

数字孪生驱动下的智慧微电网多智能体协调优化对策研究

陈震 邓寻 赵志强

(国电南瑞科技股份有限公司信息系统集成分公司 江苏南京 211102)

摘要: 伴随当前电力系统运行期间各种气象、负荷、设备等大量全景信息的产生, 以往所构建的电力系统建模仿真技术已难以满足现阶段智慧能源系统运行控制的实际需求。而将物联网、通信网络、机器学习等数字孪生技术合理融入其中, 对于解决上述技术问题有积极作用。基于此, 本文主要探讨数字孪生驱动下的智慧微电网多智能体协调优化对策。

关键词: 数字孪生驱动; 智慧微电网; 多智能体; 优化对策

近些年, 伴随人工智能、云计算、大数据等各种新兴技术发展应用, 能源行业数字化、智能化程度不断提升, 而如何对物理设备中所获得的众多全景信息进行有效监测、利用, 成为智慧能源系统运行管理的一大挑战。二〇〇二年美国大学教授首次提出了镜像空间模型概念, 随后美国国家航天局进一步补充, 将这一建模过程称为数字孪生^[1]。近些年数字孪生技术在工业产品全生命周期管理中得到较多应用, 对于提升产品生产效率和性能, 减少事故发生有着重要作用。现阶段在国内外有关智慧能源系统中对于数字孪生技术的应用正处在理论研究阶段。智慧微电网也是一种将众多能源充分融合的复杂系统, 数字孪生技术应用领域有着良好的契合性。研究发现, 多智能体系统与数字孪生技术之间可以良好的相容和适应, 其中多智能体系统可以智能自治分布式元件, 更加注重个体内部运行情况; 而数字孪生主要是借助仿真驱动实现模型与数据间的交流互动, 更加关注整体运行机制。将两者有效地进行结合, 可以逐步形成涵盖整个流程及业务范畴的智慧微电网孪生试验体及个体, 促使智慧微电网数字化程度得到有效提升^[2]。当前, 数字孪生技术向智慧微电网运行调控系统提供了良好的技术支持, 但是怎样构建起完善的智能管控平台, 对原本分布式能源统一集中管理, 仍是亟待解决的问题。在多智能体技术快速更新的背景下, 为上述问题的解决提供了可行的手段。现阶段在有关多智能体系统的研究中, 通常为“源-荷-储”等分布式元件的协调控制模式方面, 而关于和信息物理系统技术以及机器学习方法方面的融合还值得进一步探索。基于此, 笔者提出了建立在数字孪生技术上的一种智慧微电网多智能体协调控制体系, 具体如下。

一、建立在数字孪生技术上的智慧微电网多智能体控制架构及运行机制

数字孪生技术最为核心之处就在于利用虚拟的空间建构出物理实体的一个高保证虚拟实体, 对现实世界中的行为做出模拟, 及时反馈有关信息, 从而实现对未来行为变化趋势做出响应的预测及优化。在本文中, 笔者构建了一种基于多通信协议交互的智慧微电网数字孪生以及多智能体控制架构^[3]。在这一架构之中, 对实体进行测试期间形成的大量全景信息, 例如设

备状态、线路参数、气象信息、用户历史信息等, 借助数据链将其直接传输到对数据库进行管理的模块及工作站内, 形成本地化数字及物理孪生体。同时再把模拟运行获得的结果传输至需要测试的实体之中, 进一步控制设备, 还能够通过获得的反馈信息来不断改进设备运行状态, 持续完善孪生体。另外在这一架构之中, 对于各个物理设备以及应用场景的差异, “源-荷-储”元件相关感应器在传输数据链期间, 能够借助 UDP、OCPP 等众多通信协议。其中 UDO 协议通常更多的应用在实时控制分布式能源领域, OCPP 协议更多应用在新能源电动汽车开放充电协议领域^[4]。最后, 在这一架构之中所存在的信息物理系统技术和机器学习技术, 能够向微电网进行实体测试的相关调控运行、解决故障、整体评估等方面提供可靠依据。

在传统数字孪生微电网控制架构中, 通常更加重视从物理系统直接映射到数字系统, 也就是数字建模。而在数字孪生与多智能体相融合的控制架构中, 对于任务分解的重视程度更高, 也就是通过对智慧微电网系统进行不断优化完善, 促进智能体模型中心相关数据交互, 从上向下进行设计, 从下至上进行封装, 从而不断缩小数字孪生体有关构建要素, 极大程度减低了调控要素数据向信息转变以及信息向知识转变的操作困难程度, 实现各个方面良好的智能分布, 最终让整体达到最为理想的效果^[5]。

鉴于物理空间、数字空间和耦合关系, 将智慧微电网全生命周期管理开展任务处理, 形成涵盖资源调控、过程调控、服务调控的智能体。在这之中, 资源调控智能体又涵盖了一系列分布式能源建模功能, 借助相关资源分析对一系列分布式能源完成数据建模, 进一步提升物理孪生体和数字孪生体建模及仿真的精密度。过程调控智能体可以发挥运行控制能量路由器的作用, 借助过程分析以及过程实现, 保证数字孪生体以及物理孪生体建模在各个时间尺度相互协调统一, 并实现众多源头数据的有效耦合。服务调控智能体主要涵盖了数据储存、可视化环境、预测、流程化管理等众多功能, 借助服务分析及服务实现能够保证数字孪生以及物理孪生体建模和仿真的精准预测以及完善。而在最后依托于多智能体管理系统, 将以上三者进行有效融合交互, 进一步提高了任务分解以及数字孪生任务的智

能程度，并且各个智能体之间能够依据任务实际需求，进一步划分成众多子智能体。

二、建立在数字孪生驱动上的多目标优化调度对策

1.相似日气象搜索及神经网络组合的功率预测

在服务调控的智能体当中，能量路由器主要通过神经网络算法来初步预测光伏发电的功率，同时运用相似的气象搜索算法对功率预测值作出进一步的改正。其中在神经网络输入层将光照强度、环境温度和湿度等变量信息输入其中，通过相关计算分析在输出层获得预测光伏发电功率的相关数值^[6]。最后与隐含层神经元选取法则相结合，构建起深度神经网络预测模型。由于输入层内的光照强度、环境温度和湿度等变量信息的单位以及大小均一致，因此对此类信息归一化处理。除此之外，在传感器中将数据库动态收集到的光照强度、环境温度和湿度等孪生数据和历史数据进行对比，获得相似气象条件下对光伏发电的预测和实际数值，并根据气象相似度大小对两者的差值进行对比。随后借助神经网络预测值对其做出补偿，从而获得相应的功率预测值。借助以上的方法，将搜索到的与孪生数据接近的气象日数据，计算出相应的光伏发电预测和实际功率数值，通过神经网络来对部分预测误差进行加权修正，根据气象相似大小确定权重系数。最终获得光伏发电数字孪生体的预测数值。

2.多目标优化决策

在过程调控的智能体当中，主要实行的是不同时段电价方案。当电价处在比较高的区间内时，由微网向配电网进行售电，而在电价处于比较低的区间内时，由微网向配电网购电。第一，把光伏发电以及负荷的历史数据、气象数据、设备约束条件、温度数据等一系列全景信息，借助数据链传输到数据库管理模块，形成相应的智慧微电网虚拟数字镜像。并通过机器学习方法来预测组合功率^[7]。第二，能量管理智能体结合不同时段电价以及相应约束条件，通过智能优化算法完成多目标优化决策。第三，结合所获取的最优 Pareto 解集，进一步明确储能的充电功率、放电功率，微电网与配电网联络线功率及其负荷实际需求。若微电网出现故障呈现出孤岛状态时，便无需继续优化，储能装置需要对内部用电需求进行充分的满足，保证微电网能够在最短时间内恢复稳定运行状态。

3.UDP 通信交互

在不同分布式元件上构建起基于树莓派的多智能体管理系统，从而实现进一步协调控制“源-荷-储”等分布式元件。在配电网以及微电网中的静态转换开关上，设置相应的能量管理树莓派，不断优化调度联络线功率、负荷需求以及储存功率，同时能够在并网以及孤岛不同工作模式之间进行切换^[8]。光伏电站树莓派主要通过最大功率点跟踪这一方法完成控制，无需获得其他树莓派的通信，只需要向最近储能树莓派传输自身运行

状态以及负荷需求信息。而储能树莓派能够同时向周围树莓派发送以及接收各种状态数据。为保证微电网实际运行过程中树莓派有着良好的性能，可以将 UDP 通信协议融入树莓派当中。UDP 协议也属于是通信协议的一种，无需进行连接，能够实现一对多的通信交互，是现阶段分发信息领域得到广泛使用的一种协议。

三、结语

综上所述，笔者在数字孪生技术的基础之上构建起了智慧微电网多智能体控制架构，形成孪生智能体模型组件，借助多通信协议网络设置孪生智能体相互间的信息传输和交互机制。同时提出建立在多目标决策分析基础上的智能微电网优化调度方法，通过多智能体交互过程当中 UDP 实时通信过程完成相应分析处理。从中可以发现基于数字孪生技术下的智能体驱动运行，有效增强了智慧微电网自我适应、预测以及感知等方面的能力，通过数字孪生完善后的实验方案可以在系统内测试实体上执行，并且将测试实体执行状态和数字孪生系统进行动态地反馈交互，最终实现向智慧微电网全生命周期管理以及运行提供科学可靠的依据。

参考文献:

- [1]高扬,贺兴,艾芊. 基于数字孪生驱动的智慧微电网多智能体协调优化控制策略[J]. 电网技术,2021,45(7):2483-2491.
 - [2]王鑫,王霖,余芸,等. 数字孪生电网的特性、架构及应用综述[J]. 电子与信息学报,2022,44(11):3721-3733.
 - [3]白浩,周长城,袁智勇,等. 基于数字孪生的数字电网展望和思考[J]. 南方电网技术,2020,14(8):18-24,40.
 - [4]姚建光,王健,孙泰龙,等. 基于数字孪生体的现代电网设备管理体系研究与建设路径[J]. 电力设备管理,2022(8):43-46.
 - [5]贺兴,艾芊,朱天怡,等. 数字孪生在电力系统应用中的机遇和挑战[J]. 电网技术,2020,44(6):2009-2019.
 - [6]冯洋,尹松,闫敬东,等. 基于数字孪生的电网变压器故障诊断方法[J]. 机械与电子,2022,40(6):26-30.
 - [7]张正文,彭姣,孙树娟,等. 电网数字孪生管理平台的设计及实现[J]. 河北电力技术,2022,41(1):8-11,59.
 - [8]张鹏飞,刘朋熙,章爱武,等. 基于数字孪生的电网基础资源运营场景可视化[J]. 科学与信息化,2022(20):88-90,95.
- 陈震(1986-),男,汉族,江苏南通人,学士,工程师,主要研究方向:IT基础架构,IT智能运维,电网数字孪生等。
- 邓寻(1989-),男,汉族,江苏苏州人,学士,主要研究方向:工业互联网、电力数字孪生技术等。
- 赵志强(1988-),男,汉族,河南周口人,硕士,工程师,主要研究方向:电力自动化系统、电网数字空间、5G及物联网技术等。