

DOI:10.19651/j.cnki.cmt.2107047

基于北斗与数字孪生技术的智能电网运维平台研究*

黄文德^{1,3} 张晓飞^{1,3} 庞湘萍¹ 张利云^{1,3} 康娟^{2,3} 李靖^{2,3}(1. 南宁学院机电与质量技术工程学院 南宁 530200; 2. 广西北斗天宇航天科技有限公司 南宁 530009;
3. 广西科学院北斗创新应用研究中心 南宁 530007)

摘要: 针对电力系统日益复杂的运维问题,将北斗精准时空技术与数字孪生系统理论相结合,提出构建智能电网运维平台的方法。该方法通过将北斗与物联网传感器相结合,形成可以进行状态预测、故障诊断、自愈等功能的数字孪生运维平台。本文首先分析了北斗数字电力孪生系统总体架构,然后从数字孪生体建模理论、基于北斗的数据采集智能终端、数字孪生平台的运行模式等方面展开讨论电力系统的数字孪生体构建方法,最后进行了应用试验分析。研究结果表明,本文提出的方法对提升智能电网的运维能力具有参考价值。

关键词: 北斗;数字孪生;智能电网;运维平台

中图分类号: V1 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 590.99

Smart grid operation and maintenance platform based on Beidou and digital twin technology

Huang Wende^{1,3} Zhang Xiaofei^{1,3} Pang Xiangping¹ Zhang Liyun^{1,3} Kang Juan^{2,3} Li Jing^{2,3}

(1. School of Mechatronics and Quality Technology Engineering, Nanning University, Nanning 530200, China;

2. Guangxi BeiDou Tianyu Aerospace Technology Co., Ltd., Nanning 530009, China;

3. BeiDou Innovation and Application Research Center of Guangxi Academy of Sciences, Nanning 530007, China)

Abstract: Aiming at the increasingly complex operation and maintenance problems of power system, this paper combines Beidou precise space-time technology with the theory of digital twin system, and puts forward the method of building the operation and maintenance platform of smart grid. By combining Beidou and Internet of Things sensors, this method can obtain real-time information of power system operating state, equipment working condition and equipment parameters, and take these information as input of digital twin system. By interacting with the actual power system, the digital twin system can form a digital twin operation and maintenance platform that can perform state prediction, fault diagnosis, system self-healing and other functions. The research results show that the method proposed in this paper has reference value for improving the operation and maintenance capability of smart grid.

Keywords: BeiDou; digital twin; smart grid; operation and maintenance platform

0 引言

近年来,电网的规划、建设、运行及客户服务等对空间地理位置的需求越来越重要。利用北斗系统所提供的高精度定位、导航和授时服务,为电网调度、智能巡检、物资运输、基建安全管控、营销服务等各专业领域提供了极大便利。

电力行业高度关注北斗系统建设与发展,积极开展北斗系统在电力基建、运检、营销以及调度等领域的应用,北斗系统已在电力资源管理、安全应急、北斗授时等方面取得

一系列突破性成果。目前北斗产品已经应用于电力行业的各个环节,在北斗授时领域,100%的管理信息系统和90%的调度系统已使用北斗授时服务;在北斗定位导航领域,90%公务、生产车辆已使用北斗定位导航终端;在无公网覆盖的偏远地区,采用北斗短报文的方式进行电能数据收集及回传^[1-3]。

尽管如此,在如何利用北斗精准时空技术提升智能电网运维水平方面还存在较大差距^[4-5],尤其是用户侧。用户侧由于缺乏高效的运行管理和维护保障支撑平台,用电故障得不到及时排除,导致近年来农村等地用电投诉上升,用

收稿日期:2021-06-24

* 基金项目:南宁学院校级项目(2021XJ06)资助

电安全得不到保证,甚至危害用户生命财产安全。

随着电网规模的不断扩大及运行方式的日趋复杂,电网一体化建模与分析的必要性日益凸显^[6-8]。当前工业生产已经发展到高度自动化与信息化阶段,在生产过程中产生大量信息。但由于信息的多源异构、异地分散特征易形成信息孤岛,在工业生产中没有发挥出应有价值。而数字孪生^[9-11]为工业产生的物理对象创建了虚拟空间,并将物理设备的各种属性映射到虚拟空间中。工业人员通过在虚拟空间中模拟分析、生产预测,能够仿真复杂的制造工艺,实现产品设计、制造和智能服务等闭环优化。

本文从智能电网的发展趋势出发,结合北斗精准时空服务和数字孪生技术,讨论北斗数字孪生电网运维平台的总体架构和构建方法,并进行可行性验证和前景分析。

1 北斗+数字孪生运维平台总体架构

现代电力系统正处于规模不断扩大,计算数据量和复杂度持续增加的进程中^[12]。电力系统的运行和控制难度

不断加大,需要引入更先进、高效的电力系统分析和控制技术来帮助解决现实系统中出现的复杂问题。大规模系统精准建模与仿真技术被认为是研究电力系统运维问题的有效手段^[13]。

数字孪生是复杂产品的综合多物理、多尺度、概率模拟,使用最佳物理模型、传感器更新等,反映其相应孪生系统的生命。它可以正确地将产品的各种物理数据映射到虚拟空间。虚拟产品可以反映相应的物理产品的整个生命周期过程^[14]。

数字孪生驱动的虚拟验证可以充分利用设备、环境、材料、客户的物理特征和上一代历史数据的数据。这种方法可以测试是否存在设计缺陷并找出原因,然后重新设计将更加快速、方便。而且,它可以避免繁琐的验证和测试,从而极大地提高设计效率。本文提出利用北斗·数字电力孪生系统来提高智能电网运维水平。该系统由基础支撑层、数据互动层、模型构建与仿真分析层、共性应用层和运维应用层组成,如图 1 所示。

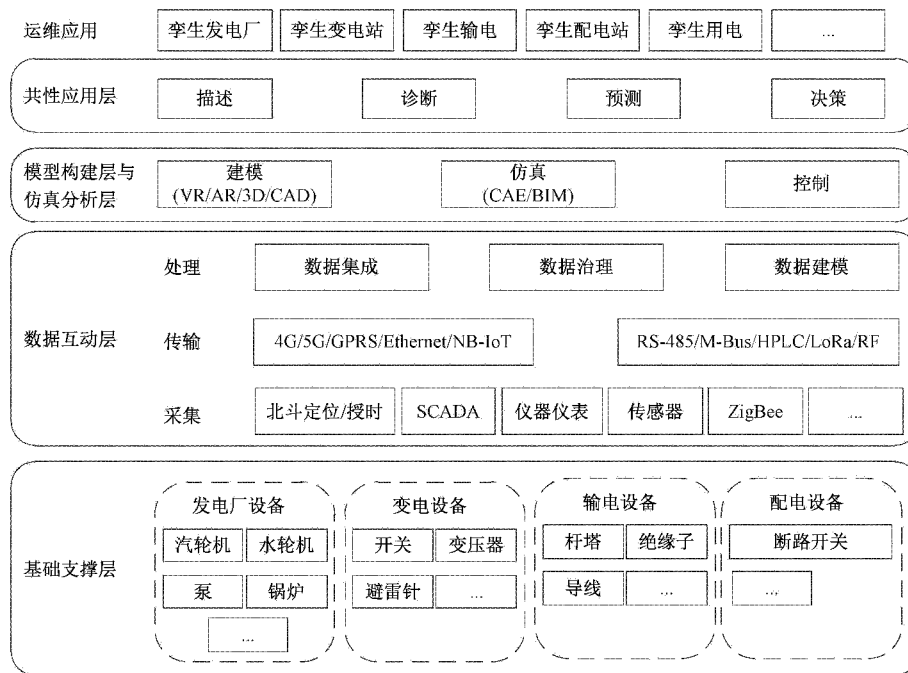


图 1 北斗·数字电力孪生系统总体架构

该系统各组成部分的功能如下:

- 1) 基础支撑层由具体的设备组成,包括发电设备、变电设备、输电工具、配电设备等组成。
- 2) 数据互动层包括数据采集、数据传输和数据处理等内容。
- 3) 模型构建与仿真分析层包括数据建模、数据仿真和控制。
- 4) 共性应用层包括描述、诊断、预测、决策 4 个方面。
- 5) 运维应用层则包括孪生发电厂、孪生变电站、孪生输电系统、孪生配电站/所、孪生用电设备等多方面

运维应用。

2 电力系统的数字孪生体构建方法

2.1 数字孪生体建模

北斗·数字电力孪生体指的是电力实物生产要素(即发电机、变压器、输电导线、用电设备等)及其对应的模型(即虚拟生产要素)和数字孪生数据组合起来的联合体。数字孪生数据包括从安装在电力系统中的传感器或数控系统收集的物理数据、从虚拟模型以及现有的信息系统中读取的虚拟数据,并将这两部分联系在一起。电力数字孪

生体示意图如图 2 所示。

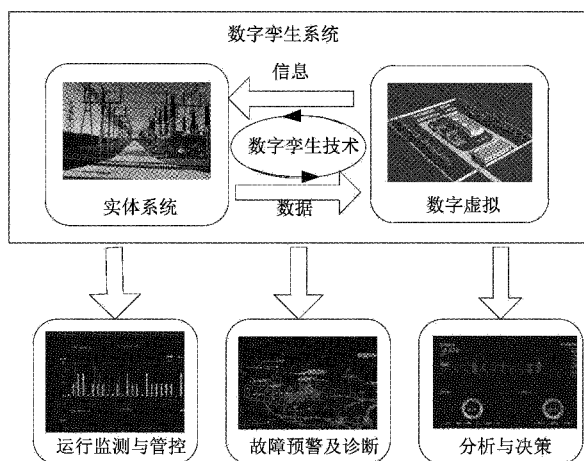


图 2 电力数字孪生体示意图

北斗·数字电力孪生体是构建基于北斗与数字孪生技术的电力智慧运维平台的基础。北斗·数字电力孪生体对电力系统进行整体建模,建模的内容包括实体、数据、运维规则、故障解决等多个方面,通过数据交互,最终实现物理电力系统与虚拟电力系统一致。

2.2 基于北斗的数据采集智能终端

1) 北斗+4G/5G 智能数据采集终端

北斗+4G 智能云终端是专门针对无线智能抄表、控表、监测而研发的,可完成对电表数据结合北斗信息的无线传输。传回的每帧数据都携带有北斗时间和坐标信息,可更为直观的体现电表的实时情况,也可实时定位设备位置信息,在设备异常时,及时做出相应处理,把事故消灭在萌芽阶段。另外,相较于使用 GPRS 通讯,4G 网络具备覆盖范围更广、不易受地形限制、通讯更为稳定等特点,且该设备兼容 4G 与 GPRS 网络,在有条件的情况下优先使用 4G 网络,4G 信号弱时切换 GPRS,设备网络自适应。该产品具有定位精度高、时间精度高、信息传输稳定、使用简便等特点。

2) 北斗短报文通信数据采集终端

以北斗三号短报文通信为基准,研制北斗导航通信一体机,形成米级定位和 1 000 汉字/次或 14 000 比特/次的实时数据传输的能力^[15]。主要应用于无 4G/5G 公网条件下的位置、业务等信息采集,以及短报文通信。解决农村等偏远地区电力数据信息的采集。

电力数字孪生系统数据采集示意图如图 3 所示,可实现集中抄表、计量、数据采集、决策控制、记录重大计量事件、统计分析、配电变压器台区信息监测、电力需求侧负荷测控管理、无功控制、各级漏电保护器远程测控、双向互动等功能。

2.3 数字孪生平台的运行模式

1) 实时监测模式:系统采用先进的在线监测、传感器技术、数字处理技术、北斗卫星技术和无线通信技术,通过

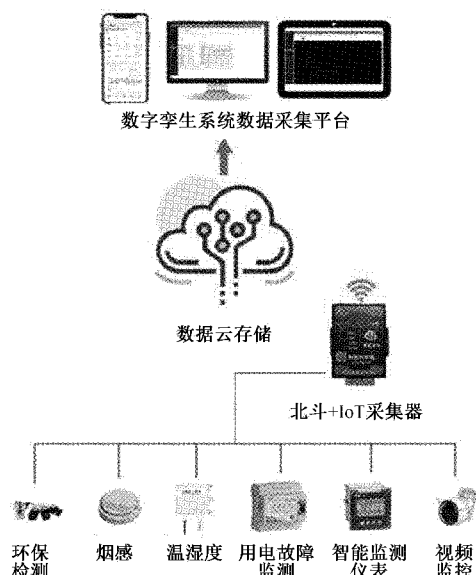


图 3 电力数字孪生系统数据采集示意图

安装在电力设备上的多种传感器和现场监测装置,远程在线监测、监视电力设备的运行状态及设备周围的环境状况,当电力设备出现故障或现场发生异常时(如:设备短路、电缆温度过高、设备进水、线缆变形受损、非法闯入等),装置能在第一时间自动采集信息,结合北斗时间及坐标,并向上级远方监控管理中心发送监测信息(数据、语音、视频等)和报警信息,运维人员无需亲临现场,即可通过北斗技术实时了解设备的运行状态以及异常设备的地理位置信息,直接对现场进行监听、监视,对异常设备及时做出反应,将事故消灭在萌芽状态。图 4 所示就是一类在线监测的运行模式。

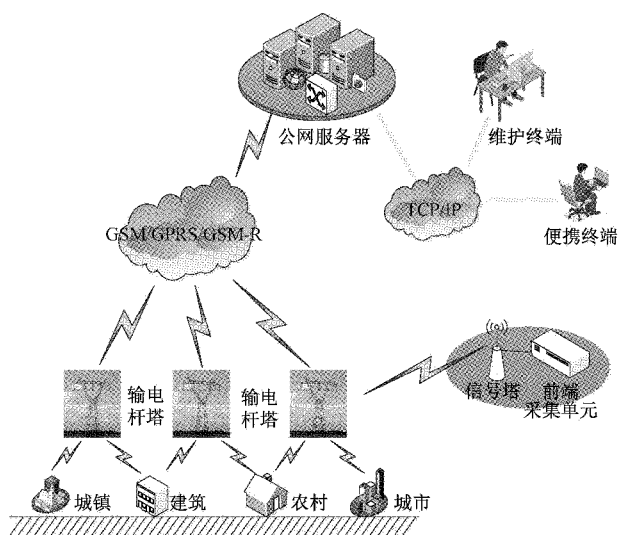


图 4 基于北斗的杆塔监测系统示意图

2) 故障预测模式:数字孪生系统对真实物理系统、设备或过程具有动态和持续更新的能力。利用孪生系统实

时数据和历史数据,对可能发生的故障地点、故障时间、故障类别、故障设备等进行预测。

3)故障自愈模式:数字孪生系统对故障恢复的多个备选方案进行寻优计算,从中选择最优自愈方案。该模式需要故障树和专家系统的支持。

3 应用实例

利用北斗精准定位服务和数字孪生技术,构建智能电网运维原型平台,如图 5 所示。该原型平台具有设备管理与在线监测、故障预测与报警、设备定位、运营分析统计等重点功能。

所在位置: 设备管理: 全部

ID	名称	所属设备	所属位置	打印	批量导入
1	02210200003	6447	线路科技	007007-2	李俊峰
2	02210200002	10476	线路科技	007007-1	李俊峰
3	02210200001	5447	线路科技	007007-1	李俊峰
4	02210200001	北斗+北斗	线路科技	007007-1	李俊峰
5	02210200001	北斗+北斗	线路科技	007007-1	李俊峰
6	02210200001	北斗+北斗	线路科技	007007-1	李俊峰
7	02210200001	北斗+北斗	线路科技	007007-1	李俊峰
8	02210200001	北斗+北斗	线路科技	007007-1	李俊峰
9	02210200001	北斗+北斗	线路科技	007007-1	李俊峰
10	02210200001	北斗+北斗	线路科技	007007-1	李俊峰
11	02210200001	北斗+北斗	线路科技	007007-1	李俊峰
12	02210200001	北斗+北斗	线路科技	007007-1	李俊峰
13	02210200001	北斗+北斗	线路科技	007007-1	李俊峰
14	02210200001	北斗+北斗	线路科技	007007-1	李俊峰
15	02210200001	北斗+北斗	线路科技	007007-1	李俊峰
16	02210200001	北斗+北斗	线路科技	007007-1	李俊峰
17	02210200001	北斗+北斗	线路科技	007007-1	李俊峰
18	02210200001	北斗+北斗	线路科技	007007-1	李俊峰
19	02210200001	北斗+北斗	线路科技	007007-1	李俊峰
20	02210200001	北斗+北斗	线路科技	007007-1	李俊峰
21	02210200001	北斗+北斗	线路科技	007007-1	李俊峰
22	02210200001	北斗+北斗	线路科技	007007-1	李俊峰
23	02210200001	北斗+北斗	线路科技	007007-1	李俊峰

(a) 设备管理与监测

所在位置: 报警信息: 所有报警

ID	名称	报警内容	报警时间	报警地址	类型	处理
1	02105410002	电压互感器三相不平衡	2021-09-07 11:57:45		未处理	
2	02105410002	电压互感器三相不平衡 1.00倍,为确定正常使用。	2021-09-07 10:54:03		未处理	
3	02105410002	电压互感器三相不平衡	2021-09-07 08:07:00		未处理	
4	02105410002	电压互感器三相不平衡 7.00倍,为确定正常使用。	2021-09-07 08:07:07		未处理	
5	02105410002	电压互感器三相不平衡	2021-09-07 01:24:00		未处理	
6	02105410002	电压互感器三相不平衡	2021-09-06 21:14:00		未处理	
7	02105410002	电压互感器三相不平衡	2021-08-16 22:51:50		未处理	
8	02105410002	电压互感器三相不平衡 3.00倍,为确定正常使用。	2021-08-06 17:44:01		未处理	

(b) 故障报警

图 5 基于北斗与数字孪生技术的智能电网运维原型平台

平台利用先进的在线监测、传感器技术、数字处理技术、北斗卫星技术和无线通信技术,可以实现对电网设备的实时在线监测,对其工作状态、运行数据进行采集、回传与监控;比如,基于北斗的数据采集终端,实时采集到设备信息,通过网络或者北斗通信链路回传数据,轻松实现对设备的数据监控与分析。

平台的故障监测与告警功能,实时对故障进行预报或告警,能够避免或减轻损失;利用北斗的精准定位技术,实现对输电杆塔的监测,通过分析其位置的微小变化到达杆塔安全监测与告警的目的。

平台的运营分析统计功能,对电网中的设备信息、用电信息等数据进行统计分析,分析结果作为平台控制和运

维决策的有力依据。

基于北斗与数字孪生技术的智能电网运维原型平台,利用北斗和数字孪生技术,使得电网运维管理更加智能化,能够提高了工作效率,降低了运维成本。

4 北斗数字电力孪生系统的应用前景分析

当前,北斗数字电力孪生系统的应用场景主要为以预测为主的“碎片化”单点示范工程,随着大数据、物联网、云计算、人工智能等新一代信息技术的快速发展和深度融合,北斗数字电力孪生系统将更加智慧,同时拥有更广阔的应用前景:

1)随着北斗数字电力孪生系统的发展,电网的每台设备甚至每个部件都将拥有其对应的数字孪生,并贯穿于全生命周期,使得电网的管理更加精细化,资产利用率和设备管理水平得以提高,同时所有设备、部件通过数字孪生有机整合到一起,能够更精准地掌握电网的实时状态。

2)北斗数字电力孪生系统与人工智能技术的深度融合势必会大幅度提升数字孪生电网的智能化水平,能够预测电网的发展趋势,自动给出解决方案,为电网的稳定运行提供决策支撑。

3)随着数字孪生技术的发展,数字孪生城市等其它数字孪生系统必将得到同步建设,开放化的孪生电网与其它数字系统的融合将成为必然趋势;同时,构建数字孪生系统的成本将显著降低,北斗数字电力孪生系统将得到普遍应用,与其它数字孪生系统一起共同为数字孪生世界提供支撑。

综上所述,随着技术的发展,北斗数字电力孪生系统的应用将变得更加精细化、智能化、开放化、普遍化。

5 结 论

北斗可为电力系统中提供时间和空间基准。在当前电力系统纷纷采用北斗进行精准授时和定位之际,将北斗与数字孪生技术相结合构建电力系统运维平台,不仅具有现实意义,还具有战略价值。本文以北斗提供的精准时空服务和数字孪生技术的逐步发展应用为前提,提出构建基于北斗和数字孪生技术的智能电网运维平台,并对北斗+数字孪生运维平台总体架构、电力系统的数字孪生体构建方法等内容进行了讨论,提出了理论和方法,并通过原型平台进行了可行性验证,最后对北斗数字电力孪生系统的应用前景进行了分析。

北斗+数字孪生系统将是未来电网发展的必然趋势。本文主要从总体框架和大体解决方法上进行描述,下一步将针对具体实现方法进行研究。

参考文献

[1] 电力北斗标准工作组. 电力北斗标准体系白皮书[S]. 2020:1.

[2] 张惠慧. 北斗卫星远程抄表助力省际电网信息化[N].

- 中国能源报, 2015-07-27(26).
- [3] 陶俊. 北斗通信技术在电力行业中的研究与应用[J]. 中国新通信, 2017(24):9-10.
- [4] 张莹翡. 当前农村配电网规划存在的问题与解决措施[J]. 通信电源技术, 2019, 36(10): 259-260.
- [5] 陈海琼. 农村电网规划的问题与改进分析[J]. 集成电路应用, 2019, 36(11): 108-109.
- [6] 余佳音, 唐坤杰, 章杜锡, 等. 输配网一体化建模与分析方法研究综述[J]. 浙江电力, 2019, 38(11): 1-9.
- [7] 袁川来, 廖庸邑, 孔玲爽, 等. 时间约束的改进分层模糊 Petri 网的配电网故障诊断方法[J]. 电子测量与仪器学报, 2020, 34(3): 126-134.
- [8] 张广德, 于连城, 张译, 等. 基于数据挖掘的电网数据分析方法[J]. 国外电子测量技术, 2018, 37(7): 24-28.
- [9] ZENGIN U, DURAK U, HARTMANN S. The digital twin paradigm for aircraft-review and outlook[C]. AIAA SciTech Forum, 2020.
- [10] GLAESSGEN E, STARGEL D. The digital twin paradigm for future NASA and U. S. air force vehicles[C]. Aiaa/asme/asce/ahs/asc Structures, Structural Dynamics & Materials Conference Aiaa/asme/ahs Adaptive Structures Conference Aiaa, 2012.
- [11] EDWARD K. The US air force digital thread/digital twin-life cycle integration and use of computational and experimental knowledge[C]. 54th AIAA Aerospace Sciences Meeting, 4-8 January 2016, San Diego, California, USA.
- [12] 朱克东. 智能电网环境下电力数据挖掘研究[D]. 南京:东南大学, 2018.
- [13] 郑秀杰, 吴宁, 张国洲, 等. 协同电力系统仿真平台的混合仿真技术研究及应用[J/OL]. 电测与仪表: 1-7[2021-09-08]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/23.1202.TH.20201124.1654.055.html>.
- [14] 刘大同, 郭凯, 王本宽, 等. 数字孪生技术综述与展望[J]. 仪器仪表学报, 2018, 39(11): 1-10.
- [15] 黄文德, 康娟, 张利云, 等. 北斗卫星导航定位原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2019.

作者简介

黄文德, 博士, 主要研究方向为卫星导航系统及航天器轨道动力学。

E-mail: nn_hwd@126.com

张晓飞, 博士, 主要研究方向为系统监测与信号处理。

E-mail: zhangxiaofei@hnu.edu.cn

庞湘萍, 博士, 主要研究方向为质量工程。

E-mail: 839480048@qq.com

张利云, 硕士, 主要研究方向为卫星导航系统仿真与应用技术。

E-mail: 634032814@qq.com

康娟, 硕士, 主要研究方向为卫星导航系统仿真与应用技术。

E-mail: 15574978094@163.com

李靖, 硕士, 主要研究方向为卫星导航系统仿真与应用技术。

E-mail: 810868161@qq.com