

天地一体网络场景下的数字孪生关键技术



Digital Twin Key Technologies for Satellite and Mobile Communication Network

陈新宇/CHEN Xinyu, 张强/ZHANG Qiang,
陆光辉/LU Guanghui

(中兴通讯股份有限公司, 中国 深圳 518057)
(ZTE Corporation, Shenzhen 518057, China)

DOI: 10.12142/ZTETJ.202303010

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.tn.20230620.1624.012.html>

网络出版日期: 2023-06-21

收稿日期: 2023-04-15

摘要: 针对未来天地一体网络的动态组网、多模异构以及网络运维面临的挑战, 提出天地一体网络数字孪生的融合架构。该架构包含数据原生层、数字孪生层等, 可以使网络规划建设极简、运维智能化。针对新的架构, 研究了天地一体网络数据原生、知识图谱、网络模拟仿真和网络策略优化等关键技术及其应用。

关键词: 天地一体网络; 数字孪生; 动态组网; 模拟仿真; 策略优化

Abstract: In response to the challenges faced by dynamic networking, multi-mode heterogeneity, and network operation and maintenance of the future integrated satellite and mobile network, an integrated architecture of digital twins is proposed. This architecture includes a data native layer, a digital twin layer, etc., which can greatly simplify network planning and construction, and make operation and maintenance intelligent. With regard to the new architecture, key technologies and applications such as data native, knowledge map, network simulation, and network strategy optimization in the integrated satellite and mobile network.

Keywords: integration of satellite and mobile communication network; digital twin; dynamic networking; simulation; policy optimization

引用格式: 陈新宇, 张强, 陆光辉. 天地一体网络场景下的数字孪生关键技术 [J]. 中兴通讯技术, 2023, 29(3): 51-58. DOI: 10.12142/ZTETJ.202303010

Citation: CHEN X Y, ZHANG Q, LU G H. Digital twin key technologies for satellite and mobile communication network [J]. ZTE technology journal, 2023, 29(3): 51-58. DOI: 10.12142/ZTETJ.202303010

1 天地一体网络的场景和面临的挑战

天地一体通信是未来5G、6G的重要技术方向, 面向山区、沙漠、海洋等提供宽带接入或广域物联, 尤其是能够为航线上的飞机提供空中网络接入服务^[1-3]。此外, 在发生地震、海啸等自然灾害时, 天地一体通信能进行应急通信, 实现遥感、观测等。

天地一体化融合通信通过分布式网络覆盖全域, 实现用户随时随地的网络接入。天地一体网络在5G、6G网络中, 将实现卫星和移动通信的融合: 卫星接入与地面接入互补, 地面控制与星上控制并存。

第3代合作伙伴计划(3GPP)从R15就开始研究卫星和

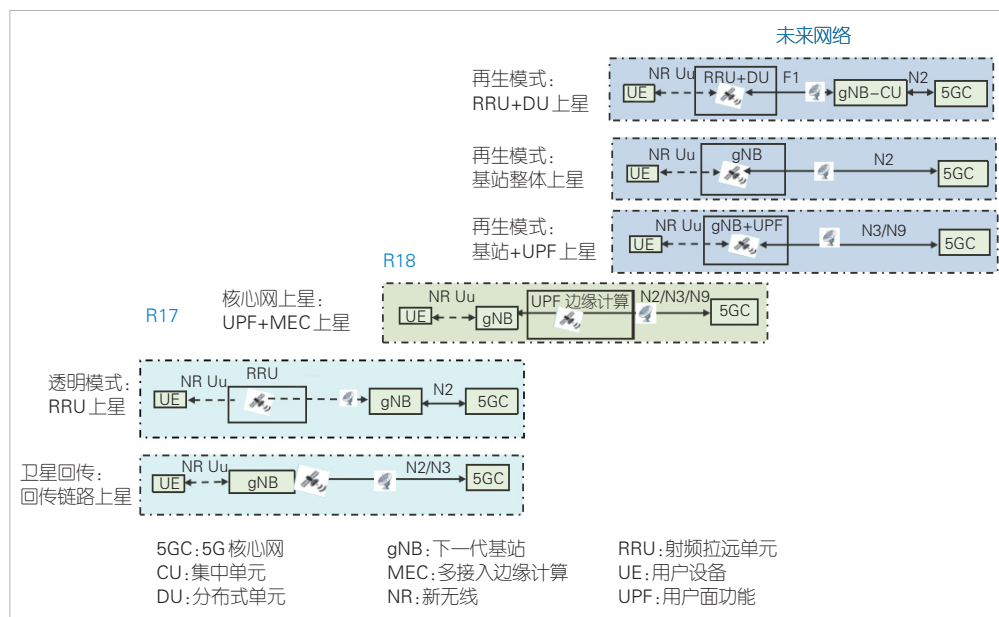
移动通信的融合组网^[4]; 在R16中继续研究卫星组网的通信模式、面临的挑战及解决方案^[5], 其中通信模式包括透明模式、再生模式、核心网上星模式及回传模式等; 在R17中将天地一体通信正式标准化, 包括透明模式和卫星回传; R18开始定义核心网上星, 如图1所示。

1) 透明模式。透明模式又叫弯管模式。在这种模式下, 卫星只进行频率转换, 透传基站空口的数据和信令。基站和核心网都在地面。基站空口的无线信号通过卫星转发到地面。

2) 再生模式。这种模式是指基站在卫星上, 即站随星动, 移动通信信号由星上的基站产生。其中, 基站可以部分或全部在卫星上。

3) 核心网上星。在这种模式下, 核心网网元部分或者全部在卫星上, 例如用户面功能(UPF)、接入和移动管理

基金项目: 国家重点研发计划项目(2020YFB1806700)



▲图1 天地一体的融合模式

功能 (AMF)、会话管理功能 (SMF) 等^[6]。

4) 回传模式。该模式是指基站和核心网都在地面, 卫星起到回传链路的作用。例如, 当基站建在海岛上时, 由于海岛与陆地之间很难布设光纤, 基站无法连接到核心网, 但可以通过卫星回传链路实现连接。

天地一体通信涉及卫星网络、天基网络、地基网络协同融合组网, 面临一些挑战:

1) 组网复杂且具有动态性。未来卫星通信将涉及地球同步轨道 (GEO) 卫星、中地球轨道 (MEO) 卫星、低地球轨道 (LEO) 卫星等多种卫星。其中, 低轨卫星的高速运动使网络拓扑动态变化。这对移动性管理和连接管理都提出了更高的要求。

2) 全异构、多模态接入。天地一体通信需要支持卫星网络、天基基站、地面基站、固定网络等多模接入。终端的异构性、传输环境的多样化等使天地网络的融合调度更加复杂; 其次, 天地一体网络的用户分布、业务特性和网络规划都比单一的地面网络难度更大。

3) 运维优化难度高。相比于地面网络, 星上和机载系统的部署、开通以及运维优化难度极大,

对板件的可靠性要求高, 且难以扩容, 因此需要考虑星上和空中网元设备的智能化运维及远程运维 (甚至免运维) 能力。

2 天地一体网络数字孪生融合的架构

针对天地一体网络在网络规划建设和运维优化方面面临的挑战, 本文提出天地一体网络数字孪生的融合架构, 如图2所示。该架构包括物理网络层、数据原生层、孪生网络层、孪生应用层, 使天地一体网络规划建设极简、运维运营智能化。数字孪生技术与天地

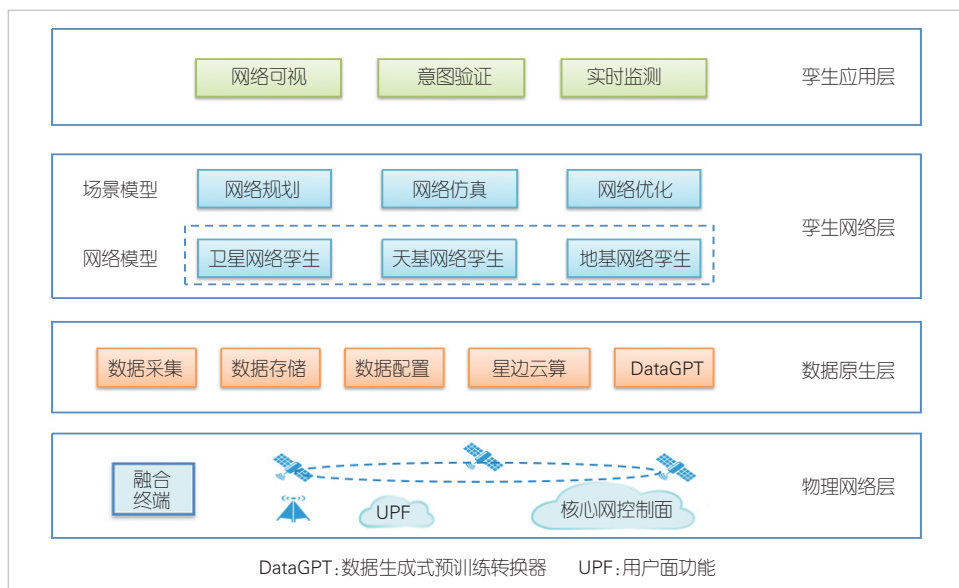
一体网络的结合有助于实现网络模拟仿真和策略优化。

1) 物理网络层

物理网络包括卫星网络、天基网络、地基网络。其中, 卫星网络包含高中低轨的卫星, 天基网络包含星上基站、核心网、多接入边缘计算 (MEC) 及业务平台, 地基网络包含终端、基站、核心网、业务平台等。

2) 数据原生层

数据原生层是数字孪生的基础, 它包含网络采集的原始数据、知识图谱数据, 以及数据预处理后的数据大模型。此



▲图2 天地一体网络数字孪生架构

外,该层还包含:各种数据处理功能,例如数据的采集、转换、存储和配置能力;星边云的协同计算功能,例如星上算力、边缘算力和云端算力。其中,几种数据处理功能的介绍如下:

a) 数据采集。数据原生层通过网元管理接口采集卫星网络、天基网络和地基网络的原始数据。其中,原始数据包括配置数据、性能数据、告警数据、拓扑数据、信令数据等。

b) 数据转换。采集的数据需要进行预处理,包括清洗、加工和转换。结合数据生成式预训练转换器(DataGPT)技术产生的通用数据大模型,优化网络知识图谱,以支撑数字孪生层孪生模型的构建。

c) 数据存储。结合网络数据的多样化特性,利用多种数据存储技术,完成海量网络数据的高效存储。

d) 数据配置。根据数字孪生模型产生的优化策略,对实际的物理网络进行配置优化等。

上述DataGPT技术的作用是:结合人工智能(AI)技术,对采集的海量数据进行预先训练,进而产生网络数据大模型。DataGPT可以根据网络孪生层或者其他应用的简要输入,给出当前网络或未来网络有价值的反馈,例如:当请求“当前网络低轨卫星信息”时,DataGPT输出当前LEO卫星详细的卫星数量、轨道信息、覆盖信息等;当请求“如何新增100万用户卫星接入”时,DataGPT反馈未来网络的网元新增数量建议或扩容建议等。根据获取的信息,孪生层可进行网络或网元孪生的生成及仿真。

3) 数字孪生层

数字孪生层根据数据原生层的数据和知识图谱构建卫星网络孪生、天基网络孪生和地基网络孪生(简称“三网”孪生)。“三网”孪生的有机结合,有助于形成统一的数字孪生模型。在这种模型的基础上构建场景模型,可实现网络模拟仿真和策略优化等。

4) 孪生应用层

孪生应用层为运维、运营人员提供各种基于孪生网络的应用,包括网络可视、网络监测、意图验证等。

在天地一体网络数字孪生的融合架构中,数据原生层和数字孪生层是数字孪生架构的核心,

包含数据原生技术、网络知识图谱技术、天地一体模拟仿真技术和策略优化技术等。

3 天地一体网络数字孪生关键技术

3.1 天地一体网络数据原生技术

天地一体孪生网络的构建离不开数据的采集、清洗和分析。随着AI技术的发展,5G网络、6G未来网络将是大数据模型时代的网络,而天地一体网络将是数据原生的网络,包含丰富的数据,例如用户数据、业务数据、网络数据、算力数据、环境数据、空间数据等。只有进行大量数据的采集和分析,才能够对卫星网络、天基网络和地面网络的数字孪生进行建模。

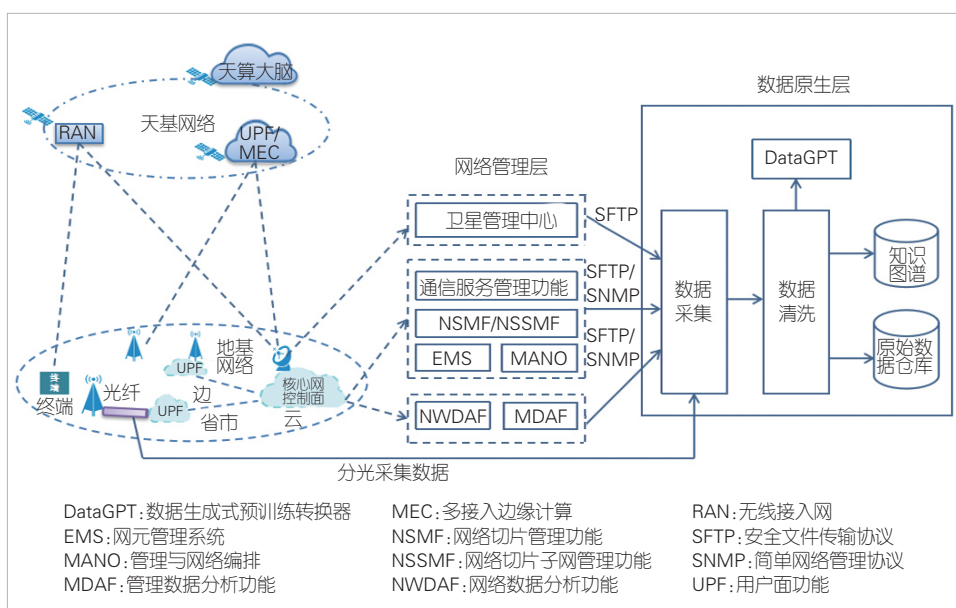
天地一体通信网络中的数据为多源异构数据,是跨层和跨领域的,有时甚至是跨运营商的,例如:卫星网络的轨道数据、星链数据、空间环境数据;天基网络的星上基站数据、星上核心网数据;地基网络的地面基站数据、地面核心网数据,以及网元部署涉及的地理环境数据、机房数据等。

3.1.1 数据采集

在采集数据方面,不同的网络可以采用不同的数据采集技术,如图3所示。

1) 地基网络

对于用户面数据,例如文本、图片、视频,可以采用分光技术,直接从光纤中采集;对于海量信令,也可以采用分



▲图3 数据原生技术

光技术进行收集；对于云化数据中心的虚拟资源数据，例如CPU、内存、网络等信息，可以从管理与网络编排（MANO）中采集；对于网元的数据，例如配置数据、拓扑数据、性能或告警数据，可以从网元管理系统（EMS）中采集；对于网络切片的数据，可以从网络切片管理功能（NSMF）、通信服务管理功能（CSMF）中采集。此外，地基网络还可以从管理数据分析功能（MDAF）、网络数据分析功能（NWDAF）中获取初步加工后的数据。现有的NWDAF/MDAF根据规则和算法，对从网元中采集的数据进行初步加工和处理，例如按切片或区域的流量分布信息等。

非实时的数据可以通过安全文件传输协议（SFTP）传递；实时的数据（如实时监测的性能数据）可以通过简单网络管理协议（SNMP）采集。

2) 天基网络

对于普通的数据，例如星上基站或核心网的配置数据，可以通过地面远程网元管理系统进行采集，这与地基网络类似。采集实时的动态数据具有很大的挑战性。这是因为网络是动态的，进行实时、大量原始数据的采集会造成天地通信信道资源的极大浪费。因此，后期部署星上孪生是一种不错的选择。星上孪生可以与星上运维系统进行一体化部署，对天基网元采集的数据进行提炼、归纳、特征提取等。在对数据进行精简后，星上孪生与地基网络孪生联合，最后形成统一的天地一体化网络数据仓库。

3) 卫星网络

卫星网络可以从卫星运维控制中心采集数据，例如星历数据；或者通过星关站或地面基站，收集或计算卫星网络的轨道数据。

3.1.2 数据清洗

在数据采集后，数据原生层将对数据进行清洗。数据清洗主要是对错误数据、残缺数据和重复数据进行清理。

1) 对错误数据进行纠错

数据错误通常包括格式错误、取值错误、前后不一致等。对此，可以根据模板或者配置数据的设置范围进行校验，例如：对于切片数据，我们可以根据切片模板对数据进行检测和纠正。

2) 对缺失数据进行补充

采集的网络数据的字段可能存在缺失值的问题。目前处理缺失值问题的方法有很多种，但无论哪种方法都需要遵从一定的步骤：首先确定缺失值范围，计算每个字段的缺失值比例，然后再按照缺失比例和字段重要性，分别制定策略。某些缺失值是可以填充的，相应的填充方法有3种：以业务

知识或经验推测填充缺失值；以同一指标的计算结果（均值、中位数、众数等）填充缺失值；以不同指标的计算结果填充缺失值。

3) 对重复数据进行删除

对重复数据进行删除是指：根据采集对象的粒度（如网元粒度、用户粒度等）进行检重，分别以网元名称、用户号码、业务标识等，对关键字段进行关联查询和验证，然后对相同对象的多份数据进行精简，删除其中重复的数据。

对于异构数据，如果是不同厂家的设备，数据配置字段可能有所差异。对此，通过字段对齐和数据转换，能够获得一致的结构化数据。如果涉及多个运营商，那些需要共享的敏感数据，可以基于区块链、联邦学习实现分享、转换和网络关联。

在完成清洗后，数据将被存入原始数据库中，随后经过进一步的分析和预处理。

DataGPT会对结构化的数据进行关联和统计分析，例如：实现同一个告警原因的跨层关联，即根因分析；对同一个用户的信令数据进行跨域关联，将不同域采集的数据关联到同一个号码，实现端到信令交互的可视化。对于非结构化数据（例如文本），可基于业界经典算法进行分析，对数据模型进行预训练。

如果采集的数据包含新的实体或实体关系，则更新网络数据知识图谱。

3.2 天地一体网络知识图谱技术

知识图谱是结构化的语义知识库，用于迅速描述物理世界中的概念及相互关系。天地一体网络涉及卫星网络、通信网络、地理环境等复杂的物理世界，其中实体众多、关系较为复杂。因此，构建清晰、有逻辑的网络知识图谱，更有利于网络数字孪生的构建、仿真和优化。

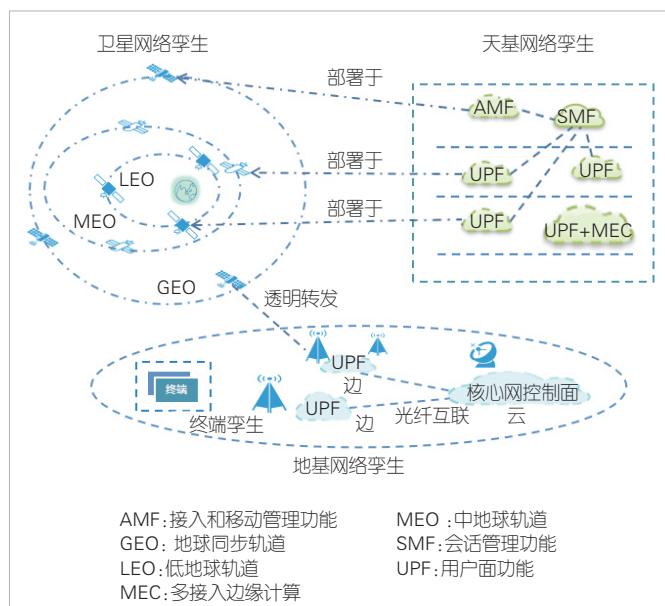
如图4所示，卫星移动通信网络包括卫星网络、天基网络、地基网络，而这3张网络又是有机融合在一起的，未来将实现终端融合、频谱融合、体制融合、业务融合、管理融合等^[7]。拥有3张网络的全景知识图谱可以更好地仿真和预测网络的运行状况。

如图5所示，天地一体网络知识图谱的构建过程包括信息抽取、知识融合和知识加工。

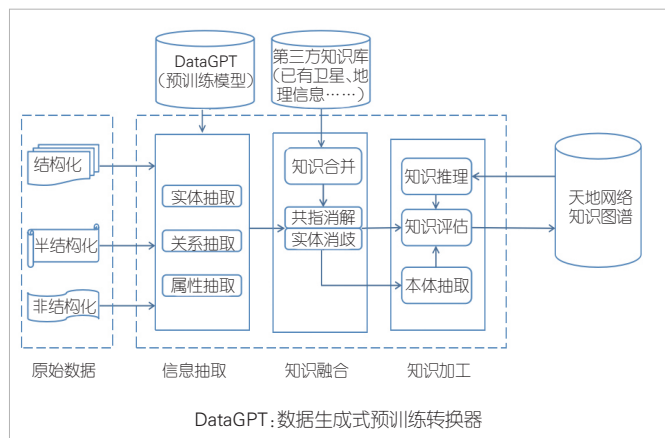
3.2.1 信息抽取

信息抽取是知识图谱建立的基础，它包括实体抽取、关系抽取和属性抽取。

1) 实体抽取



▲图4 “三网”孪生的知识图谱



▲图5 天地一体网络知识图谱构建

天地一体网络数据主要包括数据原生层采集的现网原始数据，例如网元配置数据、网络拓扑数据等；也包括其他文本数据，例如国际电信联盟（ITU）、3GPP、中国通信标准化协会（CCSA）的标准、研究报告等。由于网络实体通常是相对清晰明确的，因此我们可预先对常见的已知实体（例如基站、核心网等）进行建模和标注，结合采集的结构化网元配置数据，简化实体的抽取过程，避免从海量无序的数据中费时抽取。天地一体网络的实体示例如表1所示。这些网络实体可根据需要增加。

2) 关系抽取

常见实体之间的关系可通过有监督的标记学习方法进行识别。如表2所示，实体之间的关系包括卫星实体之间的关系、网元实体与卫星实体之间的关系、网元实体之间的关系。这些实体之间的关系可基于采集的网元拓扑数据自动生

成和更新，如核心网上星部署位置、组网信息及DataGPT的模型数据。

3) 属性抽取

结构化的数据可以直接从配置数据中抽取，例如：AMF网元属性的当前配置数据（包括AMF名称、位置、容量等）可以直接入库。此外，也可以基于业界的共知共识或其他规则对属性建模，例如：卫星轨道参数通常包括卫星编号、轨道半长径、偏心率、升交点、平均近点角、轨道倾角等。

对于非结构化或半结构化数据（如信令、日志文件等）可基于报文分析和模型训练自动抽取。

3.2.2 知识融合

知识融合是指对抽取的天地一体网络实体进行融合分析，它包括实体链接和知识合并。

1) 实体链接是指将抽取得到的实体对象链接到知识库中对应的正确实体对象的操作。在进行实体链接时，需要进行实体消歧和共指消解。实体消歧专门用于解决同名实体产生歧义问题，例如：星上基站可能是分布式单元（DU），也可能是DU/集中单元（CU）合一，因此需要结合部署数据进一步区分。共指消解主要用于解决多个指称对应同一实体对象的问题，例如：AMF和接入与移动性管理功能是同一个网元，需要进行合并。

2) 知识合并是指从第三方知识库产品或已有结构化数

▼表1 天地一体网络知识图谱实体

实体示例	说明
卫星	用于部署天基网络的基站或核心网，或提供无线空口的透明转发
信关站	提供天基网络与地基网络的互通
基站	多信道双向无线电发射站，可部署于卫星或地面
核心网	提供核心网相关功能，包括AMF、SMF、UPF等。
终端	可接入卫星或者地面基站

AMF:接入和移动管理功能 SMF:会话管理功能 UPF:用户面功能

▼表2 实体关系建模

实体之间	关系描述
卫星与卫星	星际链路相连 位于相同轨道
网元与卫星	基站部署于卫星 核心网部署于卫星 卫星作为网元回传链路 卫星透明转发空口信号 基站通过信关站与卫星相连
网元与网元	网元间通过光纤互联 网元通过星地互联

据中获取知识输入，然后进行合并，以避免重复建库。相关的数据库包括地理信息库、已有的卫星知识库等。

3.2.3 知识加工

在对网络基本知识图谱进行抽取后，相关知识需要进行进一步加工和推理。

1) 基于抽取的实体、属性和关系，进行本体抽取。例如：在对抽取的实体进行归类时，AMF、SMF归类为核心网元，LEO、MEO、GEO归类为卫星等。

2) 基于现有的实体关系，推理更深层次的实体关系。例如：通过卫星的两两相邻或相连关系，推理多星串联远距离覆盖范围；通过卫星轨道的高度，推理卫星链路上下行通信时延等。

天地一体化网络知识图谱的构建是一个不断迭代和更新的过程。通过上述步骤进行反复迭代更新，我们就能逐步获得完善的网络知识图谱库。

3.3 天地一体网络模拟仿真技术

在完成数据仓库与网络知识图谱的建立后，我们可以对天地一体网络进行数字化仿真验证。我们认为可以通过数字孪生技术对卫星通信进行各种仿真实验，包括卫星的运行轨迹仿真、通信链路状态仿真等。

相比于单一的地面网络，空天一体网络的网络拓扑更加复杂，其连接方式不仅有静态的光纤，还有动态的星地链路、星际链路。此外，低轨卫星的部署使得网络的拓扑动态变化。因此，天地一体的网络模拟仿真具有很大的挑战性。

通常网络仿真的工具或方法大致可以分为3类：基于离散事件的仿真器、网络模拟器和数据驱动的网络仿真。

1) 基于离散事件的仿真器。相关的仿真器有网络仿真第2版本（NS-2）、NS-3，它们均利用完全包级别事件进行预测。这种仿真器的优点是准确性高，缺点是计算资源消耗大、在大规模网络中的仿真速度慢。

2) 网络模拟器。网络模拟器能够利用灵活的虚拟环境进行预测，其优点是可部分复现现网故障，仿真模拟过程简单，缺点是应用范围窄、复现性差。例如：Mininet是一种开源的网络仿真工具，它主要用于构建虚拟的软件定义网络（SDN）实验环境。

3) 数据驱动的网络仿真。数据驱动可结合目前的AI技术，如机器学习、深度学习、深度强化学习。这种方法的优势是无需人工参与（即使需要，也是很少量的）、表达能力强、可自动拟合复杂关系，缺点是数据的获取困难，有可能需要其他仿真工具补充数据

天地一体的网络仿真主要是基于第三种数据驱动的网络仿真。结合数据原生层采集的数据，这种方法可以将其化整为零，分级、分域、分场景地进行仿真，例如：先进行网元仿真、网络仿真，然后进行主题相关的场景仿真、多运营商协同仿真等。

首先，构建基本网元的孪生仿真仓库，即结合网络知识图谱，构建物理网元的孪生体组件库，包括卫星、信关站、基站、核心网等，如表3所示。

其次，构建网络数字孪生的仿真，即在孪生网元组件库的基础上，对卫星网络、天基网络、地基网络进行可视化的仿真建模，例如：卫星网络数字孪生，包括卫星模型、星链模型、轨道模型、信道模型、星地覆盖模型等，可实现全面立体的可视化建模。网络孪生的构建方式包括手工和自动两种，如图6所示。

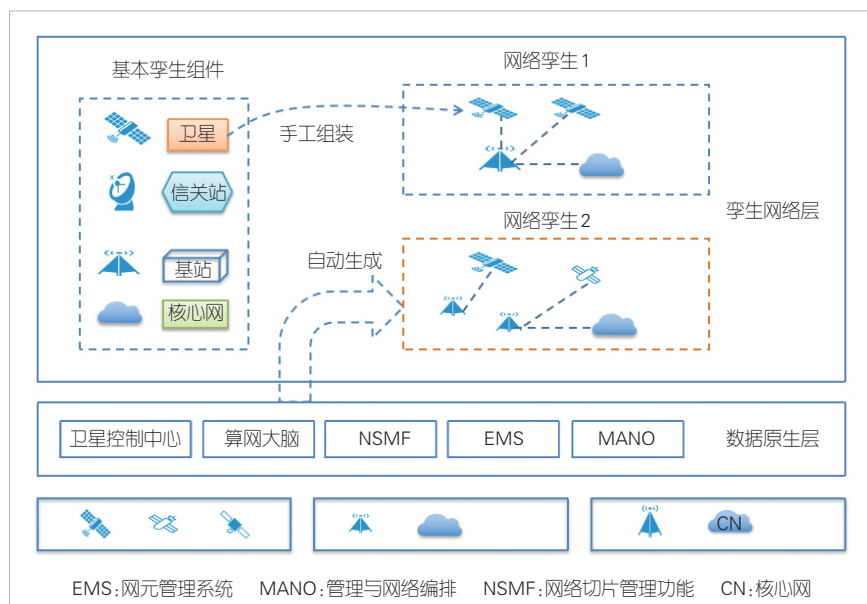
1) 手工方式：在网络规划阶段或者技术验证阶段，可以根据业务需求、组网需求、性能需求，通过可视化界面，从基本孪生模型库仓库中选取基本的孪生组件元素，构建网络孪生。通过拖拽、灵活组装，手工方式可实现所见即所得。此外，手工方式还需要再设置各孪生组件的孪生特征、和连接关系。

2) 自动方式：根据数据原生层采集的现网数据，结合知识图谱以及孪生组件库，自动构建现实物理网络的孪生网络。

最后，构建场景的数字孪生的仿真，即在数据和知识图谱双驱动的条件下先进行联合仿真，再结合神经网络，针对特殊的场景进行仿真和逐步收敛。此外，不同的仿真组件需要进行服务化设置，以根据需求满足灵活的定制和组装需

▼表3 基本网元孪生组件

孪生体		孪生特性
卫星		轨道参数(轨道倾角、升交点、偏心率、半长轴、平均近点角等)、波束信息、星际链路信息、频段、容量等
	信关站	位置、频段、协议等
基站	AAU/RRU、DU/CU	位置、频段、容量、信道等
核心网	AMF、SMF、UPF、PCF、UDM等	位置、容量、资源等
终端	VSAT、手机等	功耗、频段、类型、厂家等
链路	星际链路、星地链路、光纤	类型、时延、带宽、抖动等
AAU:有源天线单元		RRU:射频拉远单元
AMF:接入和移动管理功能		SMF:会话管理功能
CU:集中单元		UDM:统一数据管理
DU:分布式单元		UPF:用户面功能
PCF:策略控制功能		VSAT:甚小口径卫星终端站



▲图6 天地一体网络仿真

求。基于微服务化的建模仿真架构可提供一系列灵活、可插拔的微服务仿真技术组件。每个微服务组件实现一个小的、高度可重用的功能，针对不同场景可按需获取，灵活组装和联动。

1) 基本场景：针对基本流程的话务模型的仿真，例如登记、会话建立、切换等^[8]，仿真星地协同、星地漫游、星地一体组网的各种场景下的流程。

2) 应用场景：针对特定需要进行定制，例如信令风暴仿真、容灾仿真、扩容仿真、动态切片仿真等。

3) 协同仿真：物理网络可能存在多运营商协同运营的场景，例如卫星网络属于A运营商，天基网络属于B运营商，地基网络属于C运营商，运营商之间的数据可以通过联邦学习、区块链实现数据的共享。

3.4 天地一体网络策略优化技术

数字孪生的目标是实现网络优化，通过数字孪生进行“以虚控实，以虚优实”，最终达到虚实共生（或者虚实融生）。

天地一体网络是异构多模的网络。卫星网络、天基网络、地面网络相互关联、相互影响。任何一个网络的调整都将影响到其他网络，例如：卫星参数的调整、基站参数的调整、

核心网网元的新增等，都会产生相互之间的影响。未来网络不仅有切片，还有子网，其系统是多频段、多子网的。此外，由于天基网络、卫星网络均在空中，网络升级、远程运维都不方便。

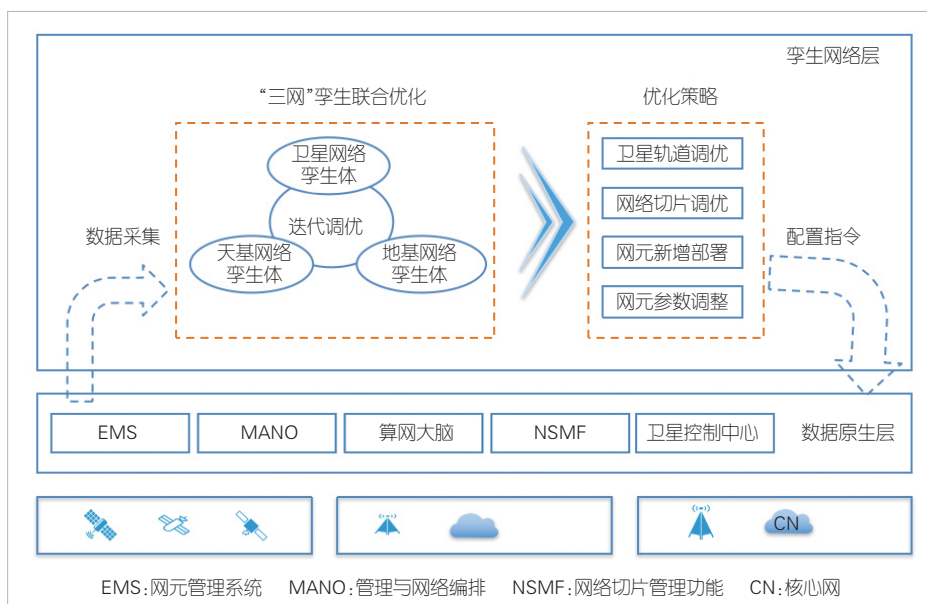
如图7所示，当物理网络需要调优的时候，系统从数据原生层采集数据，在“三网”孪生的基础上，可以结合已经构建的场景孪生模型进行迭代调优，还可以结合GAN，对仿真生成的预期目标与实际采集的数据进行对比分析；当网络性能达到预期目标的时候，再下发策略对网络进行调优。相关调优包括卫星轨道和覆盖调优、天基网络服务质量（QoS）策略调优^[9]、切片资源调度调优。

优化策略的执行有多种方式：可以通

过EMS调整网元参数，也可以通过MANO调整网元的资源，或者通过NSMF对网络切片进行调整。如果过程中涉及算网调度策略，则可以和算网大脑进行协同，调整算网的调度策略；如果涉及卫星的调控，则可以和卫星调度管理中心进行协同，调整卫星的参数。

4 结束语

面对日益复杂的天地一体的未来网络，运维和优化都将面临极大的挑战。针对这些挑战，我们提出天地一体网络数字孪生融合的架构，在物理网络的基础上，构建数据原生



▲图7 天地一体优化决策

层、数字孪生层，以便支持数字孪生的各种应用，并着重研究了其中的数据原生、网络知识图谱、网络孪生仿真和决策优化技术。本文中我们研究天地一体网络数字孪生构建的基本思路和方法。其中，数字孪生和网元层、管理层是分离的。未来数字孪生可以基于AI技术进一步管理工具进行融合，甚至与网元层和网络层融合。物理实体和数字孪生模型基于双向交互，实时感知对方更新的内容，分析两者间的差异，并利用AI等技术实现孪生模型的自主构建或动态重构，使两者在长时间的运行过程中保持动态一致性，从而保证网络规化、建设、运营、运维与数字孪生一体化，实现虚实共生，达到天地一体网络管理全可视化、全智能化。

参考文献

- [1] 田开波, 杨振, 张楠. 空天地一体化网络技术展望 [J]. 中兴通讯技术, 2021, 27(5): 2-6. DOI:10.12142/ZTETJ.202105002
- [2] MA Y Y, MA G Y, WANG N, et al. OTFS enabled NOMA for mMTC systems over LEO satellite [J]. ZTE Communications, 2021, 19(4): 63-70. DOI: 10.12142/ZTECOM.202104007
- [3] 孙智立, 李天儒. 大规模低轨星座卫星通信网发展展望 [J]. 中兴通讯技术, 2021, 27(5): 48-51. DOI:10.12142/ZTETJ.202105010
- [4] 3GPP. Study on New Radio (NR) to support non-terrestrial networks: 3GPP TR 38.811 [S]. 2020
- [5] 3GPP. Solutions for NR to support non-terrestrial networks (NTN): 3GPP TR 38.821 [S]. 2021
- [6] 3GPP. System architecture for the 5G system: 3GPP TS 23.501[S]. 2020
- [7] CCSA. 面向5G增强及6G的星地融合技术研究 [R].2021
- [8] 3GPP. Procedures for the 5G system (5GS); stage 2: 3GPP TS 23.502 [S]. 2020
- [9] 3GPP. Policy and charging control framework for the 5G system (5GS); stage 2: 3GPP TS 23.503 [S]. 2020

作者简介



陈新宇，中兴通讯股份有限公司电信云及核心网产品总经理；负责核心网整体经营，从事5G/6G核心网、电信云等关键技术研究。



张强，中兴通讯股份有限公司核心网架构师；从事5G、6G新技术研究及核心网产品规划的相关工作；发表论文5篇，申请专利近20项。



陆光辉，中兴通讯股份有限公司网络首席架构师；从事5G、6G、SDN/NFV、电信云研究，以及核心网产品规划工作；发表论文9篇，申请专利10余项。