

基于多 Agent 的继电保护研究

韩学军, 赵凤英, 石磊, 杨文英

(东北电力大学, 吉林 吉林 132012)

摘要: 为了满足大规模互联电网对电网运行安全性及可靠性的要求, 在分析了一些传统继电保护及智能技术的基础上, 提出了基于多 Agent 的继电保护。文章综述了 Agent 及多 Agent 系统的特点及国内外的研究现状, 从不同角度讨论了 MAS 在继电保护中的作用, 对多 Agent 系统的结构模型进行构建, 提出了多 Agent 系统的协作、通信的方法。这样的保护可以利用相邻线路甚至整个网络的信息, 使原有的保护不再独立运行。仿真实验证明, 该保护在系统的稳定性、可靠性及快速性等方面较传统保护都有很大提高。

关键词: 继电保护; Agent; 多 Agent 系统

Study on relaying protection based on the multi-agent system

HAN Xue-jun, ZHAO Feng-ying, SHI Lei, YANG Wen-ying

(Northeast Dianli University, Jilin 132012, China)

Abstract: In this paper, with the analysis of the traditional relaying protection and intelligent technology, the relaying protection based on multi-agent is proposed to meet the operation safety and reliability requirements of large-scale interconnected power grid. The characteristics and research at home and abroad of the Agent and multi-agent system are summarized, the function of MAS in the relaying protection is discussed in different views, the structural model of the multi-agent system is constructed and the cooperation and communication method between the multi-agent systems is also proposed. The original protection can no longer be operated independently, by use of the information from the adjacent lines or even the whole network under such protection. The stability, reliability and rapidity of this protection system are further improved than that of the traditional protection, which is proved by the simulation test.

Key words: relay protection; Agent; multi-agent system

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2008)06-0001-05

0 引言

继电保护在电力系统的安全与稳定运行中发挥了巨大的作用^[1]。近些年来, 随着我国电网西电东送, 南北互供的形式, 带来了前所未有的大规模输电系统, 于是就使得继电保护的工作要更加可靠。可是就目前状况来分析, 继电保护工作存在着很大的问题, 主要表现在: 系统整定按最大运行方式进行, 无法满足动态特性; 后备保护时间过长, 需要牺牲快速性为代价; 遇到不合理的保护定值只能离线进行; 继电保护以切除故障为目标, 对故障切除以后系统的运行情况不予反映, 无法起到保护故障后电力系统的作用。这样的结果对于继电保护所要求的灵敏性、选择性、速动性、可靠性来说都是极

其不利的^[2]。

随着分布式人工智能, 计算机网络和通信技术的发展, 智能技术已经扩展到了多学科的融合。多 Agent(MAS)技术是分布式人工智能的一个分支, 近些年来得到迅猛的发展, 它可以像专家系统那样有较高的推理能力, 又具有对于新事物的快速反应能力, 比较适于解决在网络环境下的在线求解问题。相对于传统的保护装置增加了网络通信, 同步向量测量, 广域后备保护算法等智能体, 利用多 Agent(MAS)技术能发挥出计算机的巨大潜力, 将系统的动作时间控制在 50 ms 之内是很容易实现的, 对提高电力系统的稳定性有重要的意义。

1 Agent 及多 Agent 技术

Agent 一词的英文原意指“代理人”、“代理商”，在 AI 领域中被用来指独立分散组合的专家系统，国内研究人员多将其译为主体或智能体，最初形成于分布式人工智能领域，可以是硬件机器，也可以是计算机程序^[3-5]。作为软件的 Agent 必须有相应硬件的支持，一般认为一个 Agent 应该具有自治性、反应性、交互性和主动性。Agent 能够在特定条件下感知周围的环境及变化，并能自主地进行相应的处理(各类 Agent 往往只满足于它们所存在的环境)。多 Agent 系统尤其适合解决大型、复杂的系统。

2 Agent 的结构

从 Agent 结构构建的层次来看，主要分为三种类型：审慎型、反应型和混合型结构。审慎型 Agent 具有知识库，包含所有的数据，知道如何执行任务，能够和其它 Agent 或者环境之间进行协作。其结构如图 1 所示。

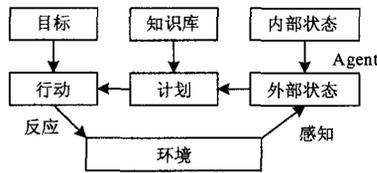


图 1 审慎型 Agent 结构
Fig.1 Structure of prudent Agent

反应型：反应型 Agent 不必都是智能的，但是整个系统必须能够通过设计的协作方案解决复杂问题。它们是以响应的形式工作的，其目标通过逻辑规则表示，因此它们应该拥有环境的确切模型，但是反应型 Agent 对于大规模的控制并不是准确的。反应型 Agent 比较适合于当地控制，响应时间较短。如图 2 所示。

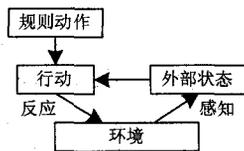


图 2 反应型 Agent 结构
Fig.2 Structure of responsive Agent

还有一种就是混合型结构：这种结构吸收了审慎型结构和反应型结构的优点，取长补短，既能对紧急情况做出实时反应，又能对电力系统进行较长期的规划。这种结构中最高层是审慎层，最低层是反应层。基于多 Agent 技术的继电保护系统还有一个中间层，即协作层。在这种结构中，审慎层通过

推理得知其它 Agent 的状态，预测局部行为对其它部件的影响，对其它可能受到影响的行为做调控；反应层位于当地子系统，对系统状态变化迅速做出反应，执行预先设计好的动作；中间层负责各个局部行为的协调与合作。这种形式的结构如图 3 所示。

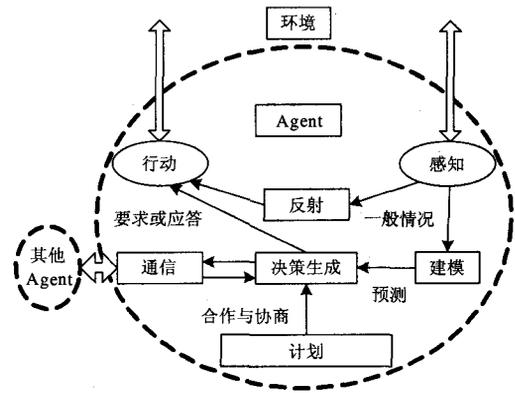


图 3 混合型 Agent 结构
Fig.3 Structure of hybrid Agent

3 多 Agent 系统间的通信问题

从继电保护的方案来讲，要实现一个保护的实际控制问题的顺利运行，就要完成 Agent 与外界环境的交互，通过采集外界信息来判断运行是否正常，同时还要将判断结果反馈回外界^[6]。因此，我们不得不考虑系统的通信问题，依靠通信系统实现性能更高的保护。对于电力系统来讲就要具备以下特殊要求：数据传输必须快速，满足继电保护的速动性要求；通信底层网络必须可靠，还要能迅速可靠地与上层进行数据传输；对于数据信息必须进行标准化定义，满足不同装置之间的互操作；对于分布式结构的通信网络，信息要能共享。在这里的通信包括通信设备、通信网络、通信协议及网络所能提供的通信服务等上层内容。

各变电站的局域网可以通过 SDH 构成广域网，SDH 采用同步传输模式(STM)，一个基本的传输模块 STM-1 速率可达 155.52Mbps^[6,7]。在 SDH 之上还可以承载 ATM (异步通信) 业务，以太网的 IP 数据包要在 ATM 上传输，需要采用 IP Over ATM 协议，即将 IP 数据包在 ATM 层全部封装为 ATM 信元，以 ATM 信元形式在信道中传输来完成变电站之间的通信。还涉及一个问题就是信息在广域网中传输要经过路由，而当前的路由算法恰恰是造成广域网通信瓶颈的主要原因。研究适当的路由方法或数据交付模式是解决广域网通信延时过长的有效途径。设计满足广域继电保护要求的通信系统不仅要

有底层强健的通信网络做支撑,还要有上层的通信服务来保证通信性能和通信质量。国际电工委员会颁布的变电站自动化无缝通信体系 IEC61850 提供了标准的通信服务模型,不仅支持不同类型装置间的互操作,还定义了通用的信息交换模型,支持基于网络的快速的信息交换,这样就可以顺利地变电站之间的通信,而且 IEC61850 对报文的通信性能进行了严格的规定。对于变电站内部的 Agent 之间的通信语言主要有 KQML (Knowledge Query and Manipulation Language、FIPAACL、Agent talk。而传输协议是真正的 Agent 通信底层所使用的传输机制,如 TCP/IP, SMTP, HTTP 等。

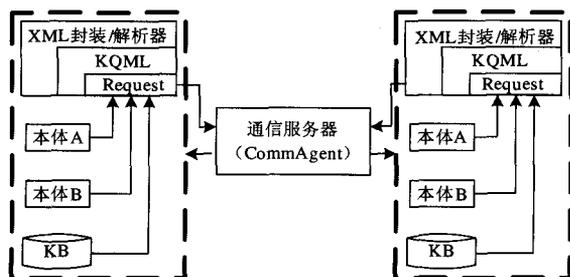


图 4 基于 KQML 语言的通信模式

Fig.4 Communication model based on KQML

本文的 Agent 间的通信利用 KQML 解决 Agent 间知识级的通信问题,利用 XML 解释器封装 KQML 语言来解决不同 Agent 系统间的通信。KQML 语言分为三个层次:内容层、消息层和通信层。内容层是 KQML 的实际内容,内容层可用任何合适的表示语言描述。内容层独立于 KQML 的实现,即所有 KQML 的实现都不考虑内容层的具体含义,只是分析 KQML 消息: content 部分的界限;消息层是 KQML 语言的核心部分,它决定了采用 KQML 作为通信语言的 Agent 具有哪些交互能力。消息层的基本功能是为发送和接收消息提供协议,并为内容附上了言语行为或原语。这些原语表明消息的内容是断言、查询、命令或其他已知行为。由于消息的真正内容对 KQML 的实现是透明的,消息层还包括了描述内容的一些可选特性:用于描述消息内容的语言,可用于解释该消息内容的概念集等。利用这些特性可以在不知道消息内容的情况下准确地路由和传送消息并进行分析。通信层包含关于底层通信的一些参数,如消息发送者或接收者的标识以及消息本身的唯一标识号等。对于 KQML 的通信模式表示如图 4 所示。

KQML 具有极强的语言表达能力,不仅具有句法和语义,而且包括使用语言的协议,能支持智能

体之间的高层交互和互操作。在 Agent 需要通信的时候,首先 Agent 根据自己的知识库进行计算和推理,采取合适的词汇来表达,然后用 KQML 模块将这些信息生成 KQML 格式的语言,接着用 XML 模块将 KQML 格式的语言进行封装,生成 XML 文档,在 Agent 系统间进行传输,然后通过代码对应列表中的本地代码与标准代码进行映射,形成统一代码的 XML 消息,接着打包该消息并通过 CORBA 动态框架接口 DSI 进行文件传输。现在假设 Agent1 与 Agent2 进行通信,可以表示如图 5 所示。

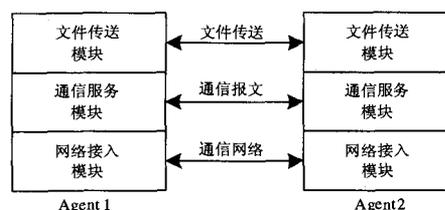


图 5 两个 Agent 之间的通信

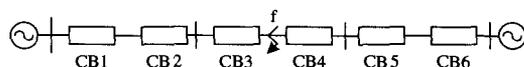
Fig.5 Communication between two Agents

程序形式表示如下:

```
(ask-one
: sender      Agent 1
: receiver    Agent 2
: reply-with  result
: language    xml
: content function(param1,param2)
转化后的 xml 格式表示为:
<performative> ask-one
<sender> Agent 1< sender >
<Receiver> Agent 2 <Receiver>
< reply-with >result< reply-with >
<Language>xml<Language>
<Content><functionname
parameter1=parameter2=...>function< functionname
><Content>
```

至此,通信可以在站内和站外可靠传输。

以简单的双端电源系统来描述基于多 Agent 技术的继电保护的决策过程。



根据图示构建其结构图 6。

系统主要分为正常状态和故障状态。在正常工作模式下,主要是检测 Agent 对测量 Agent 和状态检测 Agent 提供的设备的运行量进行检测。

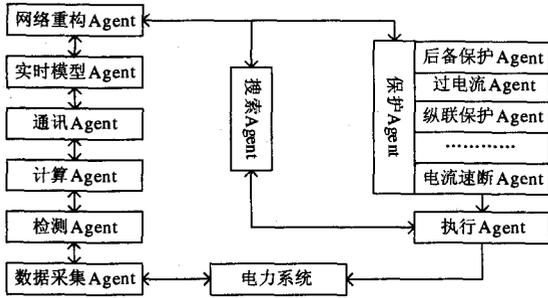


图6 双端电源系统结构构建

Fig.6 Structure of two-terminal power system

故障状态：当系统发生故障，即在 f 点发生短路时，由测量 Agent 和状态检测 Agent 采集到的运行量送到检测 Agent，通过故障分量的变化检测到故障，将此时的状态量送到实时模型 Agent，在此时对故障位置和类型进行精确定位，多种原理的保护 Agent 对信息进行比较校验，经过综合协调后，确定利用哪一种保护更为精确，调动相应的保护并激活断路器，于此将信息反馈至故障隔离 Agent，并激活网络重组 Agent 重新定义网络节点，进行保护配置和整定。至此保护动作完成，在这时状态检测 Agent 会发现开关变位，与其他保护 Agent 交互后发现为正常操作变位，向系统报告变位情况，激活网络重组 Agent，在线调整保护配置和定值。

实现所需要的关键技术：(1)要实现这类保护并确保能够有效运行，就必须保证保护对信息传输的可靠性和快速性，另外要充分利用现场已有的成熟的通信设备和通信技术。因此，为了准确判断故障发生区域，在状态检测 Agent 中采用广域电流差动比较算法判断，与其他类型保护相比，电流差动保护只需要检测流入和流出保护区的不平衡电流，选择性好，且保护间配合简单。(2)各变电站的局域网通过 SDH 构成广域网，既可以实现同步通信也可以实现异步通信，以同步通信为例，一个最基本的同步通信模块速率可达 155 Mbps。我们保守一点的算法，以 100 Mbps 的速率来计算，设传输距离为 100 km，传输速度为光速的 2/3，报文长度为 500 位/报文，则报文在介质上的传播延时为：

$$T_d = \frac{1 \times 10^5}{3 \times 10^8 \times \frac{2}{3}} = 0.5 \text{ ms}$$

报文发送时间为：

$$T_t = \frac{500}{1 \times 10^8} = 0.005 \text{ ms}$$

$$T_{total} = T_d + 2T_t = 0.5 + 0.01 = 0.501 \text{ ms}$$

这样的速度对系统而言是完全能满足速度要求的。(3)利用 KQML 语言并且支持 IEC61850 标准，保证通信的可靠性。(4)按优先级选择保护方案，确定何种装置的何种保护动作于跳闸，有利于保护的选择性和可靠性。

图 7 为实现此目的的程序流程图。

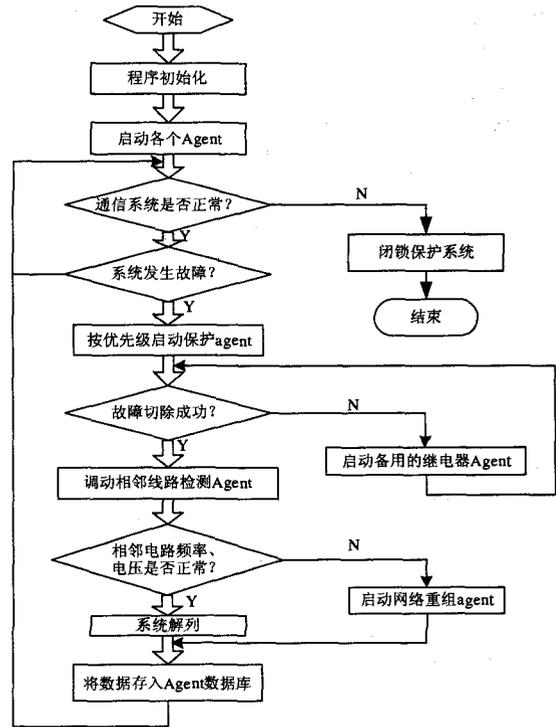


图7 工作过程流程图

Fig.7 Flow chart of working process

利用多 Agent 技术实现电力系统继电保护在动作时间上有很大的优越性，线路的长度为 100 km, 150 km, 100 km, 在系统运行 0.4 s 时在线路中点发生故障，利用支持网络通信的线路保护通信系统建立在电力的通信仿真同步环境上。站内保护 Agent 由带宽 100 MHz、延时 0.5 ms 的局域网构成，站内最低带宽为 52.4 MHz 的同步光纤连成。假定保护没有阻塞。仿真实验结果表明：实现基于多 Agent 的双电源保护只需要 0.1 s,而常规保护需要 0.35 s, 对于后备保护，此方法只需要 0.25 s, 而常规保护需要 0.51 s, 从数据比较中看，这种保护是有很大优越性的。

4 结束语

本文对 Agent 在继电保护中的应用进行了初步研究，多种原理的保护之间的协调和综合，可以大大提高保护的容错能力，加快保护的动作时间。与

传统的常规保护相比,基于 MAS 的保护系统在保护的配合和整体性能上更具可靠性、灵活性和容错能力,它根据电网在线运行状态工作,保护工作灵活,对电网运行方式适应性强;能对错误、故障准确定位,只有在必要时隔离故障线路和断路器,避免了因隐蔽故障或过负荷引起的误动作。

参考文献

- [1] 贺家李,宋从炬.电力系统继电保护原理(第三版)[M].北京:中国电力出版社,1994.
HE Jia-li, SONG Cong-ju. Protective Relaying of Power System, Third Edition[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1994.
- [2] 迟福建,李铁,朱永利.多Agent协作的电网保护定值校验智能分析系统[J].继电器,2005,33(23): 1-4.
CHI Fu-jian, LI Tie, ZHU Yong-li. Intelligent Analysis System of Setting Verification in Power Network Protection Based on Multi-agent Cooperation[J]. Relay, 2005,33(23): 1-4.
- [3] 陈艳霞,尹项根,陈德树,等.基于多Agent技术的继电保护系统[J].电力系统自动化,2002,26(12): 48-53.
CHEN Yan-xia, YIN Xiang-gen, CHEN De-shu, et al. Multi-Agent System Based Protective Relaying System[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002,26(12): 48-53.
- [4] Lee S J, Min B W, Chung K H, et al. An Adaptive Optimal Protection of a Distribution System Using a Multi-Agent System[J].
- [5] 陈璟华,陈少华,杨宜民.多Agent系统及其在电力系统继电保护中的应用[J].电气应用,2005,24(4): 51-55.
CHEN Jing-hua, CHEN Shao-hua, YANG Yi-min. Multi-Agent System and Application in Relay Protection System[J]. Electric Application, 2005,24(4): 51-55.
- [6] 陈少华,陈璟华,杨宜民.基于多Agent技术的自适应继电保护系统研究[J].广东工业大学学报,2005,22(1): 78-87.
CHEN Shao-hua, CHEN Jing-hua, YANG Yi-min. Study on Adaptive Protection System Based on Multi-agent[J]. Journal of Guangdong University of Technology, 2005,22(1): 78-87.
- [7] 张丹慧,佟振声,黄敏.基于Agent的继电保护数据传输系统[J].电力系统通信,2005,26(152): 51-53.
ZHANG Dan-hui, TONG Zhen-sheng, HUANG Min. Software Agent Based Protective Relaying Data Transmission System[J]. Telecommunications for Electric Power System, 2005,26(152): 51-53.

收稿日期: 2007-08-01; 修回日期: 2007-09-18

作者简介:

韩学军(1953-),男,教授,主要研究方向为电力系统控制; E-mail: xiaocao_yezi@126.com

赵凤英(1981-),女,硕士研究生,研究方向为电力系统继电保护的新发展;

石磊(1979-),男,硕士研究生,研究方向为电力系统稳定控制。

2008年中国电力系统保护与控制学术研讨会征文通知

各有关单位,各位专家:

《继电器》杂志社、清华大学电机工程与应用电子技术系、华中科技大学电气与电子工程学院和华北电力大学电气与电子工程学院定于2008年10月召开“中国电力系统保护与控制学术研讨会”,特向全国征集学术论文,现将征文有关事项通知如下。

1、征文内容:(1)超(特)高压交直流输电技术研究与应用;(2)电力系统保护与控制的新理论、新技术;(3)电力系统安全稳定分析与控制;(4)电力系统规划与可靠性技术;(5)电力市场;(6)配电网自动化;(7)厂、站自动化;(8)调度自动化;(9)电力系统通信技术;(10)电气化铁道保护与控制技术;(11)电网广域保护与自愈控制;(12)数字化变电站技术研究;(13)电力设备检测与故障诊断技术;(14)电力电子技术在电力系统的应用;(15)保护与控制设备运行经验与事故分析;(16)保护与控制设备制造技术及电磁兼容;(17)其他。

2、征文办法:论文必须未在全国性学术会议或公开发行的刊物上发表过;论文格式参照《继电器》论文格式,图表清晰、规范;论文篇幅在6000字以内(含空格,图表);投稿邮箱:d1bh2008@126.com; d1bh@dlwg.net

来稿请务必写明:作者简介、地址、单位、邮编、联系电话、电子邮件;请用电子邮件投稿并使用回执确认收到投稿;征文截止日期为2008年6月30日,经专家评审后,由《继电器》杂志社及会议组委会发论文录用通知,并出版论文集;开会具体时间及地点另行通知。