

文章编号: 1005-3026(2004)01-0032-04

基于威胁博弈理论的决策级融合模型

王刚, 赵海, 魏守智

(东北大学 信息科学与工程学院, 辽宁 沈阳 110004)

摘 要: 针对多传感器信息融合系统中普遍存在的冲突信息环境下的融合系统决策问题, 提出了一种新的基于威胁博弈的决策级信息融合模型. 该模型将冲突环境下的融合过程视为局部决策空间、策略空间和全局决策空间上的变换过程, 并以此构建融合中心的一种结构模型. 在融合算法的研究中, 以威胁博弈的算法实现融合中心的多传感器交互决策. 在应用中将该模型用于丰满水电仿真系统调速器 PID 模型的参数在线调整. 经现场应用表明, 该模型可以有效地解决原 PID 模型参数整定困难而导致的系统转速和频率振荡等问题.

关键词: 多传感器; 决策级融合; 威胁博弈; 水电仿真; 调速器
中图分类号: TP 391 **文献标识码:** A

多传感器决策级信息融合技术理论上不同于传统的决策方法或单传感器的决策问题, 它是充分利用多个传感器的观测信息或局部决策信息, 分析整个系统可能的发展态势, 从而为整个系统做出更为准确可靠的决策结果. 由于多传感器决策级信息融合所带来的诸多效益, 使其广泛应用于工业过程监控、航空交通管制、医疗诊断及军事作战指挥等领域中^[1~4].

但是在决策级融合系统的实际应用中发现, 由于多传感器系统的引入, 各传感器所提供的信息一般是不完整、不精确, 甚至可能是矛盾的, 从而使融合系统有可能面对大量的冲突(矛盾)信息, 因此对于冲突信息的处理, 即冲突信息环境下的融合系统决策问题, 成为信息融合理论研究中必须面对的问题^[5]. 而对此融合方法多采用各种不确定性推理技术, 包括 Bayes 概率推理、DS 证据推理、模糊推理等, 其决策思想是各融合节点决策结果不确定性的传播和融合^[6]. 文献[7]中在冲突环境的不确定性的基础上提出了一种增强和减弱冲突证据的代数方法.

本文在研究了博弈理论的基础上, 利用了威胁博弈的观点解决冲突环境下的融合系统的决策问题, 提出了一种基于威胁博弈理论的决策级信息融合模型, 并用于丰满水电仿真系统调速器 PID 模型参数的在线调节. 经现场应用表明, 该模型可有效解决原 PID 仿真模型收敛速度慢和动

态误差大等问题.

1 威胁博弈理论

博弈论研究源于 20 世纪初, 其根源在于贝叶斯决策理论. 事实上博弈论可以看做是决策理论在多个决策者且其决策过程相互影响的问题上的推广. 通常一个博弈模型由局中人、策略集和支付集 3 个基本要素构成.

一个两人威胁博弈模型形式上可以表示为 $= (\{I_1, I_2\}, C_A, C_B, A_m \times n, (w_1, w_2))$. 在该模型中, $\{I_1, I_2\}$ 分别表示博弈的局中人和局中人. 在博弈中局中人 I_1 有 m 个纯策略, 局中人 I_2 有 n 个纯策略, 则矩阵 $A_{i \times j}$ 表示局中人 I_1 采用策略 i , 局中人 I_2 采用策略 j 时该局中人的支付.

假定在威胁博弈中两个局中人在博弈前经协商达成了一项协议, 则根据协议, 可望得到的所有支付构成了一个有界凸集 F , 称之为可行集. 在可行集 F 中有一个特殊的赢得点 (w_1, w_2) , 称之为现状点, $v(w_1, w_2)$ 为现状点的支付. 对于一个威胁博弈来说, 局中人的最终支付仅取决于现状点和可行集的选取.

威胁博弈作为一种特殊的合作博弈, 其解函数 $\phi(F, v)$ 应满足合作博弈的纳什谈判公理, 并且解函数应同时满足最大化纳什积的要求^[8], 即

$$\phi(F, v) = \arg \max_{x \in F, x \geq v} ((x_1 - w_1)(x_2 - w_2)) \quad (1)$$

收稿日期: 2003-04-16

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(69873007).

作者简介: 王刚(1973-), 男, 内蒙古赤峰人, 东北大学博士研究生; 赵海(1959-), 男, 辽宁沈阳人, 东北大学教授, 博士生导师.

2 基于威胁博弈的决策级融合模型

2.1 融合系统的融合过程及其结构模型

决策级融合作为一种高层融合,其融合过程通常是构建一个全局融合中心,该融合中心获取所有传感器的局部决策,并对所有局部决策进行融合.在具体应用中,融合系统的融合过程及结构模型随具体应用问题和融合算法的不同而不同,因此采用适当的融合过程和构建适合的融合结构成为合理地应用融合技术的关键问题.

在基于威胁博弈的决策级融合模型中,将融合过程看做是不同空间之间的变换过程,如图 1 所示.在该模型的输入端是各传感器的局部决策,由此构成局部决策空间,而融合模型的最终融合结果构成全局决策空间,则整个融合过程看做是由局部决策空间到全局决策空间的变换过程.在该变换过程中考虑到各传感器决策之间的冲突影响,从博弈论的观点来看,可以将冲突看做是多个传感器采用不同策略之间的交互决策.由此,在局部决策空间和全局决策空间之间构建了一个策略空间,用以表示交互过程中各传感器可能采用的不同策略.因此,该模型的融合过程由两个变换完成:由局部决策空间的局部决策构建融合所需策略空间的策略;由策略空间经融合决策得出全局决策.

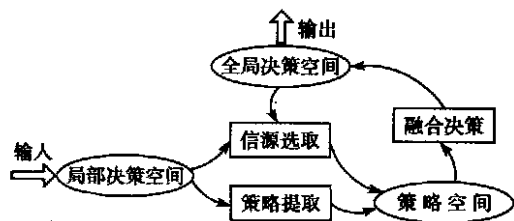


图 1 本模型的融合过程
Fig. 1 Fusion process of the model

在该模型中,全局决策的结果不仅可直接作为融合系统的最终结果,而且可以进行信源选取以指导下一次融合过程的策略信息的提取.

在融合系统中,基于上述融合过程构建融合中心的结构如图 2 所示.融合中心分为信源选择、策略提取和融合决策 3 个模块.信源选择模块和策略提取模块完成交互策略信息的提取及表达工作.融合矩阵表示应用基于威胁博弈的融合算法

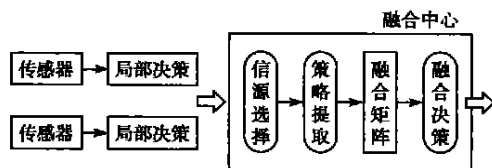


图 2 融合中心的结构模型
Fig. 2 Architecture of the fusion center

而生成的对于各传感器当前态势的定量度量值.融合决策模块则是根据所得的融合矩阵得出全局融合判决.

2.2 融合系统的融合算法

设在决策级融合系统中有 m 个可能的目标类型,以集合 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$ 表示,有 n 个传感器参与融合,以 $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ 表示.

考虑在决策融合过程中各传感器的交互影响,以集合 $(c_i)_{i \in S}$ 表示第 i 个传感器在交互中可以做出的策略,则交互过程中的策略组合是 S 中所有传感器可以选择的策略组合,记为 $C = \times_{i \in S} c_i$.对于 C 中的任一策略组合 c , $\mu_i(c)$ 表示此时融合系统在该策略组合中第 i 个传感器对系统产生的期望效用支付.

考虑多传感器的交互决策问题,由于多传感器信息融合系统充分利用各传感器的观测或决策信息,因而融合系统趋向于使各传感器的作用最大化,即在融合系统中,传感器 i 和融合决策 u 应满足下式:

$$c \in U \quad u = \arg \max_c \mu_i(c) \quad (2)$$

下面首先考虑存在两个传感器时的决策级融合问题.

设 $\{S_A, S_B\}$ 分别表示融合系统中的传感器 A 和 B.对传感器 A 可采纳的策略集为 C_A ,传感器 B 的策略集为 C_B .在融合过程中 S_A 和 S_B 中的策略可以构成 $m \times n$ 个交互态势,对 $\exists i \in m, j \in n$ 的态势,将 S_A 对系统的支付效用记为 u_{ij} , S_B 对系统的支付效用记为 v_{ij} ,则该融合过程中系统的支付效用集可以用如下的支付矩阵表示,在此称之为融合矩阵:

$$\begin{bmatrix} (u_{11}, v_{11}) & (u_{12}, v_{12}) & \dots & (u_{1n}, v_{1n}) \\ (u_{21}, v_{21}) & (u_{22}, v_{22}) & \dots & (u_{2n}, v_{2n}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ (u_{m1}, v_{m1}) & (u_{m2}, v_{m2}) & \dots & (u_{mn}, v_{mn}) \end{bmatrix} \quad (3)$$

在该融合算法的研究中,当根据具体的融合问题确定了模型的传感器集、决策集和融合矩阵后,对融合算法的研究采用了威胁博弈的方法.即在已知传感器 S_A 的局部决策下,在传感器 S_B 的决策集中选择某一决策,使在传感器 S_A 和 S_B 决策构成的现状点时的系统支付效用最大化.

假定在融合的过程中,传感器 S_A 的局部决策为 u_1 时,传感器 S_B 可做出的局部决策为 $u_2 \in C_B$,且此时融合系统的支付效用为 $w_i(u_1, u_2)$, $i = 1, 2$,则 (u_1, u_2) 为融合系统解应满足的条件为

$$\left. \begin{aligned} w_1(1, 2) &= w_1(1, 2), \forall 1 \in C_A; \\ w_2(1, 2) &= w_2(1, 2), \forall 2 \in C_B \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

当融合系统由多个传感器组成的融合节点构成时,可采用串联分布式融合结构.当两级融合节点分别为 s_{i-1} 和 s_i , 节点 s_{i-1} 的判决结果为 o_{i-1} , 当节点 s_i 预期采用策略 $p_{ij}, j \in \{1, 2, \dots, N\}$ 时,融合系统的支付效用表示为 $\phi(o_{i-1}, o_{ij})$.在融合节点 s_i , 可以以 o_{i-1} 和 o_{ij} 构成融合的现状点, 则节点 s_i 的决策结果为

$$o_i = \arg \max \phi(o_{i-1}, o_{ij}), j \in \{1, 2, \dots, N\} \quad (5)$$

3 实验分析

3.1 水机调速系统

在丰满水电仿真系统中,水机调速系统是水轮发电机组的转速调节设备,它能够保持机组的电压及频率的稳定,从而使水机调速系统的建模成为该仿真系统设计中的核心问题之一^[9~11].

在调速系统仿真模型中,PID 模型是调速系统的核心模型,如式(6).

$$y(t) = K_p \left[E(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t E(s) ds + T_d \frac{dE(t)}{dt} \right] \quad (6)$$

在调速系统 PID 模型的实现中,其参数一般根据工况的不同采用几组确定的数值.但在系统的实际应用中发现,PID 模型参数的整定工作十分繁琐复杂,并且 3 个参数随着机组的不同环境、不同工况而动态变化.从而使在线自动调整 PID 参数成为调速系统仿真建模的关键问题.

在调速系统建模中,经数据分析发现,PID 模型参数之间存在着一定的关系.例如在确定微分参数时,不仅应考虑机组运行环境和工况,还应考虑积分参数的影响,由此可将信息融合方法应用于该仿真建模中.在本实验中,建立了积分和微分两个融合节点,分别计算积分参数和微分参数,且在微分融合节点中考虑积分参数的影响,增加了融合判决.其融合过程如图 3 所示.

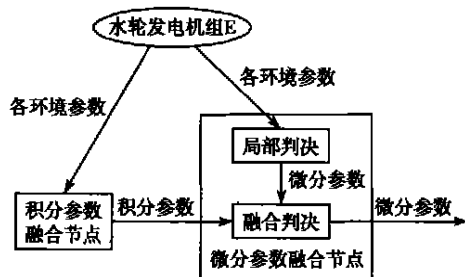


图 3 水机 PID 融合模型

Fig. 3 Fusion model of hydropower PID

3.2 实验结果

在本文的实验研究中,根据专家经验和现场数据的分析整理,分别得出积分参数和微分参数的 4 组数值,如表 1 所示.

表 1 水机 PID 参数

Table 1	Hydropower PID parameters			
组别	1	2	3	4
积分参数 T_i	4.16	4.16	3.55	3.55
微分参数 T_d	0.90	1.00	0.90	1.00

在水机调速融合系统中,积分节点的局部决策为 $T_i = 4.16$ 或 $T_i = 3.55$,微分节点局部决策为 $T_d = 0.90$ 或 $T_d = 1.00$.在实验中以甩负荷工况为例,由专家经验得出融合矩阵,如式(7)所示.

$$\begin{bmatrix} (10.0, 0.0) & (2.8, 8.0) \\ (7.5, 2.5) & (0.1, 10.0) \end{bmatrix} \quad (7)$$

在实验中,融合矩阵惟一的纳什均衡是(2.0, 8.0),即此时积分参数采用 4.16,微分参数采用 1.00.

图 4 为仅采用定值 PID 参数的 PID 模型和采用融合策略的 PID 模型的水轮机系统在同样的机组初始条件下,在甩负荷过程中转速和导叶开度变化曲线.由对比可知,采用融合决策的调速器模型在收敛速度及动态误差等方面均优于传统的调速器模型,有效解决了原 PID 模型参数整定困难而导致的系统转速和频率振荡等问题.

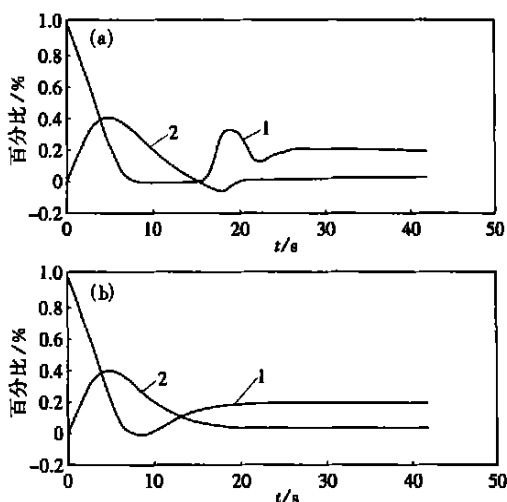


图 4 两模型的动态性能对比

Fig. 4 Performance comparison between the two models

(a) —原模型; (b) —改进模型.

1 —导叶开度; 2 —机组转速.

4 结 论

(1) 冲突环境下的融合系统决策问题,可将其看做不同传感器决策信息之间的交互博弈过程.

(2) 该模型的融合过程是由局部决策构建交

互策略,由交互策略经融合决策得出全局决策两个变换完成,并且在融合算法上可以采用威胁博弈的算法。

(3) 在丰满水电仿真系统调速器 PID 模型的参数调节中,可以应用该融合模型的方法解决原模型收敛慢和动态误差大等问题。

参考文献:

- [1] Fedotov G A. Information fusion for turbulence measurements in hydrophysical applications [A]. *Proceedings of the 4th International Conference on Information Fusion* [C]. Montreal : LM Canada , 2001. WeB3 - 9.
- [2] Korpisaari P, Saarinen J. Bayesian networks for target identification and attribute fusion with JPDA [A]. *Proceedings of the Second International Conference on Information Fusion* [C]. Sunnyvale : Omnipress , 1999. 763 - 770.
- [3] Xu L Y, Du Q D, Zhao H. Application of neural fusion to accident forecast in hydropower station [A]. *Proceedings of the Second International Conference on Information Fusion* [C]. Sunnyvale : Omnipress , 1999. 1166 - 1171.
- [4] Waltz E, Linas J. *Multisensor data fusion* [M]. Norwood : Artech House , 1991. 101 - 105.
- [5] 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. 14 - 16 .
(Liu T M, Xia Z X, Xie H C. *Data fusion technology and its applications* [M]. Beijing : National Defense Industry Press , 1998. 14 - 16 .)
- [6] Hall D L. *Mathematical techniques in multi-sensor data fusion* [M]. Boston : Artech House , 1992. 235 - 238.
- [7] Goebel K F. Conflict resolution using strengthening and weakening operations in decision fusion [A]. *Proceedings of the 4th International Conference on Information Fusion* [C]. Montreal : LM Canada , 2001. ThA1 - 3.
- [8] 罗杰·迈尔森.博弈论 [M]. 于寅,费剑平,译 . 北京 :中国经济出版社 , 2001. 295 - 313 .
(Myerson R. *Game theory* [M]. Translated by Yu Y, Fei J P. Beijing : China Economics Publishing House , 2001. 295 - 313 .)
- [9] 杜庆东,徐凌宇,赵海.基于分布式结构的判决反馈数据融合算法 [J]. 东北大学学报 (自然科学版), 2001, 22 (4) : 385 - 388 .
(Du Q D, Xu L Y, Zhao H. New decision feedback data fusion algorithm in distributed fault detection system [J]. *Journal of Northeastern University (Natural Science)* , 2001, 22 (4) : 385 - 388 .)
- [10] 徐凌宇,杜庆东,赵海.嵌入式水电事故预测系统中信息融合方法的研究 [J]. 东北大学学报 (自然科学版), 2000, 21 (1) : 8 - 11 .
(Xu L Y, Du Q D, Zhao H. Study on information fusion methods of embedded power plant fault prediction system [J]. *Journal of Northeastern University (Natural Science)* , 2000, 21 (1) : 8 - 11 .)
- [11] Wang G, Zhang D G, Zhao H. An improved Bayes fusion algorithm with the Parzen window method [A]. *Proceedings of the Fifth International Conference on Information Fusion* [C]. Sunnyvale : Int Soc Information Fusion , 2002. 651 - 657.

Decision-Level Fusion Model Based on Threat Game Theory

WANG Gang, ZHAO Hai, WEI Shou-zhi

(School of Information Science & Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004, China. Correspondent: WANG Gang, E-mail: wangg @ neuera.com)

Abstract : A new decision-level fusion model based on threat game theory is proposed to solve the problem of system decision in an information conflict environment which is common in multisensor information fusion systems. In this model, the process of decision fusion is regarded as a mapping among different spaces for local decision, strategy and global decision, separately, thus a structure model of fusion center is constructed. In addition, the decision fusion algorithm is developed the way the threat game algorithm based on game theory is adopted to implement the mutual decision among multiple sensors of the center. The model has been successfully applied to the adjustment of PID model parameters of speed governor in the hydroelectric simulation system of Fengman Hydropower Station, Jilin Province, PRC. The data obtained from practice show that the model can effectively solve the fluctuation problem of rotating speed and frequency, which were hard to solve by traditional PID model.

Key words : multisensor; decision-level fusion; threat game; hydroelectric simulation; speed governor

(Received April 16, 2003)