

文章编号: 2095-2163(2022)12-0088-05

中图分类号: TP393

文献标志码: A

# 5G 专网数字孪生技术及在网络管理中的应用

张创基, 陈运胜, 孙令真

(广州华立科技职业学院, 广州 511325)

**摘要:** 为了提高网络管理的效能, 结合 5G 专网数字孪生建模和路由组网控制技术, 构建云网边端融合的 5G 专网客户自管理系统, 提出基于 5G 专网数字孪生建模关键技术的双线连接异构区块链网络管理方法。以端到端可视自运维、孪生仿真、分布式拨测采集和快捷故障诊断等为设计目标, 系统按应用展示层、业务层、能力层、数据层、采集层、系统管理等分层和模块设计, 构建 5G 专网运维管理和 5G 专网孪生仿真子系统, 建立网络管理系统的状态信息检测模块、运维管理模块、设备状态管控模块以及远程调度模块等, 实现网络管理过程中的寿命预测、远程调度、维修规则推理支持、故障预警等。测试得知, 该方法进行 5G 双线连接异构网络管理的效率较高, 生命周期较好, 提高了网络运维可靠性。

**关键词:** 5G 专网; 数字孪生; 网络管理; 故障诊断; 运维管理

## Digital twin technology of 5G private network and its application in network management

ZHANG Chuangji, CHEN Yunsheng, SUN Lingzhen

(Guangzhou Huali Science and Technology Vocational College, Guangzhou 511325, China)

**[Abstract]** In order to improve the efficiency of network management, a customer self-management system of 5G private network with edge-to-edge integration of cloud network is constructed by combining digital twin modeling and routing networking control technology of 5G private network, and a network management method of two-line connection heterogeneous blockchain based on the key technology of digital twin modeling of 5G private network is proposed. With the end-to-end visual self-operation and maintenance, twin simulation, distributed dial test and acquisition and fast fault diagnosis as the design objectives, the system is designed in layers and modules such as application display layer, business layer, capability layer, data layer, acquisition layer and system management. After that, a 5G private network operation and maintenance management subsystem and a 5G private network twin simulation subsystem are constructed, and the status information detection module, operation and maintenance management module, equipment status control module, and remote scheduling module of the network management system are established to realize life prediction, remote scheduling, maintenance rules inference support and faults warning in the process of network management. The test shows that this method has high efficiency, good life cycle and improved the reliability of network operation and maintenance.

**[Key words]** 5G private network; digital twinning; network management; fault diagnosis; operation and maintenance management

## 0 引言

目前, 数字孪生正广泛应用于信息化管理系统中, 结合人工智能和云计算, 在 5G 专用网络体系下实现数字孪生建模, 通过全要素的数字化信息模块构建, 采用大数据和云计算技术, 实现双线连接异构区块链网络管理, 提高网络管理过程中的全过程调度和控制能力。通过建立可视化的数字孪生管理系统结构<sup>[1]</sup>, 采用大数据融合技术, 实现双线连接异构区块链网络管理, 为双线连接异构区块链网络管理提供新的思路 and 方案, 研究双线连接异构区块链网络管理优化技术, 将在城市管理、大数据管理及电力管理等众多领域中都具有很好的应用价值, 相关

的数据处理和信息化管理系统设计研究具有很好的现实意义和价值。

当前双线连接异构区块链网络管理方法主要有基于 PSO 的网络流量序列管理方法、基于 PID 控制的网络管理控制方法等, 结合对网络的传输流量序列分布, 采用融合控制实现 5G 专网数字孪生建模, 但传统方法进行双线连接异构区块链网络管理的可靠性不好。针对上述问题, 本文提出基于 5G 专网数字孪生建模关键技术的双线连接异构区块链网络管理方法, 首先进行系统总体构架, 然后进行数字孪生建模的关键技术分析, 最后进行实验验证。

**作者简介:** 张创基(1983-), 男, 副教授, 主要研究方向: 计算机网络安全、大数据; 陈运胜(1982-), 男, 副教授, 主要研究方向: 机械设计及优化、机械自动化控制; 孙令真(1983-), 男, 副教授, 主要研究方向: 数字化设计与制造、机械设计及优化。

收稿日期: 2022-05-09

哈尔滨工业大学主办 ◆ 学术研究与应用

# 1 网络管理的总体结构模型和功能分析

## 1.1 网络管理总体结构模型

为了实现双线连接异构区块链网络 5G 数字孪生全状态数字信息管理, 实现双线连接异构控制, 在区块链融合的体系结构下, 设计网络设备空间分布结构模型, 基于数字孪生体实景建模, 结合数据挖掘算法, 构建双线连接异构区块链网络 5G 数字孪生数字信息特征分类和自适应调度模型。本文提出基于 5G 专网数字孪生建模关键技术的双线连接异构区块链网络管理方法, 用数字化技术来感知、理解双线连接异构区块链网络 5G 数字孪生全状态数字信息<sup>[2]</sup>, 以网络管理输出端的关联分布数量、损耗、隐患为台账信息, 结合数字孪生技术实现对双线连接异构区块链网络管理信息融合, 在 5G 专网数字孪生建模中通过区块链结构重组和分块信息融合, 构建双线连接异构区块链网络 5G 数字孪生全状态数字信息融合模型, 结合三维可视化管理技术, 实现双线连接异构区块链融合调度。基于客户机/服务器的结构模型, 实现对双线连接异构区块链网络管理系统的人机交互控制, 对采集的双线连接异构区块链网络管理控制信息和视觉信息进行分组调度, 基于客户机/服务器的结构模型, 实现对双线连接异构区块链网络管理系统的人机交互控制, 对采集的双线连接异构区块链网络管理控制信息和视觉信息进行处理的空状态分析模块<sup>[3]</sup>, 采用标准化的 IEC 61850 标准控制协议实现双线连接异构区块链网络管理控制和串行数据重组, 总体结构如图 1 所示。

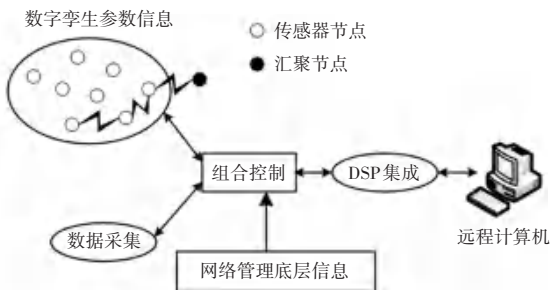


图 1 网络管理数字孪生的总体结构模型

Fig. 1 The overall structure model of digital twinning in network management

建立双线连接异构区块链网络管理系统的信息终端交互模型, 通过 IEC61850 规约, 得到双线连接异构区块链网络管理的模型状态监测器, 采用 SETTINF-GROUP-CONTROL-BLOCK model 模型库, 构建双线连接异构区块链分配组。采用 IEC61850 通信服务协议, 实现双线连接异构区块链

网络管理系统的总线模块构造<sup>[4]</sup>, 组件设计中, 网络信息管理系统分为合并单元(merging unit, MUs), 执行器等功能组件, 构建智慧化双线连接异构区块链网络管理的 ACSI 独立终端, 实现空间状态分布结构重组。在 LOG-CONTROL-BLOCK model 中记录 5G 专网数字孪生双线连接异构区块链网络管理控制块中断, 采用网络底层通信协议实现 5G 专网数字孪生双线连接异构区块链网络管理输出数据解析, 根据上述设计, 构建网络管理的总体结构模型<sup>[5]</sup>。

## 1.2 5G 专网数字孪生的网络管理功能结构分析

文中, 通过人机界面(Human Machine Interface, HMI)进行 5G 专网数字孪生双线连接异构区块链网络管理输出模块终端设计, 结合逻辑节点与逻辑设备融合调节, 设计双线连接异构区块链网络管理系统的服务器端口, 建立双线连接异构区块链网络管理的客户端, 在客户端的视觉分析算法设计基础上, 5G 专网数字孪生双线连接异构区块链网络数据交换的过程就是数据流动的过程, 即从不同异构数据源流向 5G 专网数字孪生双线连接异构区块链网络的统一的目标数据, 采用数据抽取、清洗、转换方法, 实现对 5G 专网数字孪生双线连接异构区块链网络的装载, 形成串行或并行的 5G 专网数字孪生双线连接异构区块链网络分块融合特征分布模型。5G 专网数字孪生双线连接异构区块链网络的数据转换中, 采用一致的数据结构分析模型, 得到 5G 专网数字孪生双线连接异构区块链网络数据粒度, 通过粗糙集数据编码, 得到 5G 专网数字孪生双线连接异构区块链网络转换输出的编码值, 通过研究数字孪生双线连接异构区块链网络的大数据智能分析技术, 建立数字孪生双线连接异构区块链网络的大数据模型库, 包括状态监测模型、故障预测模型、远程诊断模型等<sup>[6]</sup>。

在集成系统的总体集成时, 首先应做好数字孪生双线连接异构区块链网络管理系统各建设单元内部的集成工作, 然后按照不同系统建设数字孪生双线连接异构区块链网络管理单元的接口定义, 按照由强至弱耦合或运行制约实现数字孪生双线连接异构区块链网络管理和模块控制, 结合先后顺序进行数字孪生双线连接异构区块链网络管理控制, 在不同建设单元中集成数字孪生双线连接异构区块链网络管理端口<sup>[7]</sup>。在数字孪生双线连接异构区块链网络管理的各建设单元内部各个系统之间的集成移动控制终端协议, 应参照本总体设计中的接口设计, 进行数字孪生双线连接异构区块链网络管理输出模

块设计,计算双线连接异构区块链网络 5G 数字孪生数字信息的数据包的特征子集,得到双线连接异构区块链网络 5G 数字孪生数字信息挖掘的时延控制模块,综上分析,得到系统的功能结构组件分析模型,如图 2 所示。

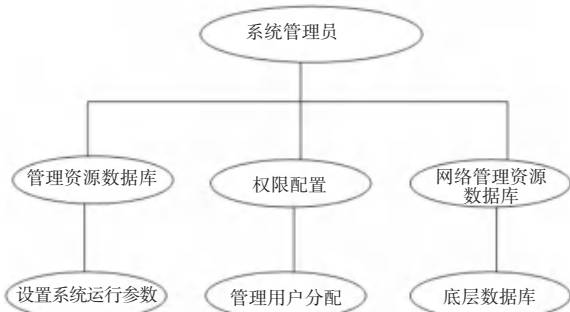


图 2 数字孪生的网络管理结构图

Fig. 2 Network management structure diagram of digital twins

## 2 5G 专网数字孪生建模及网络管理应用

### 2.1 5G 专网数字孪生建模

基于大数据融合技术,构造双线连接异构区块链网络 5G 数字孪生数字信息的分组传输控制协议,得到双线连接异构区块链网络 5G 数字孪生数字信息传输的标准差  $\sigma_j$ , 分析双线连接异构区块链网络 5G 数字孪生数字信息的第  $i$  条记录第  $j$  个属性值的样本聚类特征量,采用数据清洗技术,得到双线连接异构区块链网络 5G 数字孪生数字信息特征分量  $CVd(r_i[j], \sigma_j)$ , 计算关系为:

$$v_{ij} = \frac{x_{ij} - \min_i(x_{ij})}{\max_i(x_{ij}) - \min_i(x_{ij})} \quad (1)$$

其中,  $x_{ij}$  是每个属性的信息增益,  $i = 1, 2, \dots, n$ ,  $j = 1, 2, \dots, m$ 。通过数字孪生模式,实现数据清洗,采用多方联合运检手段,可视化平台集中查询方式,得到双线连接异构区块链网络 5G 数字孪生数字的完整信息分布结构为:

$$CVd(r_i[j], \sigma_j) = \frac{CV_m}{\sum_{m=1}^m CV_m} |r_i[j] - \sigma_j|^2 \quad (2)$$

其中,双线连接异构区块链网络 5G 数字孪生数字信息融合度  $CV$  (Coefficient of Variation), 采用标准差分析,得到双线连接异构区块链网络 5G 数字孪生数字信息检测的相似变异度为  $fer A_i[j]$ , 计算第  $i$  条记录第  $j$  个属性双线连接异构区块链网络 5G 数字孪生数字信息分布集,得到相似度概率密度表示为:

$$differA_i[j] = r_i[j] - \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m A_i[j] \quad (3)$$

在完成单项单元间的集成基础上,进行系统总体集成控制,接入并加工双线连接异构区块链网络 5G 数字孪生数字的业务信息<sup>[8]</sup>,采用结构化时序数据融合和多维度感知,得到双线连接异构区块链网络 5G 数字孪生数字信息挖掘的孪生检测的输出分量为:

$$\lambda_{\max} \approx \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{(A \times p)_i}{p_{i,AHP}} \quad (4)$$

通过参数融合和子空间重组,将本单元与其他单元集成的部分分解,分析双线连接异构区块链网络 5G 数字孪生数字信息分量<sup>[8]</sup>,得到双线连接异构区块链网络 5G 数字孪生数字信息的模糊信息融合构造随机数表达式:

$$\eta_n = \sum_{i=1}^l (x_{1,ns1+i-1} \cdot x_{2,ns2+i-1} \cdot \dots \cdot x_{j,nsj+i-1}) \times 2^{-i} \quad (5)$$

通过三维仿真的孪生双线连接异构区块链网络,并以网络管理输出端的关联分布数量、损耗、隐患为台账信息,结合数字孪生技术实现对双线连接异构区块链网络管理信息融合,获取双线连接异构区块链网络信息管理的数字信息<sup>[9]</sup>,在线对运检作业进行计划管理,得到检测统计分量为:

$$\min F(\sigma_i) = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m \{ [(\sigma_i - p_{i,AHP})v_{ij}]^2 + [(\sigma_i - w_{i,EWM})v_{ij}]^2 \} \quad (6)$$

根据上述分析,采用数字孪生建模,实现孪生双线连接异构区块链融合集中管理、运检风险智能分析<sup>[10-12]</sup>。

### 2.2 网络管理模块实现

在 5G 专网数字孪生双线连接异构区块链网络管理模块设计中,首先进行硬件设计,采用 DAVICOM 公司的 DM9000 网络模块来实现 5G 专网数字孪生双线连接异构区块链网络管理系统的采集数据的远程传输。在 DM9000 模块中,采用 RJ45 连接器实现 5G 专网数字孪生双线连接异构区块链网络管理系统交互控制。在网关功能组件中,实现 5G 专网数字孪生双线连接异构区块链网络管理的串口数据和网络数据的转发,采用 Linux 操作系统作为 5G 专网数字孪生双线连接异构区块链网络管理系统的植入系统,只需在操作系统上编写应用程序就可以实现 5G 专网数字孪生双线连接异构区块链网络管理过程中的 TCP/IP 协议栈设计,在数字孪生双线连接异构区块链网络管理系统的人机交互



端,提供了连接网络的 API 接口,降低了数字孪生双线连接异构区块链网络管理系统设计的复杂度。采用 485 以及 TelosB 通信组网作为数字孪生双线连接异构区块链网络管理系统的子程序调度模块,采用模拟 TCP 服务进程调度方法,建立数字孪生双线连接异构区块链网络管理系统的主程序结构模块,得到数字孪生双线连接异构区块链网络管理系统通信类模型函数描述如下:

(1)Basecomm.cpp。是所有数字孪生双线连接异构区块链网络管理的通信类的基类。

(2)Serialcomm.cpp。是用来处理数字孪生双线连接异构区块链网络管理系统的串口通信,在 TelosB 节点中使用 basecomm.cpp 作为类结构字。

(3)Tcpcomm.cpp。用来处理数字孪生双线连接异构区块链网络管理系统的 TCP 网络通信,继承自 basecomm.cpp。

(4)packetbuffer.cpp。用来对数字孪生双线连接异构区块链网络管理系统的数据包进行缓存。

(5)sfpacket.cpp。为数字孪生双线连接异构区块链网络管理数据包处理程序。

(6)sfcontrol.cpp 系统。作为数字孪生双线连接异构区块链网络管理系统的主类,用来开启 2 个数字孪生双线连接异构区块链网络管理线程,完成数据的中转和缓存。

采用 Basecomm.cpp 堆栈协议,建立数字孪生双线连接异构区块链网络管理系统控制模型,提供 2 个函数,用于数字孪生双线连接异构区块链网络管理过程中的原始数据流的读写:

```
virtual int read routing networking control
technology (int fd, char * heterogeneous blockchain
network);
```

```
virtual int writeFD();
```

采用 readFD 指定的数字孪生双线连接异构区块链网络设备来读取时间序列,读取数据具有一定长度,并将数据保存在数字孪生双线连接异构区块链网络字模块中。

writeFD 用来向指定的数字孪生双线连接异构区块链网络设备写入数据序列。在此基础上,设计 5G 专网数字孪生双线连接异构区块链网络管理的接口:

```
interface Timer < e// twin - wire connection
heterogeneous blockchain
interface Read<uint16_t>;
interface StdControl
```

根据上述对网络管理系统的结构模块化设计,实现网络管理过程中的寿命预测、远程调度、维修规则推理支持、故障预警等。

### 3 实验测试

实验中,采用 USB 接口和 IEEE 802.15.4 通信建立网络管理模型,根据双线连接异构区块链网络 5G 数字孪生数字信息的检测统计分析结果,建立数字孪生的测试集为  $X$ ,概念集为  $Y$ ,设定测试集大小为 2 000,训练集规模为 1 200,网络管理分为设备信息管理和资产信息管理,贡献度水平分布见表 1。

表 1 网络管理的数字孪生关联参数共享水平

Tab. 1 Sharing level of digital twin related parameters in network management

网络管理 约束变量	孪生 关联维	资产信息 贡献度/%	设备状态信息 贡献度/%	场景联动 贡献度/%
设备状态信息	84.375	151.566	4.928	4.654
资产信息	84.520	14.937	4.582	6.344
远程监控管理	84.035	130.519	4.735	9.881
遥测信息	84.453	18.971	4.806	4.804
挂载告警信息	84.441	1.348	4.984	12.018
人员管理	84.635	82.143	4.127	14.132
视频监控	84.231	41.833	4.894	3.052

根据表 1 的参数设定,进行双线连接异构区块链网络管理的过程控制,得到测试数据时域波形如图 3 所示。

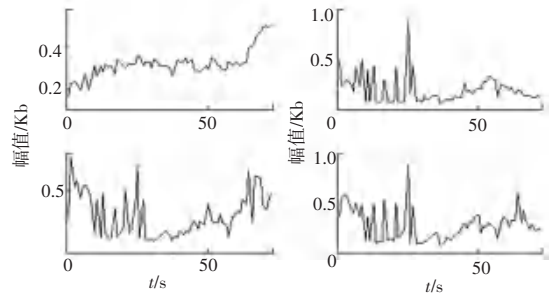


图 3 异构网络传输数据时域分布

Fig. 3 Time domain distribution of data transmitted in heterogeneous networks

以图 3 数据为样本序列,采用本文方法进行 5G 专网的数字孪生处理,进行异构网络传输流量序列的融合处理,实现网络信息优化管理,得到收敛曲线如图 4 所示。

分析图 4 得知,通过数据孪生处理,实现双线连接异构区块链网络管理的优化调度,测试网络时延和负载开销,得到对比结果如图 5 和图 6 所示。

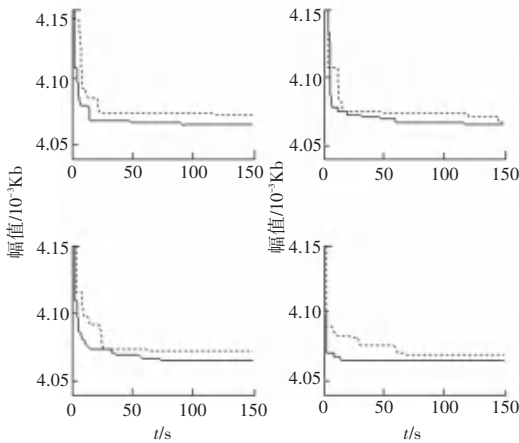


图4 数据孪生融合收敛曲线

Fig. 4 Data twin fusion results

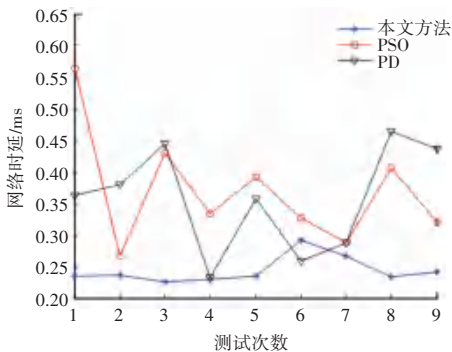


图5 网络时延对比

Fig. 5 Comparison of network delay

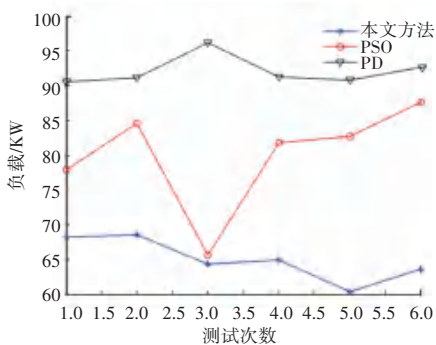


图6 负载开销对比

Fig. 6 Comparison of load cost

分析上述测试结果得知,本文方法引入数字孪生技术,构建虚拟化的数字化双线连接异构区块链

网络管理模型,通过数字融合和优化控制,实现双线连接异构区块链网络管理,时延较低,说明网络管理的效率较高,生命周期较好,提高了网络运维可靠性。

## 4 结束语

本文提出基于5G专网数字孪生建模关键技术的双线连接异构区块链网络管理方法,结合三维可视化管理技术,实现双线连接异构区块链融合调度。采用IEC61850通信服务协议,实现双线连接异构区块链网络管理系统的总线模块构造,计算双线连接异构区块链网络5G数字孪生数字信息的数据包的特征子集,得到双线连接异构区块链网络5G数字孪生数字信息挖掘的时延控制模块。实验中测试网络时延和负载开销,得到对比结果,分析表明本文方法进行网络管理提高了效率,降低了负载和时延。

## 参考文献

- [1] 王俊红, 闫家荣. 基于欠采样和代价敏感的不平衡数据分类算法[J]. 计算机应用, 2021, 41(01): 48-52.
- [2] 李艳霞, 柴毅, 胡友强, 等. 不平衡数据分类方法综述[J]. 控制与决策, 2019, 34(04): 673-688.
- [3] 吴园园, 申立勇. 基于类重叠度欠采样的不平衡模糊多类支持向量机[J]. 中国科学院大学学报, 2018, 35(04): 536-543.
- [4] 魏新艳, 张琳. 物联网中基于信任的频谱资源分配机制[J]. 计算机工程, 2020, 46(04): 26-32, 39.
- [5] 张小清, 王晨曦, 吕彦, 等. 基于ReliefF的层次分类在线流特征选择算法[J]. 计算机应用, 2022, 42(3): 688-694.
- [6] 黄煜梵, 彭诺菡, 林艳, 等. 基于SAC强化学习的车联网频谱资源动态分配[J]. 计算机工程, 2021, 47(09): 34-43.
- [7] 刘洋. 5G网络中低频段无线频谱资源分配优化方法[J]. 计算机仿真, 2020, 37(09): 254-257, 271.
- [8] 张波, 李珂. 基于改进聚类算法的Web异常数据挖掘软件设计[J]. 现代电子技术, 2019, 42(08): 73-76+81.
- [9] 童旺宇. 基于信息资源开放整合的图书检索结果排序优化[J]. 图书馆学研究, 2016(23): 65-71.
- [10] 熊拥军, 欧鹏杰. 图书相关文献资源发现与获取系统构建—基于预索引元数据仓储[J]. 图书情报知识, 2011(06): 101-106.
- [11] 陈艳, 王琪, 王佳庆, 等. 粗糙神经网络数据挖掘技术在大型医疗设备故障预警中的应用研究[J]. 中国医学装备, 2020, 17(09): 144-148.
- [12] 刘生建, 杨艳, 周永权. 一种群体智能算法—狮群算法[J]. 模式识别与人工智能, 2018, 31(05): 431-441.

(上接第87页)

- [20] DANELLJAN M, BHAT G, KHAN F S, et al. Atom: Accurate tracking by overlap maximization[C]//Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Long Beach, CA, USA: IEEE, 2019: 4660-4669.
- [21] ZHU Zheng, WANG Qiang, LI Bo, et al. Distractor-aware

siamese networks for visual object tracking[M]//FERRARI V, HEBERT M, SMINCHISESCU C, et al. Computer Vision—ECCV 2018. ECCV 2018. Lecture Notes in Computer Science(). Cham: Springer, 2018, 11213: 103-119.