

文章编号: 2095-2163(2019)05-0186-04

中图分类号: TP391

文献标志码: A

多源信息融合技术研究综述

李洋, 赵鸣, 徐梦瑶, 刘云飞, 钱雨辰
(上海工程技术大学 航空运输学院, 上海 201620)

摘要: 多源信息融合即基于多种(同类或异类)信息源, 根据某个特定标准在空间或时间上进行组合, 获得被测对象的一致性解释或者描述, 并使得该信息系统具有更好的性能。从融合级别上来说, 融合模型通常从数据、特征、决策三个层次上进行信息的融合处理。采用信息融合技术的系统结构一般可分为集中式融合、分布式融合和混合式融合架构。针对实际问题, 根据信息源数据特征的差异, 可单独采用不同层次的融合方法或组合某两个层次的递进融合方法, 从而得到使系统性能较优的融合方案。

关键词: 信息融合; 融合级别; 融合结构; 融合算法

A survey of research on multi-source information fusion technology

LI Yang, ZHAO Ming, XU Mengyao, LIU Yunfei, QIAN Yuchen

(School of Air Transportation, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

[Abstract] Multi-source information fusion technologies combine multiple homogeneous or heterogeneous information sources in space dimension or time dimension according to one specific standard, and obtain consistent interpretation or description of the measured object, then have better performance of the information system. According to the level of fusion, the fusion model usually integrates information from three levels—data level, feature level and decision level. The system architecture using information fusion technology can be generally divided into three kinds, such as centralized fusion, distributed fusion and hybrid fusion architecture. According to the actual problem with the different information source data characteristics, different level fusion methods could be separately adopted or some two levels of fusion methods combined, and better system performance could be obtained.

[Key words] information fusion; fusion level; fusion structure; fusion algorithm

0 引言

“信息融合”这个概念最早在 20 世纪 70 年代出现在一些文献中, 初期是美国为了军事需求, 将 C3I (Command, Control, Communication and Intelligence) 军事系统中的数据进行多源相关性融合, 并将其作为国防重点开发项目, 此后迅速发展成为一门独立学科。

信息融合概念的基本原则与出发点是: 充分利用多种信息源, 并根据特定标准把多个信息源在空间或时间上的冗余或互补信息进行组合, 来得到对被测对象的一致性解释或者描述, 使得该信息系统相对于由其包含的各个子集所构成的系统具有更好的性能。

在工业自动化控制领域, 非线性、大滞后性、模糊性、时变性和不确定性等相关特性逐渐成为对受控对象研究时的主要特征。假如系统出现故障, 通常会出现多种不同的故障症状, 如果只依据单一的

方法很难对发生的故障做出精确的判断, 这就导致系统在进行故障检测时, 很大几率会出现虚假警报或者漏报等。

1 信息融合

信息融合一般分为 4 个阶段, 分别是: 信息源收集整理阶段、信息源处理阶段、分析决策阶段和融合结论输出阶段。

1.1 信息融合层次

根据处理信息源所在的层次, 信息融合可分为数据层融合、特征层融合和决策层融合。其中, 数据是指每个区段传感器采集的测量数据。特征是指分析和转换后的数据结果和知识。决策是指观察目标的结论。这里对各融合层次分别研究后, 可得其阐释解析如下。

(1) 数据层融合。即将原始数据的直接融合。其输入是由多个传感器提供的各种类型的原始数据, 其输出为特征提取或者局部决策的结果。数据

基金项目: 国家社科基金项目(15BJL104)。

作者简介: 李洋(1994-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 载运工具故障诊断与控制、信息处理与模式识别; 赵鸣(1977-), 女, 副教授, 硕士生导师, 主要研究方向: 模式识别与智能系统、载运工具故障诊断与控制、数据挖掘与决策支持。

收稿日期: 2019-07-01

哈尔滨工业大学主办 ◆ 系统开发与应用

层融合的优点是:可以从其它融合层中没有的原始数据中提取更多细节。缺点是:较繁重的计算负担、较差的实时性能以及需要良好的容错能力来处理传感器数据本身的不稳定性和不确定性,且仅适用于同类传感器的原始数据融合。数据层融合框图如图1所示。

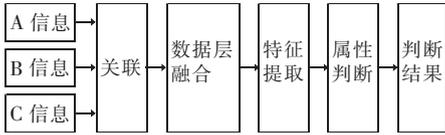


图1 数据层融合

Fig. 1 Data layer fusion

(2)特征层融合。是提取数据源的特征信息,进行分析和处理,保留足够的重要信息,为后期决策分析提供支持。特征层融合的优点是:提取原始数据信息特征后,减少了待处理的数据量,提高了实时性。特征层融合框图如图2所示。

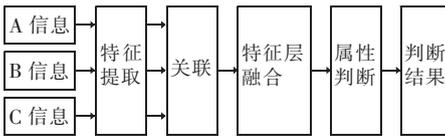


图2 特征层融合

Fig. 2 Feature layer fusion

(3)决策层融合,作为一种高层次融合,具有高灵活性、强抗干扰性、良好的容错性和较小的通信带宽要求。首先,对传感器测量数据进行预处理,获得研究对象的初步决策;然后,所有局部决策结果在某种规则下进行组合,以获得最终的联合决策结果。因此,决策层融合需要压缩传感器测量数据,这不仅具有高处理成本,而且还会丢失大量细节信息。决策层融合框图如图3所示。

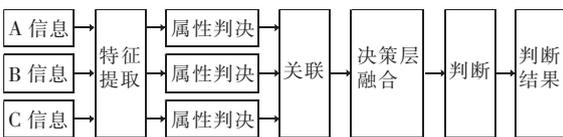


图3 决策层融合

Fig. 3 Decision layer fusion

综上所述可知,这3种不同层次的信息融合各有其优点、缺点和适用范围。假设各个传感器数据相互匹配(例如,2个传感器测量相同的物理特性),测量的传感器数据即可直接在数据层中融合。当各个传感器数据相互不匹配时,则需要根据特定情况来判断是采取特征层融合、还是决策层融合的方法。通常,通过融合原始数据来获得特征,再使用特征的融合来做出判断决策。无论是数据层融合、特征层融合还是决策层融合,都需要将相关的信息进行关

联和配准,区别在于数据的相关性和相互匹配的顺序是不一样的。理论上,数据层融合的优点是可以保留大量的原始数据,来为目标提供尽可能精细的信息,并获得尽可能准确的融合效果。决策层融合较少依赖于传感器。对于特定用途,判断采用哪个级别的融合集成是系统工程问题,应该全面考虑所处的环境、计算资源、信息来源特征等因素的综合影响。

1.2 信息融合结构

采用信息融合技术的系统结构一般可分为集中式融合、分布式融合和混合式融合架构。研究对此可做探讨总述如下。

(1)集中式融合。在集中式融合结构中,每个传感器的原始观测数据被发送到一个独特的中央处理单元、即融合中心进行融合后的全局判断。该结构具有高精度和低信息损失,但需要高通信带宽来传输原始数据,并且对中央处理单元的计算性能要求较高,真正实现起来较为困难。

(2)分布式融合。在分布式融合结构中,各个传感器预先处理观测到的原始数据,并进行初步判决,然后将局部处理结果发送到融合中心。与集中式融合结构相比,分布式融合结构降低了通信带宽要求,具有更好的可靠性和系统可行性。

(3)混合融合。结合了上述两种方法的优点,但在计算和网络通信上开销较大,主要应用于大型复杂系统。

2 信息融合算法及研究现状

2.1 信息融合算法

信息融合算法是融合处理的基础和重要内容。该算法就是基于信息融合的功能,在每个融合层中通过各种数学方法加工合成所需要的多维输入数据来实现融合。目前,存在许多融合算法,每种算法都有其自身的优点和缺点。目前最常用的算法有Bayes推理、模糊理论、Dempster/Shافر(D-S)证据理论和神经网络方法。针对各类算法,研究拟做研究分述如下。

D-S证据理论根本意义上是经典概率论的一种延伸。与模糊理论、贝叶斯信息融合和卡尔曼滤波相比,D-S证据理论可以有效地解决未知环境中的一些不确定信息。这一特殊优势使其可广泛用于信息融合。

Bayes推理是使用Bayes规则,在设置先验概率的条件下计算后验概率,并基于后验概率结果做出

相应的决策。Bayes 推理的研究难点是找到正确符合要求的概率分布,尤其当数据来自级别较低的传感器时。而且,考虑到实际应用中正常情况下先验概率是未知的,因此当设置的先验概率值不匹配时,结果是不准确的。

模糊推理,也称为近似推理。在融合过程中提取不准确的结果,以不准确为突破点,做进一步处理分析,而如何获得有效的推理规则则是其关键所在。决策树是一种典型的提取模糊推理规则的方法。

神经网络,这里主要指人工神经网络,即模拟人类的头脑来实现人类所具有的认知能力。神经网络是基于很多神经元连接,通过各个节点的运算来实现输入与输出的相关映射关系。神经网络可以应用于信息融合的各个层次。

2.2 研究现状

2.2.1 数据层融合

数据层信息融合中大多采用加权平均值或聚类算法。迄至目前,已发表了众多研究成果,对此详述如下。

徐森森^[1]在其论文中通过 V 型平面镜高光谱采集系统来获得马铃薯的高光谱图像,通过实验组成马铃薯的光谱属性矩阵,在数据层进行融合。用蚁群算法对预处理的数据进行降维,在此基础上运用遗传算法、网格搜索和果蝇优化算法分别对降维后参数优化,实验结果表明在数据层融合的果蝇优化算法最优。

杜刚^[2]对多传感器多系统数据层的融合结构进行了初步研究。从软件应用层和分站硬件两方面考虑了多系统融合平台的设计与构成。此外,文中提出基于逻辑报警控制和多系统融合后的联合互动,可以初步避免“信息孤岛”,有效解决因传感器失效、多系统人工操作等环节引起的应急响应时间增加。

冀少军^[3]在研究中利用欧氏距离确定距离矩阵,并使用最短距离聚类方法对其进行数据层的融合得到相互关联的传感器组。研究认为这样可以减少主观因素的影响,融合结果则是相对客观的。最终实验结果表明对于煤矿瓦斯预警模型的数据处理上,选择该方法具有优越性。

2.2.2 特征层融合

特征层信息融合算法包括神经网络、模糊理论和 D-S 证据理论等。近年来,最常用的是神经网络和模糊理论。对此研究成果,可得重点表述如下。

杨建平等人^[4]阐述了一种利用信息融合的特

征层融合思路,将 D-S 证据理论应用在航空发动机早期的故障诊断中。该方法考虑了发动机早期故障症状的不确定性,结合模糊测量的诊断结果更符合早期故障的实际情况。

王赞松等人^[5]通过借鉴国内外先进技术,用信息融合技术发现电控发动机故障诊断具有很好的优势。通过实验表明,基于 RBF 的特征层信息融合诊断优于单个传感器,实验还指出本次研究可实现信息压缩后的实时处理和诊断。

宋汉^[6]基于神经网络采用特征层信息融合对故障进行诊断。实验结果得出,通过集成的 RBF 信息融合技术可以降低信息的随机性,并且还可以提高系统输出信息的有效性 with 精度。

赵世荣等人^[7]选择用 RBF 对特征层的信息融合技术进行研究。研究结合模糊集理论诊断发动机气动元件的故障,模拟和分析涡轮轴发动机。通过实验表明,该方法实现较为简单,得到的结果精度较高,可以减少误报、虚警和漏报。

Turs 等人^[8]设计了一种涡扇发动机信息融合系统,可在发生外部损坏时提供可靠的预测。特征层融合是通过卡尔曼滤波所获得的发动机气路性能的变化和小波分析提取的轴承加速计信号特征的结合来识别外物损伤事件的。

Jackson^[9]通过特征层融合将模糊推理系统应用在典型军用航空发动机的仿真系统中。模拟引擎旨在从偏离参考引擎的引擎中恢复退化数据。将数据输入到系统中,来隔离各个故障分量与模拟的劣化数据和额外增加的噪声。实验结论表明,即使当前环境噪声较大,还是可以高精度地隔离其中的故障分量。

2.2.3 决策层融合

决策层信息融合常用的算法包括 D-S 证据理论、Bayes 推理和模糊理论。其中,最常用的算法是 D-S 证据理论。对其核心成果,可做剖析论述如下。

温迪^[10]用 D-S 证据理论来融合发动机信息的决策数据,建立了一个有证据冲突的有效故障决策层信息融合框架。实验结果表明,明显提高了航空发动机故障诊断的可靠性和安全性。

杨亚军^[11]针对火箭发动机故障诊断,运用了 RBF 技术、小波分析理论和 D-S 证据理论等相关技术,实现小波神经网络的决策层信息融合。该方法比较适用于该类型发动机故障诊断的分析。因为小波神经网络具有良好的局部分析能力与融合特性,研究中选用的是 D-S 小波神经网络,实验验证该成

果使发动机故障诊断的精确度大大提高。

孙见忠等人^[12]提出基于 Bayes 网络模型的多源诊断信息融合机制,对气源路径进行分析。该机制基于贝叶斯网络气体路径分析,即常规气体路径可测量参数是主要参数。通过将 Bayes 用于多源传感器信息的融合,得出实验结论,如果仅仅使用气路参数进行诊断,精确度不高,但若将更多其它的状态信息参数和气路参数进行融合,诊断的故障精确度则会有明显提升。

任淑红等人^[13]针对发动机的剩余寿命问题,利用性能退化可靠性理论和 Bayes 更新方法实现在决策层的信息融合。首先,分析导致航空发动机性能下降的过程,并通过 Bayes 更新方法得到了基于性能退化信息的航空发动机剩余寿命的分布情况。然后,通过免疫粒子群优化(IPSO)来构建该预测模型。实验结论得出,该方法的预测精度明显提高,并且容易操作,有着较好实用性。

3 结束语

对基于信息融合技术的进展及应用现状进行研究,总结可以通过 2 种信息融合思路来处理现实中的问题。研究表述具体如下。

(1)可以对目标问题分别采用数据层融合、特征层融合和决策层融合方法,得到各种融合方案下的信息融合结果,并进行方法优劣的比较,最终选择较优的信息融合方案。

(2)可以先用数据层融合得到信息融合结果,作为特征层或决策层融合输入,同理也可以将特征层融合结果作为决策层融合输入。对于具体工

程问题,不仅要选择合适的融合算法,还要关注集成系统的结构,如信息收集与合成,传感器管理和控制等。

研究还得知,将 D-S 证据理论、模糊理论、神经网络和贝叶斯方法等智能技术有机地结合起来,应用到实际信息融合问题,将是未来的重要研究方向和发展趋势。

参考文献

- [1] 徐森森. 基于高光谱不同层次信息融合的马铃薯轻微损伤检测方法[D]. 武汉:华中农业大学, 2016.
- [2] 杜刚. 基于多系统数据级融合的煤矿监测监控逻辑报警分析[J]. 山西煤炭, 2017, 37(5):13-21.
- [3] 冀少军. 多传感器数据融合技术在煤矿瓦斯预警中的应用研究[D]. 邯郸:河北工程大学, 2016.
- [4] 杨建平, 黄洪钟, 苗强, 等. 基于证据理论的航空发动机早期故障诊断方法[J]. 航空动力学报, 2008, 23(12):2327-2331.
- [5] 王赞松, 褚福磊, 何永勇, 等. 基于信息融合技术的发动机故障诊断的研究[J]. 内燃机学报, 2003, 21(5):374-378.
- [6] 宋汉. 基于信息融合技术的航空发动机故障诊断研究[D]. 长沙:中南大学, 2013.
- [7] 赵世荣, 黄向华. 应用神经网络信息融合诊断航空发动机故障[J]. 航空动力学报, 2008, 23(1):163-168.
- [8] TURSOJ A, LITT J S. A foreign object damage event detector data fusion system for turbofan engines [J]. Journal of Aerospace Computing, Information, and Communication, 2005, 2(7):291.
- [9] RUBENS N O. The application of fuzzy logic to the construction of the ranking function of information retrieval system [J]. Computer Modelling and New Technology, 2006, 10(1):20-27.
- [10] 温迪. 基于 D-S 证据理论的航空发动机气路故障信息融合与 FMECA 分析[D]. 成都:电子科技大学, 2014.
- [11] 杨亚军, 王福明. 基于 D-S 的小波神经网络信息融合方法[J]. 弹箭与制导学报, 2006, 26(4):266-268.
- [12] 孙见忠, 左洪福. 基于多源诊断信息融合的发动机气路分析[J]. 航空动力学报, 2013, 28(8):1885-1896.
- [13] 任淑红, 左洪福. 基于性能衰退的航空发动机剩余寿命组合预测方法[J]. 机械科学与技术, 2011, 30(1):23-29.

(上接第 185 页)

- [6] LEE H K, LEE J G, JEE G I. Calibration of measurement delay in global positioning system/strapdown inertial navigation system [J]. Journal of Guidance, Control, and Dynamics, 2002, 25(2):240-247.
- [7] BRUTON A M. Improving the accuracy and resolution of SINS/DGPS airborne gravimetry[D]. Calgary, AB, Canada:University of Calgary, 2000.
- [8] BAR-ITZHACK I Y, VITEK Y. The enigma of false bias detection in a strapdown system during transfer alignment [J]. Journal of Guidance, Control, and Dynamics, 1985, 8(2):175-180.
- [9] OCHIENG W Y, SAUER K, WALSH D, et al. GPS integrity and potential impact on aviation safety[J]. Journal of Navigation, 2003, 56(1):51-65.
- [10] NILSSON J O, SKOG I, HÄNDEL P. Aligning the forces—Eliminating the misalignments in IMU arrays [J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2014, 63(10):2498-2500.
- [11] MOON S B, SKELLY P, TOWSLEY D. Estimation and removal of clock skew from network delay measurements [C]//Proceedings of the Eighteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, INFOCOM 1999. New York, USA:IEEE, 1999:227-234.
- [12] LAAKSO T I, VÄLIMÄKI V, KARJALAINEN M, et al. Splitting the unit delay [FIR/all pass filters design] [J]. IEEE Signal Processing Magazine, 1996, 13(1):30-60.
- [13] VÄLIMÄKI V. A new filter implementation strategy for Lagrange interpolation [C]//Proceedings of ISCAS '95 - International Symposium on Circuits and Systems. Seattle, WA, USA:IEEE, 1995, 1:361-364.
- [14] BROWN R J, SAGE A P. Estimation using stochastic feedback with applications to integrated navigation systems [J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 1971(2):355-366.
- [15] SKOG I. GNSS-aided INS for land vehicle positioning and navigation[D]. Stockholm:KTH, 2007.