

一种基于多代理理论的最优目标紧急控制策略

李 丽

(西南科技大学 信息与控制工程学院, 四川 绵阳 621000)

摘要: 将多代理理论引入阀门快关紧急控制手段中, 提出了一种基于多代理理论的电力系统紧急控制策略。控制结构分为区域代理和本地代理上下两层。区域代理主要负责运用相关不平衡点方法判断系统是否失稳, 失稳情况下启动本地代理, 由本地代理上传发电机角速度, 区域代理计算惯性中心角速度, 比较两者, 确定需要执行紧急控制的发电机, 并下达控制命令。本地代理在收到执行控制命令后, 基于最优目标控制理论求得控制量, 通过阀门快关手段实现紧急控制。4 机系统数字仿真表明, 该控制策略可提高系统稳定性。

关键词: 多代理; 最优变目标理论; 紧急控制

中图分类号: TM 76

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2005)05-0088-03

0 引言

当电力系统受到扰动, 施加控制是改善和提高稳定最有效的方式之一, 而严重故障之后的紧急控制可以将系统受到的破坏影响降低到最小^[1]。随着电力系统规模的扩大, 出现了区域联网和远距离大容量输电, 系统的运行更接近于极限, 电力系统一旦失去稳定, 大面积长时间停电, 甚至系统崩溃瓦解都是可能的。

Multi-Agent 系统随着计算机技术的发展在社会各个领域得到广泛应用。它是由多个自主、独立、相互协作的 Agent 组成的多智能处理模式, 具有良好的自主性和启发性。以往需要整个系统集中完成的任务可以通过几个子系统完成。

已经有不少将这一处理模式成功运用到电力系统的先例^[2,3]。文献[4]提出了基于多代理的电力系统黑启动; 文献[5]将多代理系统运用到无功电压优化研究中; 文献[6]采用多代理模式解决了二次电压协调控制问题。

本文将多代理理论引入阀门快关这一紧急控制手段中。整个控制结构分为两层: 区域代理和本地代理。区域代理负责判断系统的运行状态, 判定系统不稳定时启动本地代理, 要求上传相关信息, 确定需要进行紧急控制的发电机; 本地代理收到控制信号, 确定控制量, 执行紧急控制。作为本地代理最主要部分的阀门快关减少发电量的确定是基于最优目标控制理论, 这种控制具有跟踪和自适应能力, 并能得到封闭解, 形成闭环反馈, 便于在线实现。最后, 以 4 机系统为例进行数字仿真计算, 取得了满意效果。

1 多代理控制结构

本文提出的多代理紧急控制策略由区域代理和

本地代理构成, 分上下两层。区域划分要满足区域代理可以足够迅速地接收处理信息, 并对本区域内发生的变化做出足够快速反应的原则。本文只考虑一个区域内的控制, 即不考虑区域间的重叠和协调问题。每个本地代理对应一台发电机或一台发电机组。控制结构如图 1 所示。

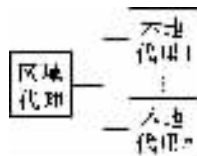


图 1 控制结构

Fig.1 The control structure

2 控制策略

区域代理实时监测电力系统的运行状态, 当判定系统失稳的时候启动本地代理。由于发电机的稳定状态与转子角速度密切相关, 转子角速度越大, 发电机也越容易失去稳定。所以本设计选择转子角速度作为判定发电机是否失稳、本地代理是否需要执行紧急控制的量。本地代理收到启动信息, 上传发电机角速度; 由区域代理计算惯性中心角速度, 确定需要紧急控制的机组, 下达控制命令; 本地代理收到控制信号, 根据最优目标控制理论确定阀门快关控制量, 执行控制。控制策略如图 2 所示。

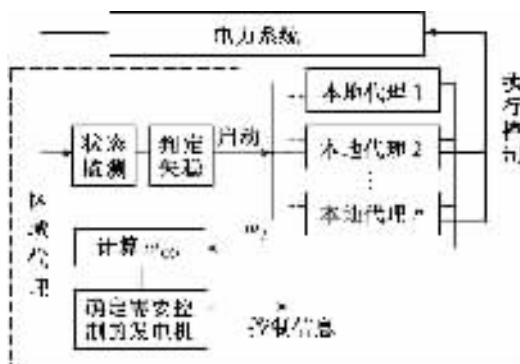


图 2 控制策略示意图

Fig.2 The sketch diagram of control strategy

2.1 区域代理

如何快速判断系统的运行状态,分析系统的稳定性是保证多代理紧急控制效果的关键。暂态稳定性分析可分为数值解法和直接法^[7]:数值解法是目前广泛应用的分析方法,计算模型详细,基本能满足电力系统离线暂态稳定分析对计算速度和精度的要求;直接法避免了对运动轨迹的精确计算,求解速度快,适合在线应用。直接法包括相关不平衡点法、势能界面法、单机能量函数法等。

本文中,区域代理采用相关不平衡点法判断系统的运行状态。该方法是将单机无穷大系统中,通过对故障切除瞬间系统总能量与不稳定平衡点处的总能量进行比较从而判断稳定性的原理和方法,直接推广于多机系统。这样,只要求出系统在故障切除瞬间的状态 (δ_c, ω_c) ,故障切除后的稳定平衡点 (δ_s, ω_s) 和不稳定平衡点 (δ_u, ω_u) ,可求出故障切除瞬间的总暂态能量 W_{all} 和临界能量 W_{cr} 。比较 W_{all} 和 W_{cr} 的大小可直接判断电力系统的稳定性。区域代理计算得出 $W_{cr} > W_{all}$ 时,判定系统稳定,不需要进行紧急控制;反之,启动本地代理,要求上传故障切除时的发电机角速度,计算惯性中心角速度如下:

$$\omega_{COI} = \left(\sum_1^n M_i \omega_i \right) / \sum_1^n M_i \tag{1}$$

当发电机角速度超过惯性中心角速度,即 $\omega_i > \omega_{COI}$ 时,认为发电机失稳,需要进行紧急控制。

2.2 本地代理

在接收到区域代理发出的控制信息之后,本地代理通过阀门快关改变发电机有功输出实现紧急控制。发电减少量是基于最优目标控制原理确定。

2.2.1 最优目标控制原理概述^[8]

对于某非线性系统,设任意时刻状态为 $X_i(t)$,目标状态为 $X_i^*(t)$;定义参考向量为

$$\alpha_i(X_i(t)) = \beta_i(X_i^*(t) - X_i(t))$$

式中 β_i 为正标量常值。

控制量 U_i 的容许有界集为

$$U_i \in \Omega_i = \{ \nu_i \in R^2 \mid \nu_{ij} \in [\nu_{ijmin}, \nu_{ijmax}] \}$$

系统轨迹容许切向量集合为

$$\Delta(X_i(t), t) = \{ \lambda_i \in R^3 \mid \lambda_i = f_i(X_i(t), t) + B_i \nu_i, \nu_i \in \Omega_i \}$$

系统的最优目标控制几何示意图见图 3。

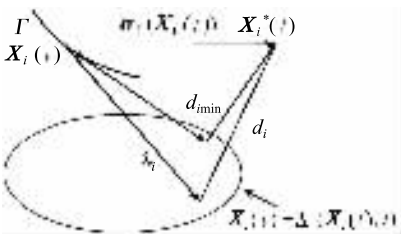


图 3 最优目标控制几何示意

Fig.3 The geometric diagram of optimal aim control

从几何的观点而言,当参考向量与切向量之间的距离 d_i 最小时,非线性系统有最优目标控制解:

$$d_i = \min \| \alpha_i(X_i(t)) - \lambda_i \| \tag{2}$$

$$U_i(t) = \xi_i \{ (B_i^T B_i)^{-1} B_i^T [\beta_i X_i^*(t) - f_i(X_i(t))] \} \tag{3}$$

其中 ξ_i 考虑了控制函数的允许阈值。最优目标控制根据对系统状态空间轨迹的分析,提出基于轨迹行为的性能指标,其控制策略取决于系统状态方程和当前状态,有跟踪和自适应能力,可以得到封闭解,形成闭环反馈便于在线实现。

2.2.2 控制量确定

发电机 i 的经典动态模型表示如下:

$$\begin{aligned} \dot{\delta}_i &= \omega_i - \omega_0 \\ M_i \dot{\omega}_i &= P_{mi} - D_i \omega_i - u_{pi} \end{aligned} \tag{4}$$

式中 u_{pi} 为考虑阀门快关控制效果的发电机输出功率,即期望的控制量。

运用最优目标控制策略,可以求出基于系统轨迹的发电机最优目标输出功率。

$$u_{pi} = \xi_i (M_i \beta_i \omega_i^* - P_{mi} + D_i \omega_i) \tag{5}$$

式中 ξ_i 考虑了阀门快关的允许阈值; β_i 为正标量常数; ω_i^* 取故障后稳定平衡点的值。

3 仿真算例分析

以图 4 所示 4 机系统为例应用本文方法进行测试,详细参数见文献[9]。

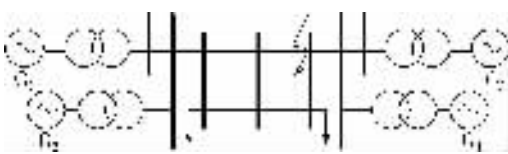


图 4 4 机系统

Fig.4 A four-machine system for simulation

1.0 s 时双回线如图所示处发生三相短路故障,1.15 s 时切除故障线路。在此运行情况下,区域代理计算出 $W_{cr} - W_{all} = -0.562 3$,计算用时 0.13 s。区域代理判定系统失稳,启动本地代理上传各发电机转子角速度:

$$\begin{aligned} \omega_1 &= 0.002\ 514\ \text{p.u.}, & \omega_2 &= 0.003\ 721\ \text{p.u.} \\ \omega_3 &= 0.004\ 032\ \text{p.u.}, & \omega_4 &= 0.005\ 120\ \text{p.u.} \end{aligned}$$

经计算得: $\omega_{COI} = 0.003\ 628\ \text{p.u.}$

明显可见,发电机 1 的转速小于 ω_{COI} ,不需要启动紧急控制;发电机 2~4 的转速都大于 ω_{COI} ,需要进行紧急控制。图 5 和图 6 比较了不采取紧急控制和采取本文提出的紧急控制之后,发电机的功角曲线变化(曲线 1~4 分别代表发电机 1~4 的功角曲线)。

可以看出,控制之后电力系统功角曲线收敛较好,能较快达到稳定。

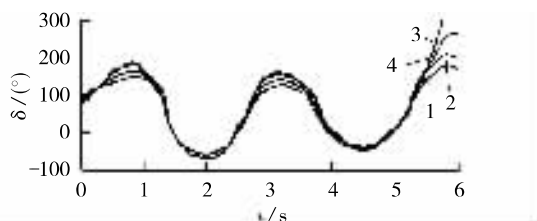


图5 不采取紧急控制的发电机功角曲线

Fig.5 The power angles of generators without emergency control

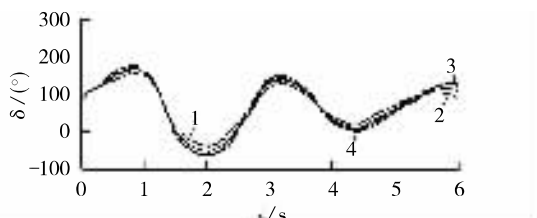


图6 采取多代理最优目标紧急控制的发电机功角曲线

Fig.6 The power angles of generators with multi-agent based optimal aim emergency control

4 结论

本文提出一种基于多代理理论和最优目标控制理论的紧急控制策略。整个控制结构分为上下两层:上层区域代理负责判断系统运行状态,在不稳定时启动下层本地代理,要求其上传相关信息,并由此计算判断哪些需要紧急控制,下达控制信息。本地代理主要负责计算确定控制量,具体执行控制。控制量的确定是根据最优目标理论得出的,具有表达式简单、易于在线运用的特点。4机系统数字仿真结果表明,这种控制策略完全可以实现,且效果良好。

参考文献:

- [1] 李兴源,李立. 电力系统紧急控制综述[J]. 电力系统自动化,2000,24(9):5-11.
LI Xing-yuan, LI Li. Survey of the emergency control in power system[J]. *Automation of Electric Power Systems*,2000,24(9):5-11.
- [2] HUI Ni,HEYDT G T,MILI L. Power system stability agents

using robust wide area control[J]. *IEEE Trans. on Power Systems*,2002,17(4):1123-1131.

- [3] 刘红进,袁斌. 多代理系统及其在电力系统中的应用[J]. 电力系统自动化,2001,25(19):45-52.
LIU Hong-jin,YUAN Bin. Multi-agent system and its application in power systems[J]. *Automation of Electric Power Systems*,2001,25(19):45-52.
- [4] NAGATA T, SASAKI H. A multi-agent approach to power system restoration[J]. *IEEE Trans. on Power Systems*,2002,17(2):457-462.
- [5] 张明军,曹立霞,历吉文,等. 考虑多分区无功电压优化的多Agent系统[J]. 电力系统自动化,2004,28(17):70-74.
ZHANG Ming-jun, CAO Li-xia, LI Ji-wen, et al. Multi-agent system for voltage/var optimization considering multi-regional power system[J]. *Automation of Electric Power Systems*,2004,28(17):70-74.
- [6] 李海峰,王海风,陈珩. 紧急情况下二次电压的多代理协调控制[J]. 电力系统自动化,2001,25(24):17-21.
LI Hai-feng, WANG Hai-feng, CHEN Heng. Multi-agent based secondary voltage coordination control in power system contingencies[J]. *Automation of Electric Power Systems*,2001,25(24):17-21.
- [7] 夏道止. 电力系统分析[M]. 北京:中国电力出版社,1995.
- [8] BARNARD R D. An optimal-aim control strategy for nonlinear regulation systems[J]. *IEEE Trans. on Automatic Control*,1975,20(2):200-208.
- [9] KUNDUR P. Power system stability and control[M]. New York: McGraw-Hill Inc.,1994.
- [10] 韩水,旺定伟. 基于多代理技术的购电-输电计划优化方法[J]. 电力系统自动化,2002,26(13):43-46.
HAN Shui, WANG Ding-wei. Lagrangian relaxation based multi-agent transmission congestion management[J]. *Automation of Electric Power Systems*,2002,26(13):43-46.

(责任编辑:李育燕)

作者简介:

李丽(1968-),女,四川绵阳人,讲师,从事电能质量以及电力系统稳定与控制研究(E-mail: lili-6803@163.com)。

Optimal aim emergency control strategy based on multi-agent theory

LI Li

(Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621000, China)

Abstract: The multi-agent theory is introduced and applied in fast valving, based on which an emergency control strategy of the power system is presented. The control structure has two layers: areal agent and local agents. The areal agent judges whether the power system is stable using unstable equilibrium point method. When an unstable state occurs, the local agents are triggered to send upward the angular velocities of generators and the areal agent calculates inertia center angular velocity. By comparing them, the areal agent determines which generator needs emergency control and sends downward the control commands. After receiving the commands, the local agents calculate control variables using optimal aim theory and realize emergency control using fast closure of valve. Simulations on a 4-machine system show that the proposed control strategy improves the system stability.

Key words: multi-agent; optimal aim theory; emergency control