A : Systems and Humans , 1999 , 29 (1) : 52-62
- [8] Lampropoulos GA , Anastassopoulos V , Boulter J F. Constant false alarm rate detection of point targets using distributed sensors[J]. Optical Engineering, 1998 ,37 (2) : 401-416
- [9] Buede D M , Girardi P. A target identification comparison of Bayesian and Dempster Shafer multi sensor fusion[J].IEEE Transactions on Systems,Man, and Cybernetic Part A : Systems and Humans, 1997,27 (5) : 569-577
- [10] Mutambara A G O. Decent grade imitation and control for multi sensor system [M]. CRC Press, 1998.
- [11] 周锐, 申功勋, 房建成等. 基于信息融合的目标图像跟踪[J]. 电子学报, 1998,26 (12) : 89-91.
- [12] JW ang Xiaogang, Shen H C, Qian Wenhan. A hypothesis testing method for multi sensor data fusion [A]. Proceedings of the 1998 IEEE International Conference on Robot and Automation[C].1998.3407- 3412.
- [13] Wang Xiaogang, Shen H C. Multiple hypothesis testing fusion method for multi sensor system s [A].Proceedings of the 1999 IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems [C].1999.
- [14] Kamberova G, M and elbaum R, M intzM. Statistical decision theory for mobile robotics: theory and application [A]. Proceedings of the 1996 IEEE International Conference on Multi sensor Fusion and Integration for Intelligent Systems [C]. 1996. 17-24.
- [15] Pasad L, Iyengar S, Kashyap R L , et al. Functional characterization of fault to integration in distributed sensor networks[J]. IEEE Transact Ion on Systems, Man and Cybernetics,1991,21 (5) :1082-1087.
- [16] Durrant Whyte H F. Sensor models and multi sensor integration [J]. The International Journal of Robotics Research,1988,7 (6) : 97,113.
- [17] Kam M , Zhu X , Kalata P. Sensor fusion for mobile robot navigation[J]. Proceeding of the I EEE,1997,85 (1) :288-295
- [18] Saha R K, Chang K C. An efficient algorithm for multi sensor track fusion[J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems,1998, 34 (1) :200-210
- [19] 张尧庭, 杜劲松. 人工智能中的概率统计方法[M].北京: 科学出版社,1998.
- [20] 李凡. 人工智能中的不确定性[M]. 北京: 气象出版社,1992.
- [21] 张文修, 梁怡. 不确定性推理原理[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1996.
- [22] Russo F, Ramponi G. Fuzzy methods for multi sensor data fusion [J]. IEEE Transact lons on Instrumentation and Measurement,1994,43 (2) : 288-294.
- [23] 黄瑛, 陶云刚, 周洁敏等. DS 证据理论在多传感器数据融合中的应用[J]. 南京航空航天大学学报,1999,31 (2) : 172-177.
- [24] 罗志增, 蒋静坪. 基于DS 理论的多信息融合方法及应用[J]. 电子学报,1999,27 (5) : 100-102.
- [25] Shafer G. A Mathematical Theory of Evidence. Princeton[M]. Princeton University Press, 1976. 133-185
- [26] Smets P. The transferable belief model[J]. Artificial Intelligence, 1994, 66 (2) :197-234
- [27] Keler J H , Qiu H. Fuzzy sets methods in pattern recognition[J]. Lecture Notes in Computer Science,1988,301 :173-182
- [28] Dong Hoon lee , DaiheePark. An efficient algorithm for fuzzy weighted average[J]. Fuzzy Sets and Systems,1997,87(1) :39-45
- [29] Pham T D , Yan H. A kriging fuzzy integral[J]. Information Sciences,1997,98 (1) :157-173
- [30] Yager R R. New modes of information fusion[J]. International Journal of Intelligent Systems.1998,13 (7) :661-681
- [31] Cujet C , Vincent N. Data fusion modeling human behavior[J]. International Journal of Intelligent Systems.1998,13 (1) :27-40
- [32] Solaiman B , Pierce L E , Ulaby F T. Multi sensor data fusion using fuzzy concepts : Application to land cover classification using composites[J]. IEEE Transactions on Geo science and Remote Sensing (Special Issue on Data Fusion).1999,37 (3) : 1336-1325
- [33] Chanussot J , Mauris G, Lambert P. Fuzzy fusion techniques for linear features detection in multi temporal images[J]. IEEE Transactions on Geo Science and Remote Sensing (Special Issue on Data Fusion). 1999,37 (3):1292-1305
- [34] Nauck D , Kruse R. Obtaining interpretable fuzzy classification rules from medical data[J]. Artificial Intelligent in Medicine.1999,16 (2) : 149-169

(下转24页)



[4] 张朋涛,肖世德,黄灿泉.基于 MSP430 单片机的步进电机控制系统设计[J].机电工程技术,2005,34(11):36-37.

[5] 陶永华.新型 PID 控制及应用[M].北京:机械工业出版社,2002.

Design of sun track control system based on MSP430

XU Ai¹, LIAN Chun-yuan²

(1. Department of Electrical Engineering, Changzhou Institute of Mechatronic Technology, Changzhou 213164, China; 2. School of Electronic Information & Electric Engineering, Changzhou Institute of Technology, Changzhou 213002, China)

Abstract: In order to promote the energy conversion efficiency of solar energy panel, a solution of sun track control system based on MSP430 is proposed according to the principle of light intensity comparison. Light intensity signal acquisition circuit, the main controller using MSP430 and driving circuit of the stepper motor are introduced in the hardware design part. The modular design method is used, and the numerical filtration algorithm and control algorithm are adopted in the software

design. Fast and accurate sun-tracking is realized by the way of motor operation control and signal processing of sensors. Results of experiment indicate that the system has excellent stability and flexible control characteristics and reaches the anticipated designing purpose.

Keywords: MSP430; solar energy; light source tracking; phototransistor; stepper motor

作者简介

徐艾, 常州机电职业技术学院电气工程系助教, 主要研究方向为微机控制技术。

通讯地址: 江苏省常州市武进区大学城常州机电职业技术学院电气工程系, 邮编: 213164。

电邮: aa41@163.com

廉春原, 常州工学院电子信息与电气工程学院助教, 主要研究方向为计算机控制技术。

读者服务卡编号 005□

(上接9页)

[35] Russo F. Recent advances in fuzzy techniques for image enhancement[J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 1998, 47 (6): 1428-1434

[36] Delmotte F, Borne P. Modeling of reliability with possibility theory[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetic 2 Part A : Systems and Humans. 1998, 28 (1) : 78-88

[37] Dubois D, Prade H. Qualitative possibility theory and its applications to constraint satisfaction and decision under uncertainty[J]. International Journal of Intelligent Systems. 1999, 14 (1) : 45-61

[38] Johan Schubert . Managing inconsistent intelligence[A]. Proceedings of 2000 International Conference on Information Fusion[C]. France : Paris, 2000. 389-395

[39] 何友, 关欣, 于国宏.多传感器信息融合研究进展与展望[J].宇航学报. 2005, 26(4): 524-530

[40] 潘泉, 于昕等.信息融合研究的基本方法与进展[J], 控制与决策.2003,29(4): 23~26.

[41] 王耀南. 国家863 计划项目验收技术报告—复杂工业过程的综合集成智能控制及应用[R]. 长沙: 湖南大学, 2000. 1502200

[42] 韩崇昭, 朱洪艳等.多源信息融合[M].北京: 清华大学出版社, 2006.4

[43] LIST , Wang Y N. Multi sensor image fusion using discrete multi wavelet transform [A]. Proc of the 3rd Int Conf on Visual Computing [C]. Mexico, 2000.

Review on multi sensor information fusion

WANG Yuan-bin

(Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China)

Abstract: Multi sensor information fusion is being applied to a wide variety of fields such as automatic target recognition, industrial process control, remote sensing, medical diagnostics, image processing, pattern recognition and so on. The concept of multi sensor information fusion is introduced. The fusion algorithms are reviewed in detail. A multi-source information fusion algorithm is put forward based on rough set theory. Finally the future research of multi sensor fusion are outlined.

Keywords: multi sensor; information fusion; fusion algorithm; rough set

作者简介

王媛彬, 西安科技大学讲师, 主要从事智能控制的教学与科研。

通讯地址: 西安科技大学电控学院 邮编: 710054

电邮: wangyb998@163.com

读者服务卡编号 001□