DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.181158

基于物联网的具有全景功能的全维度设备状态监测系统研究

艾精文[1]，党晓婧[1]，吕启深[1]，梅春华[2]，张渊渊[2]

(1.深圳供电局有限公司，广东 深圳 518000；2.深圳市康拓普信息技术有限公司，广东 深圳 518034)

摘要：在智能电网中应用物联网技术，可以有效整合电网信息资源，实现电网信息的精细化和可视化。当前，物联网在电网中的应用相对简单，在电网设备运行监控和电力资产管理中尚无具体应用。针对输变电设备在电网系统中的重要性和智能电网的国家战略，研究基于全景数据的输变电设备状态监测系统，把信息模型引入到输变电设备的物联网中。根据输变电设备全寿命周期管理业务所需的设备全景信息，针对智能变电站设备，提出一个全面的全景信息建模方案，通过仿真分析监测网络的性能。该研究为我国输变电设备状态监测系统的发展提供参考和借鉴。

关键词：物联网；全景数据；输变电设备；状态监测

Research on full dimension equipment status monitoring system with panoramic function

AI Jingwen[1], DANG Xiaojing[1], LÜ Qishen[1], MEI Chunhua[2], ZHANG Yuanyuan[2]

(1. Shenzhen Power Supply Co., Ltd., Shenzhen 518000, China;
2. Shenzhen Comtop Information Technology Co., Ltd., Shenzhen 518034, China)

Abstract: The application of Internet of Things (IoT) technology in smart grid can effectively integrate grid information resources and realize the refinement and visualization of grid information. At present, the application of the IoT in the power grid is relatively simple, and there is no specific application in the operation monitoring of power grid equipment and power assets management. Aiming at the importance of power transmission and transformation equipment in power grid system and the national strategy of smart grid, this paper studies the status monitoring system of power transmission and transformation equipment based on panoramic data, and introduces the information model into the IoT of power transmission and transformation equipment. According to the equipment panorama information needed by the whole life cycle management of transmission and transformation equipment, a comprehensive panorama information modeling scheme is proposed for intelligent substation equipment, and the performance of monitoring network is analyzed through simulation. This study provides reference for the development of power transmission equipment condition monitoring system in China.

This work is supported by Science and Technology Project of China Southern Power Grid Co., Ltd. (No. 090000GS62161590).

Key words: Internet of Things; panoramic data; transmission and transformation equipment; condition monitoring

0 引言

在现代社会中经济发展和人民生活都严重依赖于电力，电力是现代城市运行的基础[1]，也是整个社会经济的基础。随着智能电网的发展，互联电网的覆盖范围越来越大，有广泛的互连特点[2]。输变电设备信息互联是建设智能电网建设的目标之一，被认为是物联网的重要应用领域之一。输变电设备的安全性影响电网的安全可靠运行。根据近十年来的电网事故统计，电网事故率超过 50%是由输变电设备故障和自然灾害造成，影响着电网的安全运行[3]。开展输变电设备的物联网业务，包括监测输变电设备的状态和管理设备生命周期，它不仅需要在线监测输变电数据，也需要不同设备的信息系统数据作为辅助支持[4]。它是多维信息，例如设备台账管理、天气信息、实验数据、地理信息等，但是数据在不

基金项目：南方电网公司科技项目资助(090000GS62161590)

同的异构系统中以不一致的格式存储[5]。因此，可能有信息孤岛存在，无法有效利用。此外，各种输变电、状态监测和生命周期管理设备的分类比较模糊，各监测系统又没有统一标准。无法准确预测预警、智能诊断、风险评估、绩效评估[6]。如何解决上述问题，对实现输变电设备监控系统的集成具有重要的理论和实践意义。

阐述和分析了输变电物联网体系结构和特点的基础上，本文新提出基于物联网的全景数据输变电设备状态监测系统，在输变电设备物联网中引入全景信息模型，通过仿真软件对所提出的监测网络进行性能仿真。

1　输变电物联网体系架构

输变电设备物联网的体系结构设计需要将信息流、业务需求和支持层次结合起来，每个层都可以相对独立和完整[7]。在标准制定上要详细按照电工委员会国际标准和物联网行业国际标准，使物联网输变电设备的体系结构标准和开放[8]。该体系能完善输变电设备信息系统，建立符合智能电网发展模式的输变电智能系统，并标准化监控体系[9]。

物联网输变电设备的体系结构如图 1 所示，它由智能应用层、信息集成层、数据通信层和智能感知层组成[10]。智能传感层是物联网的实际对外体现，包括主设备、传感器、标签等，用于完成设备和环境信息的采集[11]；数据通信层提供透明或解析数据传输通道；信息整合层是把采集信息进行融合、存储等[12]；智能应用层由输变电设备全寿命周期管理系统组成，通过监测设备状态和环境，全面感知输变电设备运行情况[13]。

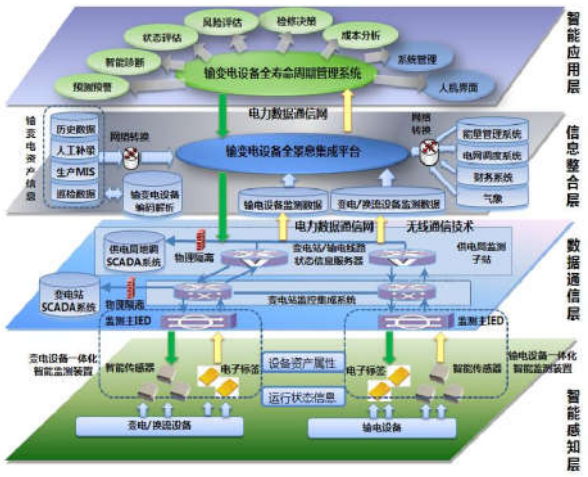


图 1　系统体系架构(物联网)

Fig. 1 System architecture (Internet of Things)

2　输变电设备的全景信息建模

2.1　全景信息

引入物联网技术用于设备监控和资产管理，大量数据被采集回来，也带来了大量新数据格式，并且随着数据流的增加，信息模型也在不断更新[14]。电力输变电设备的信息模型需要不断更新[15]。输变电设备物联网全景信息模型包括很多统一标准和先进技术，如采集系统、标准数据流模式、标准化编码模式等，从三个维度描述设备信息(物理空间、信息空间、应用空间)，根据生命周期管理的需要，提出了输变电设备的全景信息[16]。

输变电设备物联网全寿命周期管理系统的核心业务如图 2 所示。系统包括设备制造、安装、运输、运维等流程，贯穿设备采购、施工、建设等业务环节，其主要功能包括事故风险预防、输变电设备运行维护、设备寿命周期管理等[17]。因此，系统应获取尽可能多的设备信息，包括技术要求、法规信息、工程信息、测试信息等[18]。目前，设备状态诊断分析系统在综合性、交互性和先进性等方面已经不能满足系统的需求，生产管理信息系统、调度自动化系统和在线监控系统是独立的信息管理系统[19]。因此，全景信息模型的建立是物联网输变电设备生命周期管理的基础。

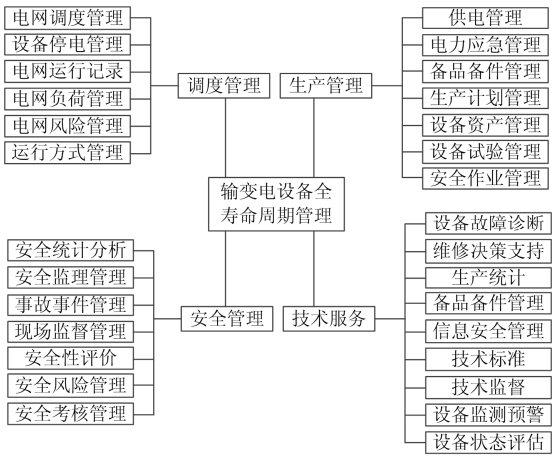


图 2　输变电设备周期管理核心业务

Fig. 2 Transmission and transformation equipment cycle management core business

2.2　基于 CIM 智能变电站设备全景信息建模

CIM(Common Information Model)是 UML 文档化的一系列类图，用于描述各种发电、输电和配电等环节的主要对象[20]。

CIM 模型元数据由电力系统资源模型数据和电力系统资产模型数据组成[21]。根据上述全景信息

建模方法，全寿命周期管理全景信息平台在资源和资产模型数据的基础上，智能变电站设备全景信息可以细分为在线监测信息、电力系统资源信息(主要是设备主接线拓扑)、资产基本属性信息等基本属性信息，具体的建模方案如图 3 所示。

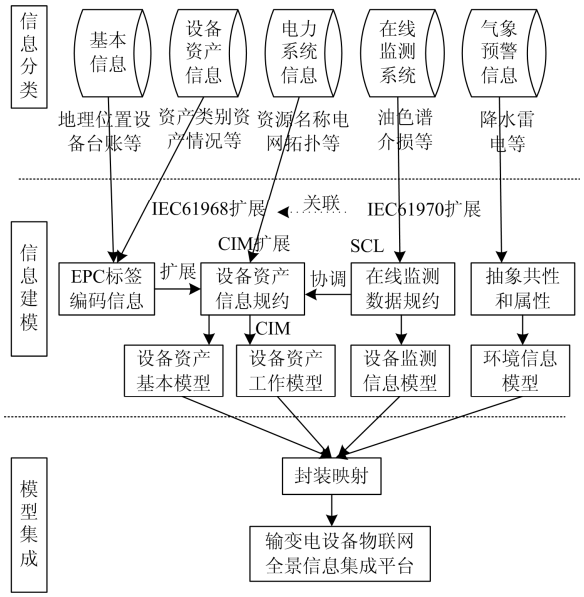


图 3 全景信息建模方案

Fig. 3 Panorama information modeling scheme

总体步骤如下：

步骤一 根据设备寿命周期管理的要求，建立全景信息模型。

步骤二 研究 IEC 标准中的信息模型，通过分析每个类来自哪个包，包含在其中的子类以及该类的应用场景，分析每个类的相关类和本体的属性。接下来，基于全景信息模型的扩展原理，建立初步全景信息模型[22]。

步骤三 建立一个完整的模型并将其引入到实际的用例中，使用软件模型检查工具来调试语法和语义，进行验证。

3 仿真分析

3.1 监测网络相关参数

以 220 kV 变电站为例，变电站占地面积 52.83 亩，由主变压器、220 kV/110 kV 断路器、电流互感器、电压互感器、耦合电容器、绝缘开关(包括接地开关)、电容式变压器、避雷器、高压母线和 10 kV 开关设备组成。从变电站实际情况出发，配置传感器如表 1 所示，根据图 4 所示智能变电站设备的无线监测网络结构，使用 OPNET 网络性能仿真软件分析监测网络。

表 1 监测传感器配置

Table 1 Monitoring sensor configuration

监测对象	监测传感器
主变压器	气体、套管介损、局部放电、接地电流、油温、微水等监测传感器
220 kV/100 kV 断路器	分合闸线圈电流、断开电流、存储电机电流、机构行程等监测传感器
220 kV/100 kV 电流互感器	电容和介损等监测传感器
220 kV/100 kV CVT	电容和介损等监测传感器
220 kV/100 kV 耦合电容器	电容和介损等监测传感器
220 kV/100 kV MOA	泄漏全电流、容性电流、雷击参数等监测传感器
开关柜	局部放电和触头温升等监测传感器
环境参数	温湿度监测传感器

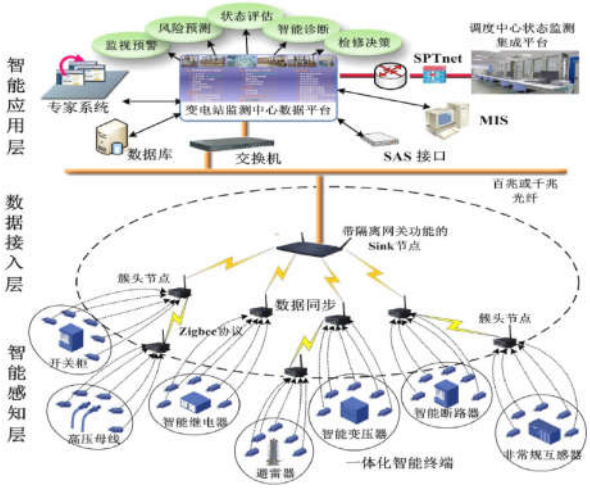


图 4 基于 WSN 智能变电站设备无线监测网络结构

Fig. 4 Wireless monitoring network structure of intelligent substation equipment based on WSN

使用 IEEE 802.15.4 定义的 2.4 GHz 无线信道作为仿真模型传感器节点、路由器节点、协调节点物理层无线信道，具体参数如表 2 所示。

表 2 参数设置

Table 2 Parameter settings

参数	设置值
仿真时间	2 h
节点发射功率	0.003 W
无线带宽	250 kbps
仿真区域大小	200×200 m
协调器节点数	1
路由器节点数	12
传感器节点数	70
物理信道	2.4 GHz 单信道

3.2 监测网络仿真分析

OPNET 中为 Zigbee 网络提供三种拓扑结构(星型、树型和 Mesh)。此外，还设计了簇状拓扑结构。

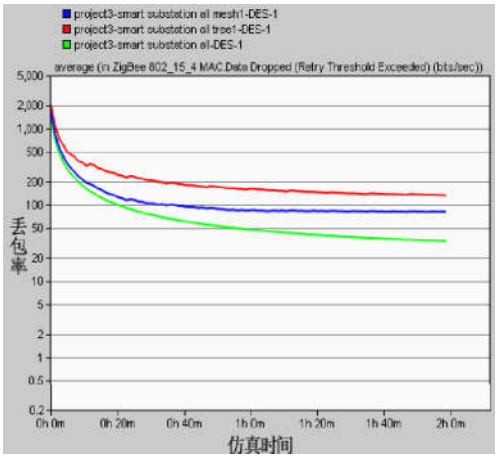
在星形拓扑中，所有传感器节点和簇头节点都需要与协调节点直接通信，在变电站监控网络的实际部署中不适用。因此，该仿真仅针对三种拓扑。

(1) 网络 QoS

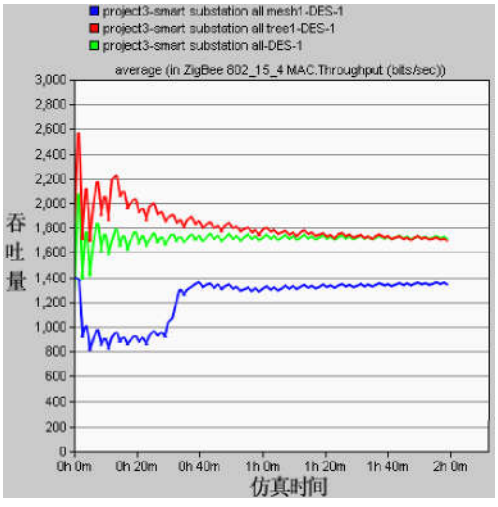
图 5(a)—图 5(d)分别表示三种拓扑的 MAC 层的平均分组丢失率、平均吞吐量、平均延迟和应用层端到端平均延迟统计曲线。由图 5 可知，簇状拓扑的平均丢包率为 33.3 bits/s，但与最小网络流量 62 784 位相比，分组丢失率对实际通信影响不大，数据从一开始传输到网络稳定，簇状拓扑网络变得更加稳定。虽然应用层存在端到端延迟，并大于其他两种拓扑结构，但是当从 MAC 层发送数据时，延迟大小和稳定性明显优于其他两种拓扑。

(2) 节点 QoS

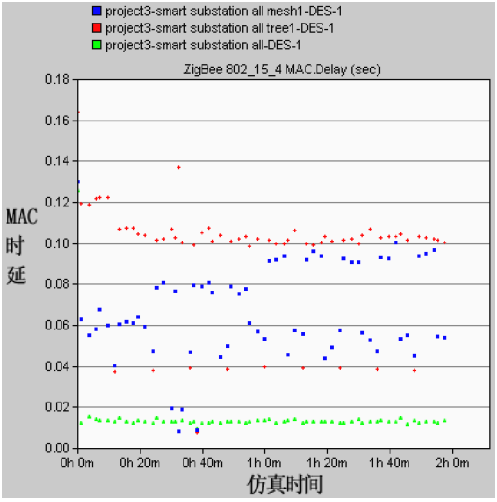
图 6(a)—图 6(f)分别表示变压器监测部分中的路由器节点和传感器节点的分组丢失率、误码率、信噪比。由图 6 可知，当网络稳定时，簇状路由器和传感器节点在丢包率和误码率方面均优于其他结构，但其信噪比指标低于其他结构。



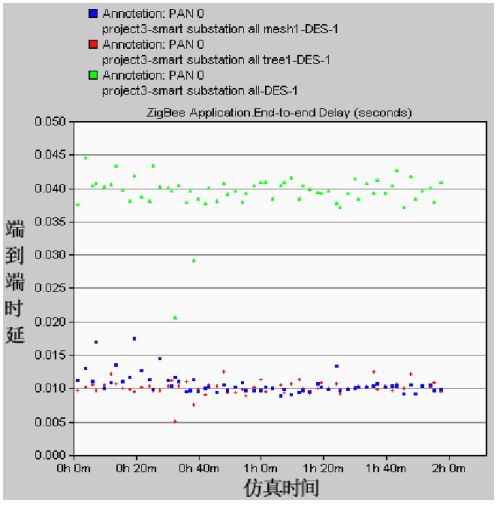
(a) 不同拓扑 MAC 层丢包率



(b) 不同拓扑 MAC 层吞吐量



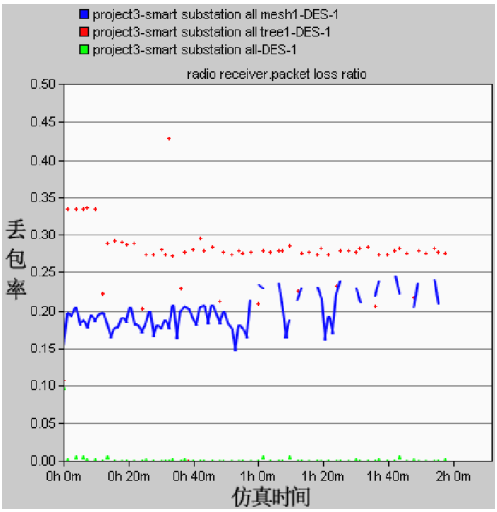
(c) 不同拓扑 MAC 层时延



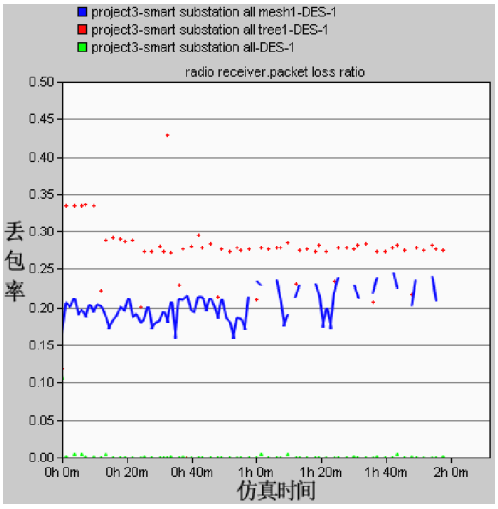
(d) 不同拓扑应用层端到端时延

图 5 不同拓扑的网络 QoS 比较

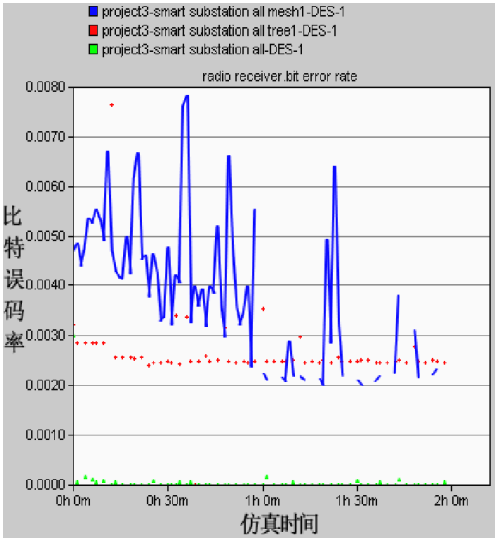
Fig. 5 Comparison of network QoS with different topology



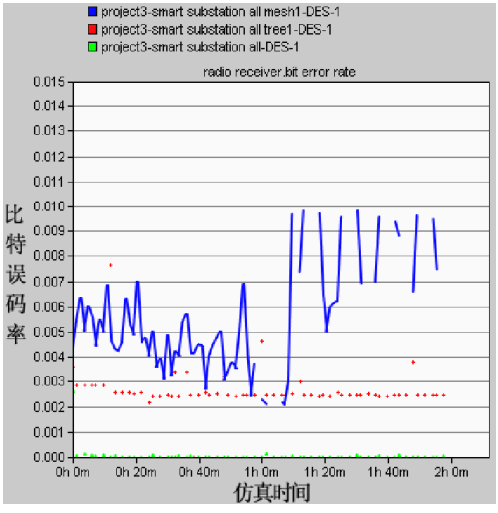
(a) 路由器节点丢包率



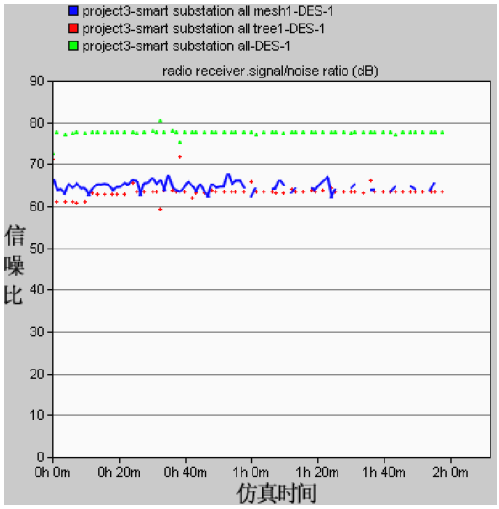
(b) 传感器节点丢包率



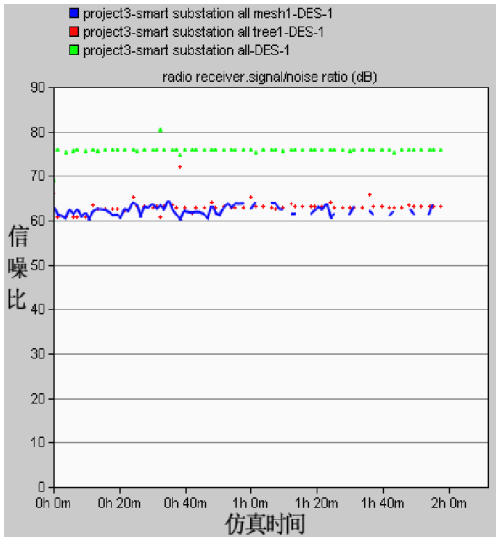
(c) 路由器节点比特误码率



(d) 传感器节点比特误码率



(e) 路由器节点信噪比



(f) 传感器节点信噪比

图 6　不同拓扑的节点 QoS 比较

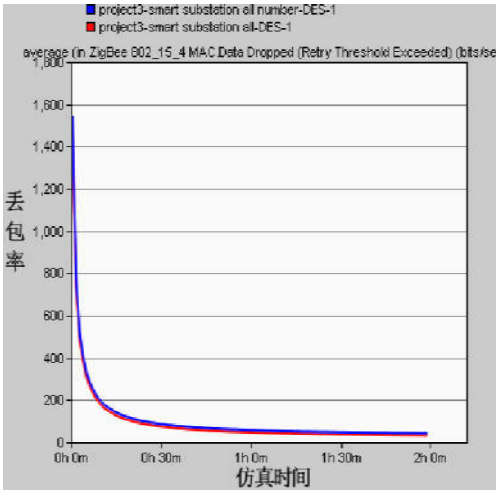
Fig. 6 QoS comparison of nodes with different topology

综上所述，根据图 5 中网络 QoS 和节点 QoS 的比较，簇状拓扑网络的整体性能优于其他两种拓扑，下面仿真在簇状拓扑的基础上进行。

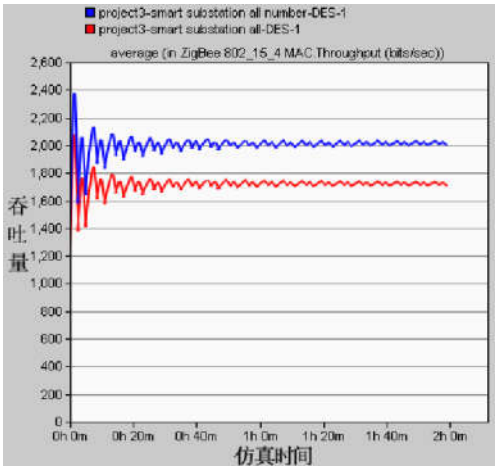
(3) 节点规模对监测网络的影响

在实际应用中，如果未正确设置节点的大小，则网络数据包延迟和数据包丢失率会增加，下面仿真分析添加节点时网络 QoS 的变化。每个设备监视间隔添加一个传感器节点，总共添加 12 个节点，并且节点的属性与原始模型的属性相同。图 7(a)—图 7(d)分别表示两种节点规模网络的 MAC 层的平均分组丢失率、平均吞吐量、平均延迟和应用层端到端平均延迟统计曲线。由图 7 可知，由于整个网络

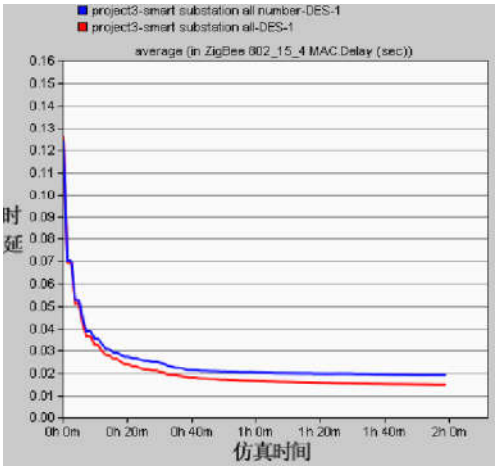
规模的节点数量不大，丢包率不明显，但吞吐量的增加会增加网络延迟。特别是应用层的端到端延迟发生了巨大变化，延迟增加了 0.015 s。



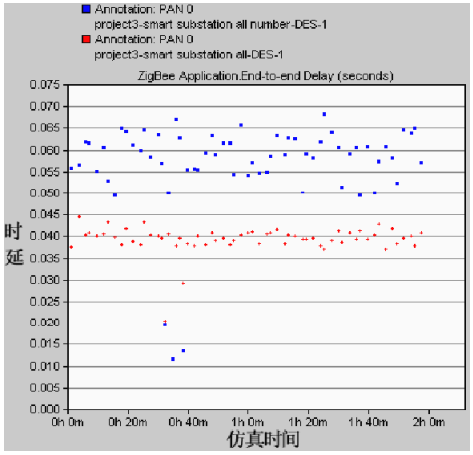
(a) 不同节点规模 MAC 层丢包率



(b) 不同节点规模 MAC 层吞吐量



(c) 不同节点规模 MAC 层时延



(d) 不同节点规模应用层端到端时延

图 7　不同节点规模对监测网络的影响

Fig. 7 Impact of different node sizes on monitoring networks

4　结论

本文从信息的角度出发，提出了一种基于物联网技术的输变电全景信息模型的构建方法。用仿真软件对其性能进行了分析，验证了其有效性和准确性，且证明了所提拓扑结构优于传统的拓扑结构。在当前实验室硬件条件和实验数据规模的影响下，全景信息输变电设备的状态监测系统仍处于试验阶段，在此基础上逐步完善与改进的样机试制将是下一步的研究工作重点。

参考文献

[1] 宋亚奇，周国亮，朱永利，等. 云平台下输变电设备状态监测大数据存储优化与并行处理[J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(2): 255-267.
SONG Yaqi, ZHOU Guoliang, ZHU Yongli, et al. Storage optimization and parallel processing of condition monitoring big data of transmission and transforming equipment based on cloud platform[J]. Proceedings of the CSEE, 2015, 35(2): 255-267.

[2] 刘科研，盛万兴，张东霞，等. 智能配电网大数据应用需求和场景分析研究[J]. 中国电机工程学报，2015, 35(2): 287-293.
LIU Keyan, SHENG Wanxing, ZHANG Dongxia, et al. Big data application requirements and scenario analysis in smart distribution network[J]. Proceedings of the CSEE, 2015, 35(2): 287-293.

[3] 宋人杰，丁江林，白丽，等. 基于合作博弈法和梯形云模型的配电网模糊综合评价[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(14): 1-8.
SONG Renjie, DING Jianglin, BAI Li, et al. Fuzzy comprehensive evaluation of distribution network based on cooperative game theory and trapezoidal cloud model[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(14): 1-8.

[4] 梁唐杰, 谢庆, 柳春芳, 等. 基于全寿命周期理论和云物元理论的配电网规划综合效益的评估[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(19): 12-17.
LIANG Tangjie, XIE Qing, LIU Chunfang, et al. Comprehensive benefit evaluation of distribution network planning based on the life cycle cost theory and the cloud matter element theory[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(19): 12-17.
[5] 曾卫东, 田爽, 袁亚辉, 等. 垃圾焚烧炉自动燃烧控制系统设计与实现[J]. 热力发电, 2019, 48(3): 109-113.
ZENG Weidong, TIAN Shuang, YUAN Yahui, et al. Design and implementation of automatic combustion control system for waste incinerator[J]. Thermal Power Generation, 2019, 48(3): 109-113.
[6] 裘愉涛, 胡雪平, 凌光, 等. 国网公司智能变电站继电保护标准体系研究[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(20): 7-13.
QIU Yutao, HU Xueping, LING Guang, et al. Research on relay protection standard system of intelligent substation of state grid corporation[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(20): 7-13.
[7] 付忠广, 刘炳含, 王鹏凯, 等. 燃气电厂性能指标综合评价模型[J]. 热力发电, 2019, 48(3): 7-21.
FU Zhongguang, LIU Binghan, WANG Pengkai, et al. Comprehensive evaluation model for performance indicators of gas-fired power plants[J]. Thermal Power Generation, 2019, 48(3): 7-21.
[8] 王冬青, 李刚, 何飞跃. 智能变电站一体化信息平台的设计[J]. 电网技术, 2010, 34(10): 20-25.
WANG Dongqing, LI Gang, HE Feiyue. Design of integrative information platform for smart substations[J]. Power System Technology, 2010, 34(10): 20-25.
[9] 杨引虎, 罗建勇, 韦远涛, 等. 分布式电缆局部放电在线监测系统的研制[J]. 智慧电力, 2018, 46(3): 91-100.
YANG Yinhu, LUO Jianyong, WEI Yuantao, et al. Development of distributed cable partial discharge online monitoring system[J]. Smart Power, 2018, 46(3): 91-100.
[10] 张金江, 郭创新, 曹一家. 基于 MAS 的变电站信息一体化嵌入式平台设计[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(9): 52-56.
ZHANG Jinjiang, GUO Chuangxin, CAO Yijia. Design of embedded platform for substation data integration based on multi-agent system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(9): 52-56.
[11] SUNI J C P, VELASCO J A M, MAHSEREDJIAN J, et al. Real-time implementation of a fault location algorithm for homogeneous power systems[J]. Journal of Control, Automation and Electrical Systems, 2014, 22(3): 1121-1124.
[12] NOBAKHTI S M, AKHBARI M. A new algorithm for fault location in series compensated transmission lines with TCSC[J]. International Journal of Electrical Power and Energy Systems, 2014, 42(4): 38-42.
[13] JIA Zhiwei, WANG Lijun, ZHANG Jinchuan, et al. High efficiency, low power-consumption DFB quantum cascade lasers without lateral regrowth[J]. Nanoscale Research Letters, 2017, 12(1): 1-5.
[14] BUTUN I, RA I, SANKAR R. PCAC: Power-and connectivity-aware clustering for wireless sensor networks[J]. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2015, 12(1): 88-94.
[15] IACOVITA C, STIUFIUC R, RADU T, et al. Polyethylene glycol-mediated synthesis of cubic iron oxide nanoparticles with high heating power[J]. Nanoscale Research Letters, 2015, 10(1): 101-108.
[16] SHYYKO L O, KOTSYUBYNSKY V O, BUDZULYAK I M, et al. MoS 2 /C multilayer nanospheres as an electrode base for lithium power sources[J]. Nanoscale Research Letters, 2016, 11(1): 252-256.
[17] MAJUMDAR S, DATTA K K, GHARA R, et al. Line-of-sight anisotropies in the cosmic dawn and epoch of reionization 21-cm power spectrum[J]. Journal of Astrophysics and Astronomy, 2016, 37(4): 346-349.
[18] JIA Zhiwei, WANG Lijun, ZHANG Jinchuan, et al. High efficiency, low power-consumption DFB quantum cascade lasers without lateral regrowth[J]. Nanoscale Research Letters, 2017, 12(1): 88-95.
[19] BUTUN I, RA I, SANKAR R. PCAC: Power-and connectivity-aware clustering for wireless sensor networks[J]. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2015, 40(1): 102-109.
[20] IACOVITA C, STIUFIUC R, RADU T, et al. Polyethylene glycol-mediated synthesis of cubic iron oxide nanoparticles with high heating power[J]. Nanoscale Research Letters, 2015, 10(1): 22-30.
[21] 吴凯峰, 刘万涛, 李彦虎, 等. 基于云计算的电力大数据分析技术与应用[J]. 中国电力, 2015, 48(2): 111-116.
WU Kaifeng, LIU Wantao, LI Yanhu, et al. Cloud computing-based large power data analysis technology and application[J]. Electric Power, 2015, 48(2): 111-116.
[22] 王利平, 庞晓艳, 朱雨, 等. 基于物联网和移动互联的二次设备运维技术研究与应用[J]. 中国电力, 2019, 52(3): 177-184.
WANG Liping, PANG Xiaoyan, ZHU Yu, et al. Research and application of secondary equipment operation and maintenance technology based on Internet of Things and mobile interconnection[J]. Electric Power, 2019, 52(3): 177-184.

收稿日期：2018-09-07； 修回日期：2019-04-22

作者简介：

艾精文(1965—)，男，高级工程师，从事电网调度、电网规划、电网技术、智慧运维等研究工作；E-mail: pjljj545@163.com

党晓婧(1990—)，女，硕士，主要研究方向为电力设备状态监测与评价；

吕启深(1985—)，男，高级工程师，主要研究方向为电力设备状态检测、评价与诊断。

(编辑 张爱琴)