

信息融合技术在电力系统中的应用研究(一) ——基本原理与方法

胡玉峰,尹项根,陈德树,张哲

(华中科技大学电气与电子工程学院,湖北 武汉 430074)

摘要:以信息融合技术为研究对象,结合电力系统的实际特点,探讨该技术在电力系统中应用的一些问题。本文作为第一部分,主要侧重于信息融合技术的介绍。首先阐述了信息融合技术的基本定义和原理,具体给出了信息融合技术的三层模型,指出各层次上信息融合的特点。然后按信息融合的过程,说明了信息融合技术中的各功能模型,最后,较详细地概述了信息融合技术的基本方法和基本特点。

关键词:信息融合;神经网络;模糊集合理论;专家系统;AI技术;聚类分析法;表决法

中图分类号: TM73 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2002)12-0001-05

1 引言

在自动控制、航空交通管制、特别是军事作战指挥等领域,为减轻人工处理信息的工作量,提高系统的容错性、健全性以及重组能力和将复杂高阶系统完美的降阶处理,越来越需要多个传感器提供多种观测信息,进行优化融合处理。在这种背景下,一种新的信息处理方法——数据融合(信息融合)技术便应运而生。

信息融合技术作为一种自动化信息综合处理技术,自80年代形成和发展以来,在军事部门、自动控制领域、航空交通管制以及医疗诊断等领域迅速得到普及。同时,由于传感技术、微机技术、系统集成技术、智能控制等相关领域的日新月异,信息融合技术在基本理论与实现方法上得到了极大的充实,在各工业控制领域的渗透也大大加快。

电力事业的迅猛发展,使得今天的电力系统已成为高阶非线性、高复杂性的广域大系统,系统规模的不断扩大、电力设备的日益繁多以及目前电力市场机制带来的电力管制解除后运行方式的不确定性,都给系统的安全稳定控制提出了新的问题。另一方面,目前国家电力数据网(SPDnet State Power Data Net)的建设,变电站综合自动化(SA)、配电网自动化系统(DA)的普及,各种信息管理系统(如SCADA/EMS系统)在电力领域的应用,都表明IT技术已越来越融入到电力系统中来。但总体来说,目前电力系统在信息处理技术上还较为落后,主要表现在信息的加工还居于底层的数字信号处理阶段(最普遍的应用是各种滤波算法);信息的采集重复性较大,未能实现信息的优化,造成硬件建设的重复与控

制回路的复杂(最典型的是目前电力系统仍然大量存在的传统远动系统);信息的应用过于简单(如各种控制系统往往只利用某一个量或少数几个量的比较做出决策),导致控制系统在处理边缘问题上的缺陷十分突出(如过流保护无法区分线路末端故障与下一线路母线始端故障,距离保护对处理区外故障时引起的系统振荡和振荡中的内部故障往往显得力不从心)。所有这些,都对电力系统的信息处理技术提出了更高的要求。本文以此为研究对象,从信息融合的角度对此问题做一些探讨。

2 信息融合技术的基本概念

2.1 基本定义和原理

信息融合技术(又称数据融合)是针对一个系统中使用多种传感器(多个和/或多类)这一特定问题而展开的一种信息处理的新方向,因此,信息融合又可称为多传感器融合(MSF)。由于融合一词被众多应用领域大量引用,因而目前信息融合已成为一个广域的概念,很难给出一个统一的定义。本文根据国内外的研究成果,结合文[1]的应用分析,将其定义为:利用计算机技术,对按时序获得的若干传感器的观测信息,在一定准则下加以自动分析、综合,以完成所需的决策和估计任务而进行的信息处理过程。

信息融合的基本原理与人脑综合处理信息一样,充分利用多个传感器资源(如人的眼、耳、鼻、四肢),通过对传感器及其观测信息的合理分配和使用,把多个传感器在空间和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。其基本目标是通过数据组合而不

是出现在输入信息中的任何个别元素,推导出更多的信息,是最佳协同作用的结果,即利用多个传感器共同或联合操作的优势,提高传感器的有效性。

2.2 信息融合的种类和层次

从所应用的传感器从属范围来分,信息融合可分为两类不同的系统:第一类是局部或自备式,它收集来自单个平台上多个传感器的数据;第二类称为全局或区域融合,它组合来自空间和时间上各不相同的多个平台多个传感器的数据。这里有必要解释一下“平台”的概念。由于信息融合技术最早产生和应用于军事领域,特别是雷达跟踪系统和敌我识别系统,所以此处定义的“平台”原意是指各种御警作战系统,如:地面雷达、机载雷达、舰载雷达、电子御警飞机等。应用于工业控制系统后,“平台”可根据具体应用来理解,如变电站智能控制的“平台”可理解为整个变电站系统;设备状态监测的“平台”则可理解为被监测设备。

按照数据抽象的三个层次,融合可分为三个层次:数据层信息融合、特征层信息融合和决策层信息融合。

数据层信息融合是直接采集到的原始数据层上进行的融合,在各种传感器的原始测报未经预处理之前就进行数据的综合和分析,是最低层次的融合。如目前电力系统控制设备普遍采用的各种滤波算法就属于此范畴。数据层融合的主要优点是能保持尽可能多的现场数据,提供其它融合层所不能提供的细微信息。但局限性也很明显,主要有:需处理的传感器数据量太大,处理代价高,处理时间长,实时性差;由于是在信息的最底层进行处理,传感器原始信息的不确定性、不完全性和不稳定性要求在融合时有较高的纠错能力;数据的通信量大,抗干扰能力差。

特征层融合属于中间层次,它先对来自传感器的原始信息进行特征提取,然后对特征信息进行综合分析处理。特征层融合的优点在于实现了可观的信息压缩,有利于实时处理,并且由于所提出的特征直接与决策分析有关,因而融合结果最大限度地给出决策分析所需要的特征信息。

决策层融合是高层次融合,其结果为控制决策提供依据。因此,决策层融合必须从具体决策问题的需求出发,充分利用特征层融合所提取的测量对象各类特征信息,采用适当的融合技术来实现,决策层融合是三级融合的最终结果,是直接针对具体决策目标的,融合结果直接影响决策水平。决策层

融合的主要优点有:具有较高的灵活性;系统对信息传输带宽要求较低;能有效地反映对象各个侧面的不同类型信息;当一个或几个传感器出现错误时,通过适当地融合,系统还能获得正确的结果,具有容错性;通信量小,抗干扰能力强;对传感器的依赖小,传感器可以是同质的,也可以是异质的。但是,决策层融合首先要对原传感器信息进行预处理以获得各自的判定结果,所以预处理代价高。

2.3 信息融合的功能模型

为简单说明信息融合过程的概貌,图1给出一个简单的多传感器信息融合系统的功能模型,以说明信息融合过程中的基本信息处理流和基本功能模块。

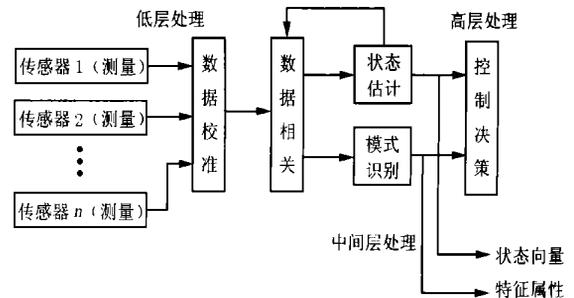


图1 信息融合系统的功能模型

Fig. 1 The function model of information fusion system

(1) 测量(探测)

以传感器(可以是同质的,也可以是不同质的)为采集信息手段,采集受控系统的各种信息量(如模拟量、开关量、脉冲量等),被采集的对象不限于同一物体,可以是被控制系统的各个组成部分,如变电站系统中的各电气设备。每个传感器进行独立的测量和判断,并将测量参数报告给信息融合系统。

(2) 数据校准

数据校准单元是为了统一各传感器的时间和空间参考点,若各传感器在时间和空间上是独立异步工作的,则必须事先进行时间和空间的校准,即进行时间搬移和坐标变换,以形成融合所需的统一时间和空间参考点。

(3) 数据相关(互联、关联)

数据相关单元的作用是判别不同时间、空间的数据是否来自统一目标。相关单元在收集到某个传感器的新测量值后,与其它传感器的新测量值以及该传感器过去的测量值进行相关处理,以判断属于同一目标的数据。

(4) 状态估计

状态估计是将每次采集到的新数据与原有的数

据进行融合,根据传感器的观测值估计对象参数(如电流、电压量,系统频率,稳定裕度等),并利用这些估计预测下一次对象的状态,预测值被反馈给随后的采集量,以便进行相关处理。

(5) 模式识别

模式识别又可分为属性分类,它根据不同传感器测得的对象特征形成一个 N 维的特征向量,其中每一维代表对象的一个独立特征。若预先知道对象有 m 个类型,以及每个类型的特征,即可将实测特征向量与已知类别的特征进行比较,从而确定目标的类别。

(6) 控制决策

在得到被控对象的状态估计与确定出所属的模式类型后,便可将这些结果进行决策层融合,给出相应的控制策略。

3 信息融合技术的基本方法

3.1 信息融合技术的不确定性

从广域大系统的运行模式来说,不确定性是其基本属性。系统越简单,运行和控制方式的确定性因素则越强,反之,系统的规模越大,包含的组件越多,则其运行和控制越复杂,不确定因素越强。这一点,是所有工业控制系统的共同属性。

前面说过,目前的电力系统在经过数十年的发展历程后,已成为高阶非线性、高复杂性的大系统。其内部的各电气设备更是复杂多样,有机械旋转电磁型的(如电动机与发电机)、静止耦合电磁型的(如变压器、电流互感器 TA、电压互感器 TV)、中低压短线路(可不考虑分布电容)、超高压长距离输电线路(分布电容较大)等等,再加上目前电力电子装置的逐步推广与使用,更是加大了这种复杂度。单就电力系统数学建模来说,就可达到数十阶。更有甚者,电力系统的运行方式变化多样,异常与故障情况各不相同,所有这些,都大大增加了电力系统控制的不确定因素。

传统的系统控制方式中,确定性方法占据主体地位,这一方面是因为过去的系统相对简单,用确定性方法基本可以满足系统的要求;另一方面,不确定控制策略(如模糊控制、神经网络、模式识别)无论在理论与实现方法上距离实用化还有较大差距。但随着系统的不断扩大,确定性方法的缺陷日益表现出来,而微机技术的飞速发展,相关领域研究成果的逐步实用,为不确定性控制策略在工业控制领域的推广与普及铺平了道路。即便是在对实时性、可靠性

要求非常严格的电力系统,不确定控制也在逐步得到推广。以电力系统继电保护领域为例(作为电力系统的守护神,继电保护系统可以说是电力控制系统中实时性与可靠性要求最严格的系统),过流保护是早在十九世纪末就提出的保护理论,作为一种确定的动作判据,曾在系统的安全稳定运行中发挥了重要作用。但随着系统的日益复杂,其受系统运行方式影响大的不足越来越突出,对于短线路甚至没有保护区。为此,自适应过流保护^[2]被提了出来,它根据系统等值阻抗的变化实时调整过流定值,使得保护区不受系统运行方式的影响。发电机定子 100% 接地保护一般由基波零序电压和三次谐波电压共同组成,由于发电机运行方式的多样性以及系统振荡的影响,传统的三次谐波电压比率制动判据无法满足灵敏度的要求,为此,文[3]提出了自适应三次谐波保护方案,采用实时跟踪来调整幅值和相角调节系数 K_p ,大大提高了保护的灵敏度。与此类类似的还有切换型阻抗继电器^[4],自适应差动判据^[5]等,这些自适应继电器与传统继电器比较,最大的区别在于其控制方式已由传统的单一、确定的方式变为多样、随运行方式变化而变动的控制方式,尽管与本文后续章节要介绍的信息融合方法还有较大差别,但其控制的不确定性却是一致的,正因为这种不确定性与目前复杂系统的不确定性相适应,才导致控制效果的明显改善。

信息融合技术可以说是在充分考虑系统不确定性因素基础上提出的一整套理论,其理论的创始人在运用过程中发现,作为一种大系统多信息处理模式,确定性方法不适用于多传感器数据融合,因而在理论的形成与实现技术的提出上主要偏重于不确定方法,为此本文在此重点提出信息融合技术的不确定性属性。

3.2 信息融合技术的基本方法

(1) 用于多传感器数据融合的 D-S 方法

做为贝叶斯(Bayes)^[6]理论扩充而来的 D-S 推理技术(证据理论)目前在多传感器数据融合中已得到广泛运用,其基本思想是通过集合表示命题,利用概率分配函数、信任函数、似然函数及其相互之间的推理与算法来进行目标识别。有关的基本概念和方法已有许多文献做出介绍,本文在此仅简要介绍一下其推理过程。

多传感器数据融合中的 D-S 推理是将对命题的不确定性描述转化为对集合的不确定性描述。设有一识别对象,将其所有可能的状态(如线路的短路故

障类型) 定义为一个集合, 称之为辨识框架, 用 Ω 表示, 则对象的每一个状态对应 Ω 中的一个子集。证据理论用基本概率分配函数、信任度函数和似然函数来描述客观证据(一般为各独立传感器的采集量)对命题的支持程度。在进行推理时, 首先用分割法将要解决的问题进行分解, 得到分层的推理网络。即将复杂问题转换为若干子问题(D-S 推理称两者为父问题和子问题), 然后根据每一个子问题确定其辨识框架, 同时根据从传感器获得的信息(证据)形成最下层的基本概率分配函数, 接着根据推理网络的逻辑关系进行推理运算, 得到最终目标的辨识框架上的概率分配函数和相应的信任函数值, 并由此得到最终结果。

(2) 基于信息论的多传感器数据融合方法

在某些场合, 多传感器数据融合并不需要用统计的方法直接模拟观测数据的随机形式, 而是依赖于观测参数与目标身份之间的映射关系来对目标进行识别。这类方法称为基于信息论的融合方法, 如模板法、聚类分析法、自适应神经网络、表决法和熵法。由于模板法^[7]、神经网络^[8]、熵法^[9]在电力系统中的应用已有文献作过分析, 本文在此不做赘述, 仅简要介绍一下聚类分析法和表决法。

聚类分析法是一种启发式算法, 在模式类数目不是精确知道的标志性应用中, 这类方法很有效。它是按某种聚类准则将数据分组(聚类), 并由分析员把每个数据组解释为相应的目标类。如系统三相电流、电压的幅值和相位关系以及其中的频谱分析(如目前方兴未艾的电力系统小波分析的应用)可以用来区分不同类型的运行模式(如发生不同类型的短路故障、系统振荡、稳定裕度等等), 当一个或多个传感器观测到一个对象(如不同类型的运行模式)时, 就选择传感器数据, 通过一个聚类分析算法将这些数据按类(模式类别)分组, 就可以把这些数据组解释为表示目标类的隶属关系。已经提出的分类算法有分层聚类法、迭代分割法、分层设计法、因素分析法和图论法。图2给出了聚类分析法的概念。

为了聚类必须有一个聚类准则, 如把各种各样的相似性或距离度量作为数据样本的聚类准则。常用的聚类准则有以下几种:

$$\text{点积: } X_i \cdot X_j = |X_i| \cdot |X_j| \cdot \cos(X_i \cdot X_j)$$

相似性比:

$$S(X_i, X_j) = \frac{X_i \cdot X_j}{X_i \cdot X_i + X_j \cdot X_j - X_i \cdot X_j}$$

加权的欧几里德距离:

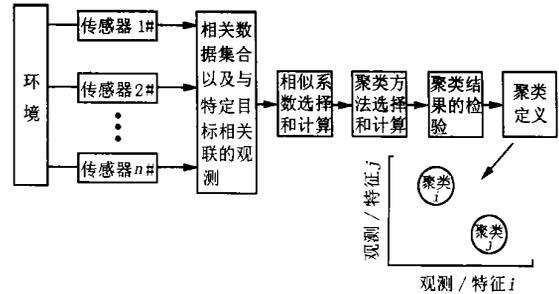


图2 多传感数据融合的聚类分析法

Fig. 2 The clustering analysis method of MSF

$$d(X_i, X_j) = \sqrt{\sum_{k=1}^n W_k (X_{ik} - X_{jk})^2}$$

不加权的欧几里德距离:

$$d(X_i, X_j) = \sqrt{\sum_{k=1}^n (X_{ik} - X_{jk})^2}$$

布尔“与”运算(或加权布尔“与”运算)

$$S(X_i, X_j) = \prod_{k=1}^n X_{ik} \cdot X_{jk}$$

规范化的相关系数:

$$\text{dep}(X_i, X_j) = \frac{X_i \cdot X_j}{\sqrt{(X_i \cdot X_i)(X_j \cdot X_j)}}$$

表决法类似于日常生活中的投票选举, 它包括布尔“与”、“或”处理, 是多传感器数据融合中最简单的技术。它由每个传感器提供对被测对象状态的一个判断, 然后由表决算法对这些判断进行搜索, 以找到一个由半数以上传感器“同意”的判断(或采取其它简单的判定规则), 并宣布表决结果。也可采用加权方法、门限技术以及其它判定方法等, 这种方法在没有准确的先验统计数据可利用时十分有用, 特别是对于实时融合很有吸引力。

(3) 基于认识模型的多传感器数据融合方法

基于认识模型的多传感器融合(MSF)方法是模仿人类从其多传感器(耳、眼、鼻、手等)数据辨识实体的识别过程模型, 其中有模糊集合理论、逻辑模板法以及基于知识的专家系统等。近年来, 模糊集合理论与专家系统在电力系统已有较普遍的运用, 许多文献做了相关介绍^{[8][9][10]}, 在此不做重复, 仅对逻辑模板法做简要介绍。

逻辑模板法实质上是一种匹配识别的方法, 它将系统的一个预先确定的模式(模板)与观测数据进行匹配, 确定条件是否满足, 从而进行推理。预先确定的模式中 can 包含逻辑条件、模糊概念、观测数据以及用来定义一个模式的逻辑关系中的不确定性等。因此模板实质上是一种表示与逻辑关系进行匹

配的综合参数模式方法。

(4) 智能数据融合

AI技术的使用是目前智能数据融合的主要方向,它的应用可以融合到数据融合的各个层次,前面所说的自适应方法可以看作是AI技术在工程领域最简单的一种应用,比较高层次的应用还包括:提供对象状态识别、模型解释、辅助决策等各项功能,提高这些判别环节的智能化程度和对系统多变运行方式的适应性;使用多个互相协作的ES系统,以便真正利用多个领域的知识进行信息融合;使用学习系统,以便自动适应系统运行状态的变化;使用先进的立体数据库管理技术为推理过程提供服务。

4 结论

从前面的分析可以看出,作为复杂大系统的信息处理技术,信息融合技术具有多信息量(来自多传感器的丰富信息)、多层次(可实现由低到高三层融合)、多手段(各种信息处理与融合技术的综合)等优点与特点,将其引入与应用到运行方式变化大、系统结构复杂的电力系统中来,充分发挥其强大的信息处理优势,可以弥补目前电力系统在信息处理技术上的不足与缺陷,同时有可能解决系统控制中长期存在的一些技术难题。本文将在第二部分对信息融合技术在电力系统的应用作一些有益地探讨。

参考文献:

- [1] 刘同明,夏祖勋,解洪成.数据融合技术及其应用[M].北京:国防工业出版社,1998.
- [2] 葛耀中,赵梦华,彭鹏.微机自适应馈线保护的研究和开发[J].电力系统自动化,1999,23(3):19-22.
- [3] 苏洪波,尹项根.高灵敏度的三次谐波式发电机定子接地保护[J].电力系统自动化,1997,21(3):21-24.
- [4] 叶萍,陈德树.一种能克服 i_0 极化接地距离继电器区外稳态超越问题的新方案[J].中国电机工程学报,

- 1995,15(3):199-203.
- [5] 胡玉峰,陈德树,尹项根.自适应采样值差动在变压器保护中的应用[J].电力系统自动化,2001,25(10):31-34.
- [6] 段新生.证据理论与决策、人工智能[M].北京:中国人民大学,1993.
- [7] 卢志刚,古国晨,周卫东.SDCCZPES操作票辅助开票及管理专家系统[J].贵州工业大学学报(自然科学版),1999,28(4):79-82.
- [8] 陈维荣,钱清泉,王晓茹.神经网络在继电保护及故障诊断中的应用[J].电力系统自动化,1997,21(5):5-9.
- [9] 朱嘉,郭立,王宁.多传感器多目标检测中的数据关联[J].控制与决策,2000,15(2):189-192.
- [10] 魏民祥,董龙雷,王晓云.基于不确定性推理原理的机组振动信息融合技术[J].中国电机工程学报,2000,20(9):64-66.
- [11] 蔡鹤皋,金明河,金峰.卡尔曼滤波与多传感器数据融合技术[J].模式识别与人工智能,2000,13(3):248-252.
- [12] 束洪春,司大军,葛耀中,等.神经网络应用于输电线路故障测距研究[J].电工技术学报,2000,15(6):61-64.
- [13] 毕天姝,倪以信,杨奇逊.人工智能技术在输电网络故障诊断中的应用述评[J].电力系统自动化,2000,24(2):11-16.
- [14] 叶在福,单渊达.基于信度的不确定性推理——证据理论及其在电力系统规划中的应用[J].电力系统及其自动化学报,2000,12(3):5-8.

收稿日期:2001-11-27; 修回日期:2002-09-03

作者简介:

胡玉峰(1975-),男,博士研究生,从事电力系统继电保护的研究;

尹项根(1956-),男,教授,博士生导师,主要从事电力系统继电保护、变电站自动化及电力系统控制的研究;

陈德树(1930-),男,教授,博士生导师,IEEE高级会员,主要从事电力系统继电保护与安全稳定控制领域的研究。

The application study of information fusion in power system basic theory and method

HU Yufeng, YIN Xianggen, CHEN Deshu, ZHANG Zhe

(The Institute of Electric & Electronic Engineering, Huazhong University of Sci. &Tech., Wuhan 430074, China)

Abstract: Aimed at information fusion technology and combined with the practical character of the power system, some problem about how to use the technology in the power system is discussed. As the first part, this paper puts the emphasis on the introduction of the new technology. Firstly, the basic definition and theory of the information fusion technology are expatiated, the threelevels model of the technology is presented in detail and the corresponding characters of each level are pointed out. Then, according to the process of information fusion, the paper nar rates each function model in the process. Finally, the paper shows the basic methods and the features of these methods.

Key words: information fusion; Neural Network; fuzzy set theory; artificial intelligence technique; cluster analysis; vote method