

10000101101010101

1101001001010111010100010011100110101111

ZTE中兴

01101001

01011011011001

001

无线网络数字孪生即服务 技术白皮书

0101101101

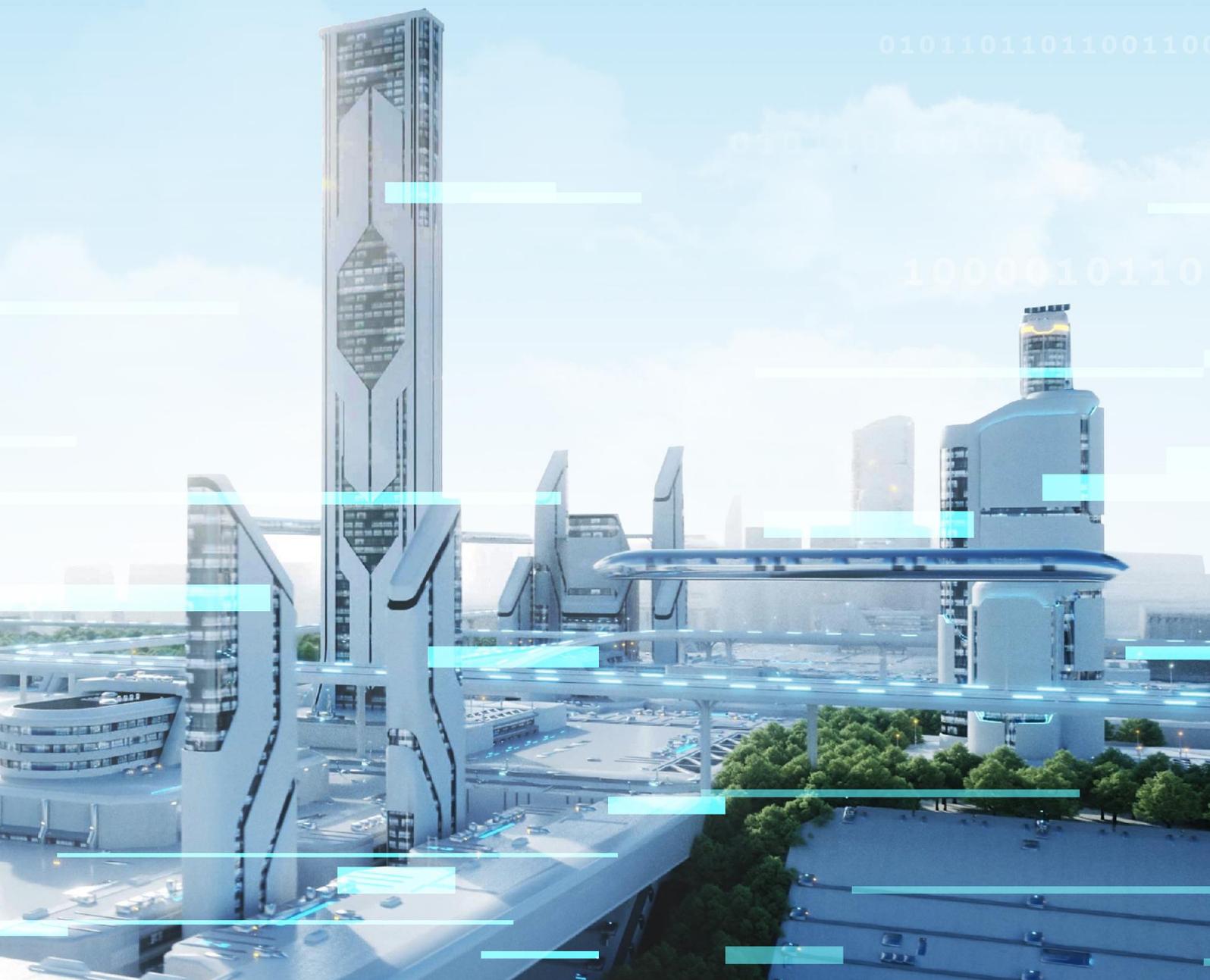
1001

01011011011001

01011011011001100

01011011011001

1000010110



目录

1. 引言.....	1
1.1 无线通信网络的现状和挑战.....	1
1.2 无线网络数字孪生即服务的意义.....	2
2. 无线网络数字孪生即服务的定义和特征.....	2
2.1 准确定义.....	2
2.2 特征描述.....	3
3. 无线网络数字孪生即服务的架构和能力.....	4
3.1 总体架构.....	4
3.1.1 场景应用.....	4
3.1.2 孪生服务层.....	5
3.1.3 业务孪生层.....	5
3.1.4 网络孪生层.....	5
3.1.5 物理网络.....	5
3.2 孪生微服务.....	6
3.2.1 数据采集分析.....	6
3.2.2 模型训练生成.....	6
3.2.3 仿真模拟.....	7
3.2.4 可视化展示.....	7
3.2.5 参数策略优化.....	7
3.2.6 算法模块开放.....	7
3.2.7 数据增广衍生.....	8
3.2.8 故障诊断预测.....	8
3.2.9 物理环境开放.....	8
3.3 孪生网络能力构建.....	8
3.4 典型场景应用.....	11
4. 无线网络数字孪生即服务的落地应用.....	14
4.1 新业务导入赋能应用.....	14
4.2 场景方案增质提效应用.....	15
4.2.1 B2C 高铁场景.....	15
4.2.2 B2B 港口场景.....	17
5. 无线网络数字孪生即服务的发展趋势.....	18
6. 缩略语.....	20

1. 引言

1.1 无线通信网络的现状和挑战

无线通信网络是信息社会的核心基础设施之一，为各行各业提供了高速、高效、高质量的移动通信服务。而随着 5G 的大规模商用部署，无线通信网络更是为广大消费者和各行各业带来了前所未有的业务体验和应用可能，与此同时也带来了前所未有的挑战。一方面，沉浸式娱乐、智慧城市、工业互联网、车联网等新业务的兴起和发展对无线通信网络新技术、新应用的 TTM（产品上市周期）和演进提出了更高的要求，运营商、研究者、开发者和行业用户等也都更需要对网络能力和业务表现有更加精准的把握，以实现更高效和更经济的开发、测试、集成及部署。另一方面，无线通信网络将面临着复杂多变的环境、多样化的用户行为、不断增长的业务量、日益严峻的安全风险等诸多问题，对网络的规划、建设、运维、优化等各个环节提出了更高自智的需求。

为了应对这些挑战，无线通信网络需要实现更敏捷的演进能力，更高的智能化水平。然而，无线通信网络面临的以下几方面的问题和挑战，使得其新技术和新业务创新周期长，高阶自智发展严重受限。

- **试错成本高：**无线通信网络是极度风险厌恶的，为了确保网络的稳定和安全，通常不允许未经历系统且冗长的安全和性能验证的新技术、新应用和自智策略在商用网络中执行和迭代优化。
- **开放不足：**传统无线通信网络对外仅提供封装好的解决方案/应用和受限的数据，导致新技术和新应用的研究基本被通信行业大厂所垄断，其他研究者和开发者通常很难独立和高效的进行无线网络商用新技术和新应用的研究和开发。
- **数据获取难：**无线通信网络涉及众多网元、设备、用户和环境因素，需要采集大量的数据来反映网络的状态和性能。然而，由于数据来源分散、格式不统一、质量不可控等原因，导致完整有效的数据集获取困难且成本高昂，从而使得无线网络智能化新技术和高阶自智的发展在源头受阻。
- **模型泛化能力和可解释性差：**无线通信网络具有复杂多样的特征和动态变化的规律，需要建立精准可靠的模型来描述网络的行为和性能。然而，由于数学模型难以覆盖所有场景和因素，数据驱动模型难以保证泛化能力和可解释性，导致高阶自智所需的无线模型建立困难，难以实现对网络的全面认知。

1.2 无线网络数字孪生即服务的意义

数字孪生是指利用数字技术构建物理对象或系统在数字空间中的虚拟映射，并实现虚实之间的实时同步和交互。DTaaS（Digital Twin as a Service，数字孪生即服务）是一种基于 Open Gateway 框架为客户提供数字孪生功能和能力的交付模式。DTaaS 面向的客户包括无线网络相关新应用开发者，无线网络新技术研究者，和无线网络新技术、新应用和高阶自智收益者：行业用户、电信运营商和设备商。DTaaS 可以为上述客户提供以下几方面的价值：

- **低成本试错：**DTaaS 对外提供物理环境开放、仿真模拟、参数策略优化、算法模块开放等能力，客户可以基于这些能力在孪生环境中精确复现指定网络，进行低成本且高效的新技术、新应用和自智策略的执行和迭代优化。
- **开放架构：**DTaaS 基于 Open Gateway 框架以微服务的方式为客户提供诸多原子能力，支持通信行业大厂、其它研究人员和第三方开发者在其上部署自己的算法、模块乃至系统，实现新技术、新应用和自智策略的高效创新。
- **降低数据获取难度：**DTaaS 对外提供数据增广衍生和数据采集分析等能力，可以将分散在不同网元、设备、用户和环境中的数据进行生产、加工、转义、服务、应用、传递以及知识生产，形成完整一致的数据集，为网络的分析 and 建模提供数据支撑，降低数据获取难度。
- **提升模型泛化能力和可解释性：**DTaaS 对外提供模型训练生成等能力，可以利用知识加数据的双驱动建模方法，结合数学模型和数据驱动模型的优势，构建高保真、高精度、高动态的网络模型，实现对网络的全方位认知，提升模型泛化能力和可解释性。

综上所述，DTaaS 是无线通信新技术、新应用和高阶自智发展的重要方向和手段。一方面可以帮助提升无线网络新技术、新应用创新效率，推动技术演进和发展；另一方面可以提高无线网络自智水平，实现无线网络提质、降本和提效。

2. 无线网络数字孪生即服务的定义和特征

2.1 准确定义

面向 6G 的数字孪生网络是一种包含新技术设计和验证，网元开发和部署，网络规划和建设，网络性能和运维的多维度全网络生命周期的数字孪生技术。它能够为新技术预研专家，产品开发工程师，规建运维人员等不同角色提供服务，具备支持网络可视，可控，以及自主演进的能力。DTaaS 是一种数字孪生网络功能的交付模式，在这种模式下，数字服务提供商将数字孪生网络功能部署在自己

的服务器和云台上，用户可以通过网络访问该项服务。DTaaS 最显著的特征是它是一项服务，而非单纯地提供数字孪生网络系统，用户所购买的是数字孪生网络的使用权，而非系统本身。

2.2 特征描述

1. **易用性：**DTaaS 接口是基于互联网的应用程序，因此它通常具有轻便易用的特点，不需要进行长时间的学习和熟练操作就可以使用，同时也具备灵活性，用户可以根据自己的需求自定义界面和功能，可以根据自己的实际情况进行适当的定制，用各种不同的方式来使用系统。
2. **共享性：**DTaaS 是一种多租户架构，多个用户共享同一个系统，但是每个用户的数据和服务是相互隔离的。在保证性能的同时可以充分共享软硬件资源。
3. **灵活性：**DTaaS 可以快速响应变化和 demand，由于供应商可以集中管理和部署软件版本，因此可以快速升级和更新软件，可以根据用户的需求增加新的功能或扩展新的服务，保障用户的所需不断得到满足。
4. **稳定性：**DTaaS 通常是在云端部署，并且由专业团队管理，可以保障软件的高可用性和稳定性。
5. **安全性：**DTaaS 提供商在数据安全方面通常具备较高的技术和经验，用户可以放心地将数据放在云端使用，而不必担心数据泄露和安全风险。
6. **经济性：**由于数字孪生网络的复杂性，为不同的网络建立独立的数字孪生网络系统将会导致难以承受的成本，因此使用 DTaaS 的模式让用户无需创建部署本地数字孪生网络系统，减少了系统开销和维护成本，同时提升了 DTaaS 供应商的规模效应和收益。

3. 无线网络数字孪生即服务的架构和能力

3.1 总体架构

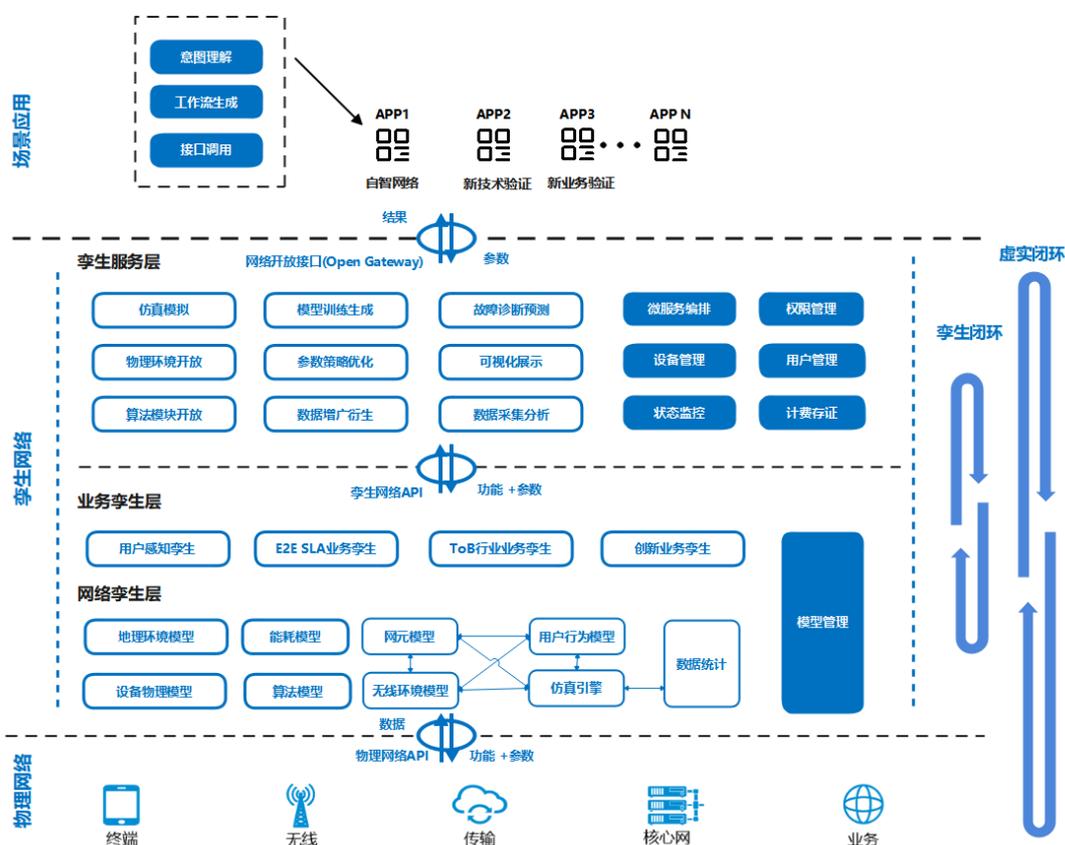


图 3-1 DTaaS 架构

DTaaS 架构如 3-1 所示，从上到下分为场景应用、孪生网络、物理网络。

3.1.1 场景应用

用户 APP 可以通过开放接口调用数字孪生网络的各种服务。开放的 API 接口符合 GSMA Open Gateway 标准，作为一种无线网络的能力给不同的用户提供服务。不同的 APP 可以支持不同的场景和任务，DTaaS 提供的典型场景任务类型主要包括：自智网络、新技术验证、新业务验证等。支持典型场景任务的 APP 可提供自然用户界面（NUI）帮助用户更好地使用 DTaaS。同时，APP 也可以按需调用 DTaaS 的部分原子能力，以更灵活的方式集成到其他应用和平台中完成典型场景之外的其他高综合性任务。

3.1.2 孪生服务层

孪生服务层是数字孪生网络的各项能力在服务层面的映射，通过将 DTaaS 的各种原子能力聚合为微服务，并通过编排和管理，分配相应的软硬件资源以满足各场景应用中的需求。微服务是数字孪生网络原子能力的承载方式，松耦合的微服务架构具备扩展性强、灵活性高、维护简单、可靠性强、易于管理、适应性强的优势。每个微服务都是独立的，可以使用不同的技术架构、编程语言和数据存储方式，组合多个微服务可以实现服务范围的全维度扩展。

此外，孪生服务层也包含了一般 SaaS 和 PaaS 系统必备的计费存证、权限管理、设备管理和用户管理功能。

3.1.3 业务孪生层

业务孪生层负责执行各种不同的业务模型，对真实业务进行逼真且完整的端到端或部分网段上的模拟。这些业务包括传统的网络中的 SLA 业务、B2B 行业应用业务、也包括面向未来应用的感知业务以及各种新型业务。业务孪生层可以对这些业务进行上下行闭环模拟和预测，将业务数据发给网络孪生层，并对这些业务的质量进行评估。

3.1.4 网络孪生层

网络孪生层是 DTaaS 的核心功能层。该层构建的孪生网络即为物理网络在数字域的虚拟镜像，其中的孪生模型能够高保真复现真实外场网络中的各种复杂因素，并具备模拟这些复杂因素互动和变化的动态仿真能力。网络孪生层包含各种核心网、承载网、无线接入网等各种网元模型以及对部署其上的算法和软件的模拟，也包括对无线环境，用户的行为，能耗模型等等复杂的外界物理因素的建模。通过仿真引擎可以驱动各个模型根据通信协议和物理规律运行和交互，模拟真实网络的动态变化。

3.1.5 物理网络

物理网络即数字孪生网络模拟的对象，包括真正的核心网、传输网、无线接入网中的各个网元，真实的部署环境以及现实中的业务。物理网络提供物理网络 API 接口，供孪生网络采集数据，并接受孪生网络的配置和能力调用。

DTaaS 不但连接来自外部的物理网络，对其进行孪生，也可孪生自带的开放物理网络平台。该平台主要包括一个试验网性质的物理网络。该网络其中的网元，

如基站、核心网、终端等采用开放软件架构，允许用户在其上部署自己的算法、模块和软件，用以验证其在现网中的性能。这些功能被聚合为物理环境开放能力作为微服务对外提供。

3.2 孪生微服务

孪生服务层将数字孪生网络的各种功能聚合为承载原子能力的 9 项微服务。其中 1~4 属于数字孪生基础能力，5~8 属于数字孪生高阶能力，而能力 9 则属于未来开放式原型网络的能力。

3.2.1 数据采集分析

该微服务承载数字孪生网络中按照用户的要求，对物理网络和孪生网络中的指定网元和模块采集数据的原子能力。高效及时地采集物理网络数据，对于监控网络状态、构建孪生模型有极为重要的意义。采集的方式分为两种，一种是使用专门测量设备的采集，一种是网络运行时对各项信令、业务和指标的监控。前者时间成本花销大，但能获得精确的直接数据，比如使用无人机倾斜摄影采集现场地貌信息，信道测量仪探测现场无线信道响应等；后者代价相对更小，但对正常的业务造成开销，且对一些任务，如环境的测量是间接数据，比如无线信令记录，网络运行日志等。因此需要根据不同的任务，仔细权衡安排两种不同的数据采集方式，比如使用专门测量设备一次性采集基础数据，然后根据网络运行时测量，来随时间变化进行调整模型，丰富原有数据，保持模型的演进能力。

3.2.2 模型训练生成

该微服务承载将原始数据提炼、训练并生成为对应模型的原子能力。建模技术是数字孪生的基础，传统的孪生模型包括数学模型和数据驱动模型。数学模型具备一定的泛化性，但现实中难以获得具体场景和实体的全部参数和边界条件，难以构建足够精确的模型；数据驱动模型利用具体场景和实体的输入输出数据来训练神经网络，可以很好地拟合具体场景和实体，但是存在泛化能力不够的缺点。所以应使用知识加数据的双驱动建模方式，将数学公式和物理规律抽象为知识，利用这些知识减少神经网络的复杂度并提升神经网络的泛化能力。比如，对无线信道的建模中，可以使用电磁信号的传播规律等知识，加上数字地图，卫星和航拍照片，外场路测结果和网络运行中产生的数据来共同完成场景化的精确建模。

3.2.3 仿真模拟

该微服务承载调用数字孪生体中仿真引擎对给定网络进行仿真计算的原子能力。因为网络决策具有时效性限制，为支持及时的决策，计算速度和效率是数字孪生网络的关键。为了完成包含数百乃至数千小区的快速仿真模拟，需要使用采用异构计算的服务器集群，如使用通用 GPU 对计算密集任务，比如无线信道，编解码等进行并行加速。

3.2.4 可视化展示

该微服务承载数字孪生网络中将网络数据，网络状态，环境与模型通过图表、视频、3D 模型乃至虚拟现实技术展示的原子能力。可视化是 DTaaS 的重要组成部分，它将高维复杂的信息以直观的方式呈现，并允许用户通过界面直接控制物理网络，大大提高了网络的可理解性和可操作性。可视化的一个难点是如何高效地进行 3D 建模和表现。利用模型轻量技术，可以采用减面和去除冗余信息等方式来降低三维模型的复杂度，同时也可以利用 LOD 技术实现多层级的表示，从而减少在三维场景渲染上的压力，最终实现在轻型终端上的可视化展现和交互。

3.2.5 参数策略优化

该微服务承载数字孪生网络中参数寻优、策略寻优的原子能力。由于无线网络的复杂性以及极为庞大的参数和策略优化空间，需要提供基于 AI 的寻优能力，比如多限制条件下的多目标黑盒优化技术，或者能适应变化的环境、业务和网络的基于强化学习的在线优化能力等。需要根据具体的问题，选择合适的 AI 解决方案，进行智能高效处理。

3.2.6 算法模块开放

该微服务承载数字孪生网络中将用户自己的算法或模块嵌入系统，部署在一个网络中的原子能力。DTaaS 需要更灵活地与其他平台、科研团队进行合作和互动。因此在软件上需要使用开放性架构，允许用户在其上部署自己的算法、模块甚至系统。使得用户不仅仅是服务的使用者，也是功能的开发者。为了实现这种需要，需要为开发者提供 SDK，包含一系列的 API、工具、库和文档，开发者可以使用这些工具和资源来创建特定平台或应用程序的软件，并且支持多语言和多平台，方便用户在数字孪生网络平台上进行开发。

3.2.7 数据增广衍生

该微服务承载数字孪生网络中按照用户的要求，生成规定的虚拟场景，在指定网元和模块中提取数据，按需生成数据集的微服务。在微服务中，用户可以设定自己需要的场景，这种场景可以是基于现实的，也可以是虚拟的，同时用户指定要采集的数据和格式，数字孪生网络将按照要求运行，并产生所需要的数据提供给用户。用户可以利用这种微服务低成本产生来自大量的场景，不同模块内外的高质量数据集，用于自己的研究或者决策工作。

3.2.8 故障诊断预测

该微服务承载根据输入的网络采集数据、日志和 KPI 信息对网络故障进行诊断和预测的原子能力。根因分析是故障诊断预测中的重要环节，可以使用因果关系图和故障模式与影响分析这两种方法。因果关系图是一种直观的工具，用于帮助团队了解和评估影响某个目标的各种因素，然后确定最可能的根源，以解决问题或缓解症状。故障模式与影响分析是一种质量管理的方法，通过对系统故障模式进行分析，找出故障根源，进而采取相应的措施进行处理和预防。两种手段对于日常网络故障诊断和预测都非常有效，可以极大减少网络故障修复时间，以及预防潜在的故障风险。

3.2.9 物理环境开放

该微服务承载数字孪生网络中开放网络平台的原子能力，用户可以通过该微服务将自己的软件部署在真实的物理网络环境中。该微服务和“算法模块开放”类似，但不同的是，这些软件会被部署到真实的物理网络中，在真实的环境中更好地评估软件实时性、质量和性能。

孪生服务层中还包括微服务编排模块，它根据当前提交的各种微服务请求和软硬件负荷，进行微服务任务排队和优先级管理，并分配相应的资源，创建软件实体来完成被调度的微服务任务。而状态监控模块则对当前运行中的微服务以及软硬件状态进行监控与显示，设备管理模块则对当前系统运行的软硬件环境和设备进行配置和管理。

3.3 孪生网络能力构建

除了提供对外服务，孪生服务层也作为系统的“大脑”，进行各种流程调度、资源分配、数据处理配置以及最终决策，而业务孪生层、网络孪生层以及物理网

络为各种原子能力提供支撑。

孪生服务层从真实的物理网络和孪生网络中采集获取网元、拓扑、业务、环境和用户行为的状态和数据，通过专门的知识提取和训练技术将其构建为孪生模型，并将这些模型部署到孪生网络中，根据智能决策产生的方案指导孪生网络进行仿真，收集相应的运行数据，迭代优化。其过程可以概括为“孪生闭环”和“虚实闭环”。其中孪生闭环是指在孪生网络内部根据智能管控体的指示，不断尝试新策略，新参数来寻找更优方案的优化过程；虚实闭环是指在物理网络和孪生网络间的同步和逼近迭代，即孪生网络根据物理网络体现状修正自己模型，实现对后者的逼近，以及物理网络体接受新策略和新参数改变了自己状态后和孪生网络仿真得到的未来状态或用户意图逼近的循环迭代过程。通过以上孪生网络迭代优化的“孪生闭环”和孪生网络与物理网络之间往复迭代的“虚实闭环”，可实现虚实同步共生，高效推进网络智能自我更新和生长。

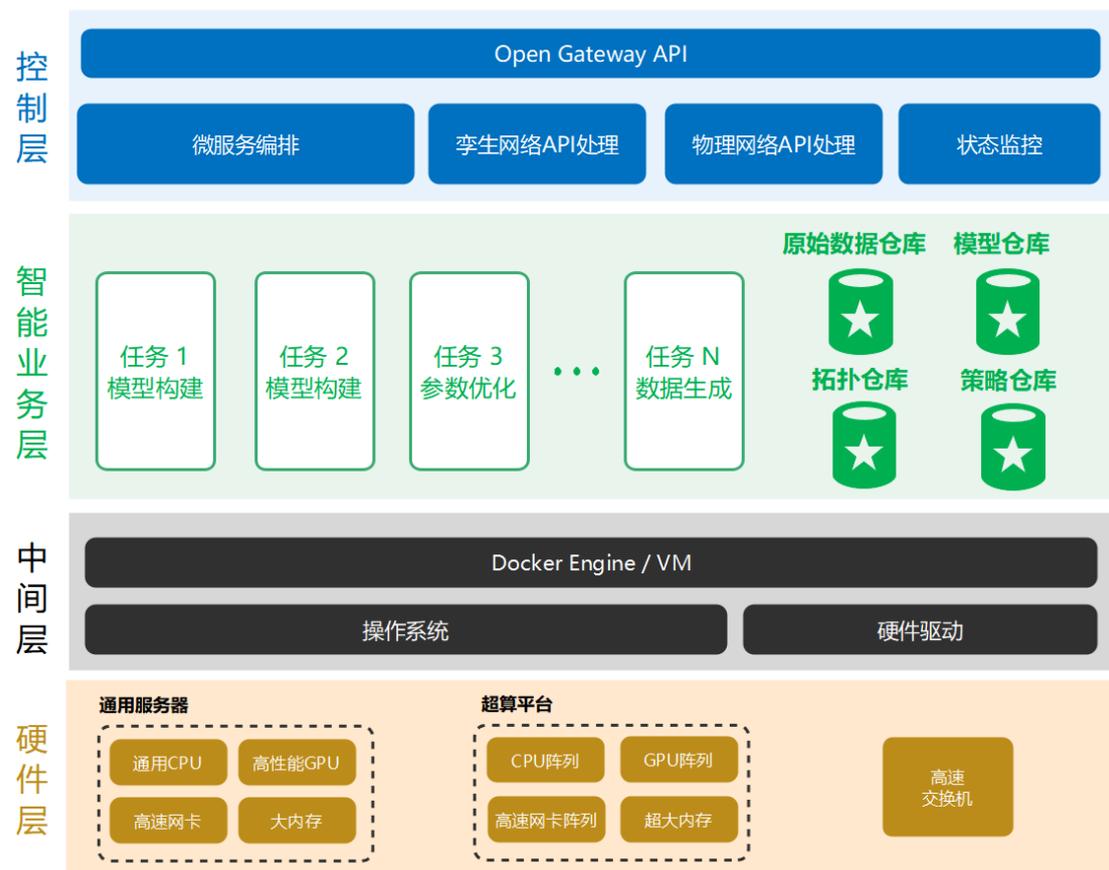


图 3-2 孪生服务层架构

孪生服务层的软硬件架构见 3-2，一共分为 4 层。

最底层是硬件层，主要包含智能管控体部署所依赖的硬件。由于孪生服务层中包含密集的 AI 训练和推理任务，因为可以部署在装备有高性能 CPU 或 GPU 的通用服务器上，或者部署在装备有 CPU 阵列和 GPU 阵列的超算平台上，这些服务器和超算平台之间可以使用高速互联以提高大量数据高速交互。

其上为中间层，包含操作系统，硬件驱动，以及 Docker 和虚拟机机制，以支持上层任务的云化部署以及容量弹性伸缩。

在往上的智能业务层包含了孪生服务的各种核心微服务，各个微服务使用容器的方式动态创建删除，独立隔离运行，有效支持并行，充分利用计算资源。同时该层也包含各种数据仓库，比如原始数据仓库，模型仓库，拓扑仓库，策略仓库，各个微服务从这些仓库中获取数据进行计算，同时也将部分计算得到的数据写入到这些仓库中。

最高层是控制层，此层包含了微服务编排器，用于管理微服务的排队，创建删除微服务，分配相应的资源。通过状态监控，可以获得当前软硬件负荷以及智能任务运行状态。同时控制层还负责调用物理网络 API 和孪生网络 API，分别与物理网络和孪生网络进行数据交互，命令下发。孪生服务向应用提供各种访问 DTaaS 功能的接口，并经过转译以映射到各种微服务。

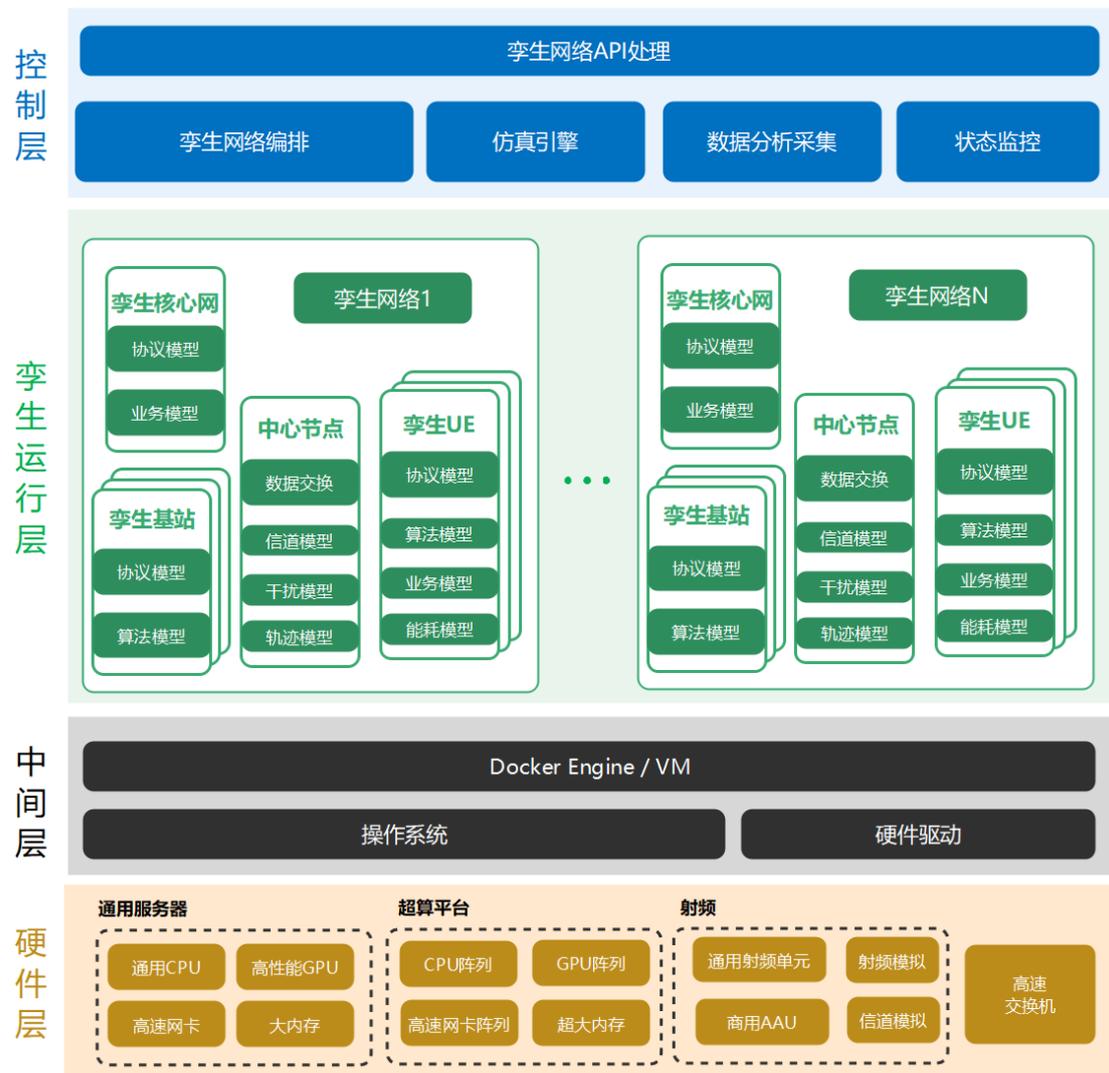


图 3-3 业务孪生层与网络孪生层架构

业务孪生层和网络孪生层的软硬件架构见 3-3，一共分为 4 层。

最底层的硬件层和中间层，类似孪生服务层，主要包含网络孪生层所依赖的硬件，以及操作系统，硬件驱动，Docker 和虚拟机机制，支持高速计算、互联、云化部署和容量弹性伸缩。不同之处在于，除了通用服务器和超算平台，网络孪生层中还包括射频原件和射频模拟器，支持部分孪生业务和功能在真正射频上进行验证运行。

其上的孪生运行层包含了业务孪生层和网络孪生层的核心孪生功能。利用容器部署的机制，孪生运行层可以用不同的容器运行不同的孪生模型、孪生网元和节点，比如孪生核心网，孪生基站，孪生终端，以及用于模拟无线环境的中心节点。不同的网元包含不同的模型，用于全方位模拟该网元的功能和输入输出，比如孪生终端包含自身的协议模型，算法模型，业务模型和能耗模型，中心节点包含信道模型，干扰模型和用户估计模型等。这些模型可以由孪生服务通过孪生网络 API 配置挂接到不同的网元，灵活部署更新。部署有多个孪生网元的容器通过互联实现一张数字孪生网络，在孪生运行层中可以通过虚拟化技术和资源同时运行多张数字孪生网络。每一张数字孪生网络的容量和规模也可以根据需要配置。不同的数字孪生网络间也可以共享网元，比如多张孪生 RAN 网络共享一个核心网。各张数字孪生网络独立并行运行，充分利用计算资源。

最高层是控制层，此层包含了孪生网络编排器，用于管理孪生业务、孪生网络和孪生网元节点创建，删除和互联。通过状态监控，可以获得当前软硬件负荷以及所以孪生网络的运行状态。仿真引擎负责管理每一张孪生网络的启动，运行和停止，以及仿真运行模式；数据分析采集用于提取所有孪生网络中的 KPI 和内部数据，提供给孪生服务层使用。

3.4 典型场景应用

DTaaS 的典型场景应用可以分为自智网络，新技术验证，新业务验证几类。一些更详细的例子和分析如下，其中“涉及微服务”一栏中，所列的微服务使用第 3.2 节中的微服务编号表示。

表 3-1 DTaaS 典型场景应用

序号	客户	分类	需求	需求描述	涉及微服务	需要开放的接口
1	运营商、行业用户	网络规建	站点规建	利用数字孪生系统规划某处的网络覆盖。客户需要提供对应地区的位置，范围，以及部分数据输入，包括照片和地图。客户希望知道该地区需要如何建站：站点的数	1,2,3,4,5	输入：场景信息数据，如照片和地图等 输出：推荐的天线位置和工参，以及对应 RSRP 或者 KPI 在地理上的分布图

				量，位置和工参		
2	运营商、行业用户	网络规建	新功能引入	客户有一张已经建好的网络，可以提供该地区的站点分布和工参，场景信息，以及过去一段时间内的参数和 KPI 记录。客户希望知道如果引入某种新功能，网络会有怎样的增益和变化。	1,2,3,4,6	输入：站点工参，场景信息数据，网络参数和 KPI 记录，新功能信息 输出：引入新功能后的网络 KPI
3	运营商	网络规建	新站点新频率引入	客户有一张已经建好的网络，可以提供该地区的站点分布和工参，场景信息，以及过去一段时间内的参数和 KPI 记录。客户希望知道如果引入某个新站点新频率，网络会有怎样的增益和变化。	1, 2, 3, 4	输入：站点工参，场景信息数据，网络参数和 KPI 记录，新站点，新频率信息 输出：引入新站点新频率后的网络 KPI，与之前对比图
4	运营商、行业用户	网络运维	在线网络可视化	客户有一张已经建好的网络，可以提供我所在的网管系统的接口，以及其他需要数据接口。客户希望利用数字孪生系统的可视化功能，展示该网络的实时运行状态，并进行在线控制。	1, 4	输入：网管系统接口，其他数据接口 输出：可视化界面，网络操控命令
5	运营商、行业用户	网络运维	网络故障诊断	客户有一张已经建好的网络，在网络出现故障时，希望能够通过数字孪生系统，分析网络故障的根因并且给出应对策略。	1, 2, 3, 4, 8	输入：网管系统接口，KPI 数据接口，网络运维日志，故障相关信息 输出：故障根因，应对策略
6	运营商、行业用户	网络优化	离线网络优化	客户有一张已经建好的网络，可以提供该地区的站点分布和工参，场景信息，以及过去一段时间内的参数和 KPI 记录。客户希望知道如何调整参数来优化。	1, 2, 3, 4, 5	输入：站点工参，场景信息数据，网络参数和 KPI 记录，目标 KPI 集合
7	运营	网络	在线	客户有一张已经建好的网		输入：网管系统接

	商、行业用户	优化	网络优化	网络，可以通过数字孪生系统实时演示和控制。客户希望根据当前的网络运行情况，自动优化当前网络。	1, 2, 3, 4, 5	口，其他数据接口 输出：可视化界面，网络操控命令（优化配置）
8	研究者	数据衍生	算法数据集生成	客户想研究网络中 AI 算法，但是缺乏实际网络数据，希望利用数字孪生平台产生大量的贴合外场的数据进行训练，算法可以是 L1, L2, L3 或者是网络级别算法	2, 3, 7	输入：需要输入的数据种类 输出：数据集
9	研究者	数据衍生	信道数据集生成	客户有一个仿真平台，想研究网络中 AI 算法，但是缺乏实际外场环境，希望利用数字孪生平台产生大量的贴合外场的信道进行训练。	1, 2, 3, 7	输入：需要输入的信道数据种类 输出：数据集
10	研究者	数据衍生	业务数据集生成	客户有一个仿真平台，想研究网络中 AI 算法，但是缺乏实际业务数据，希望利用数字孪生平台产生大量的贴合外场的业务数据进行训练。	1, 2, 3, 7	输入：需要输入的业务数据种类 输出：数据集
11	研究者	创新验证	算法验证	客户有一个 L1 新算法，但是不知道其在实际网络中性能如何，希望利用数字孪生平台验证该算法。	3, 6, 9	输入：算法功能模块，系统和环境配置 输出：算法在系统和特定环境中性能
12	研究者	创新验证	协议预研	客户有一个新的关于协议的想法，希望利用数字孪生平台验证该协议设计。	3, 6, 9	输入：协议相关的所有模块 输出：协议在系统和特定环境中性能和过程
13	研究者	创新验证	大模型训练	客户正在训练无线网络大模型，想利用数字孪生平台来给大模型的输出进行评价和打分，建立奖励网络。	1, 2, 3	输入：站点，工参，场景信息数据，照片，地图，网络参数 输出：对应的 KPI
14	开发者	APP 开发	APP 开发	客户为上述任意场景需求开发对应的新应用。	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	输入：API 和开发数据 输出：应用

为了提升服务易用性和智能性，用户 APP 中可以提供一个意图理解功能对孪生网络服务进行包装，适配不同的访问方式和接口，同时也包含 workflow 生成模块对各种开放的微服务功能进行聚合，编排和管理，并将编排好的微服务工作流发放给孪生服务层。具体来说，用户可以通过智能交互接口向 DTaaS 输入自己的意图，利用 AI 大模型赋能的意图理解模块，孪生服务层可以对用户的输入进行分析，并提示任务分解步骤，以及完成该意图每一步所需要的输入。在用户确认理解无误并提供相应数据后，会将该任务分解生成 workflow，workflow 中每一个步骤都是对 DTaaS 提供的一个或多个微服务的调用。数字孪生网络按 workflow 顺序依次调用不同的微服务，让数据依次被处理，最后即获得任务相应的输出，并将最终结果返回给用户。用户确认最后结果符合自己意图后完成该次服务，否则可以输入校正信息进行调整。

4. 无线网络数字孪生即服务的落地应用

4.1 新业务导入赋能应用

随着元宇宙概念的流行，越来越多的人都在关注什么是元宇宙，如何进入元宇宙。由于 XR 设备能够提供虚实连接，目前业界大多认为 XR 是未来进入元宇宙的入口，XR 也在 5G 的催化下即将进入发展快车道。然而，XR 业务的高画质强交互特点对网络 QoS 提出要求，根据 3GPP TR 26.928 协议，在线游戏等 XR 业务需要百兆带宽、20ms 低时延，这在商用场景中存在极大挑战，并且当 XR 用户越来越多、竞争加剧时如何保障单个用户体验能达到最佳是现网亟待解决的问题。

构造支持商用网络 XR 性能评估的新 APP 完成新业务验证，该 APP 中调用了数据采集分析、模型训练生成、仿真模拟等微服务。

- 数据采集分析：使用具备高精度定位能力的无人机，分别正对天线的正面和侧面，利用灰度识别算法，自动识别天线的边缘，实时测量得到天面的工参数据。
- 模型训练生成：无线网络数字孪生基于通用服务器对基站、无线信道、终端、核心网和 XR 业务进行数字化建模，打造实体网络的高精度数字孪生体，为实现用户体验精准保障打下基础。
- 仿真模拟：如图 4-1 所示，孪生平台使用了射线追踪、GPU 加速、AI 校准等关键技术进行动态仿真，通过模拟拉网&定点测试，校准孪生网络中各模型的精度，评估无线网络数字孪生平台输出指标与现网指标的误差水平。

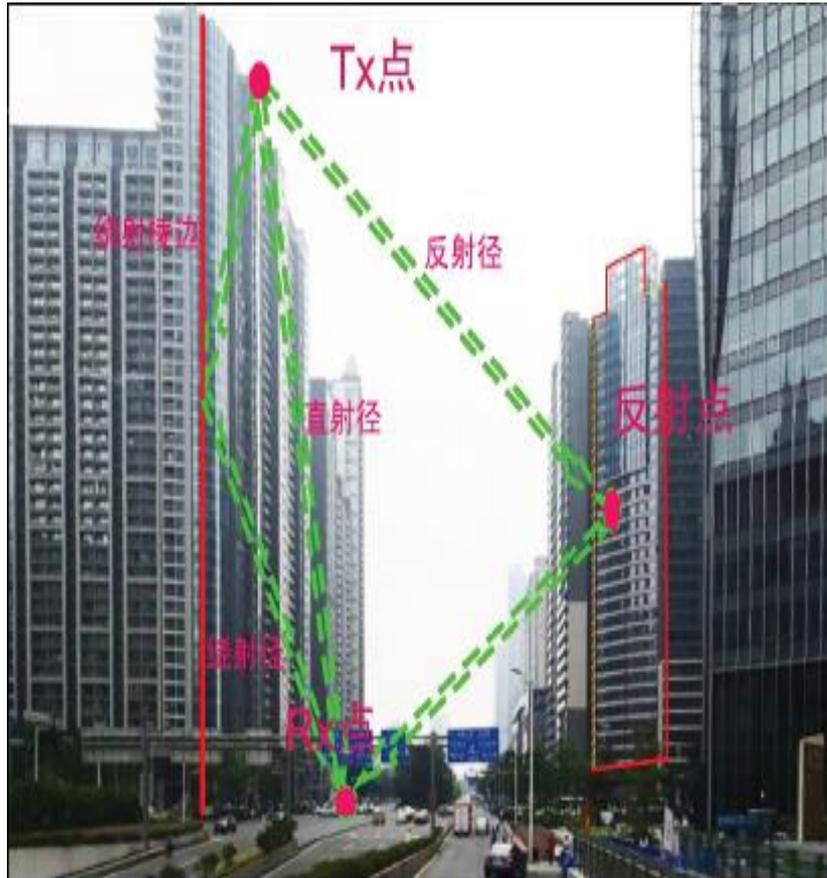


图 4-1 射线追踪实景演示

在江西九江的 XR 应用中，测试人员在实体网络中的 130 个 5G 基站、70 余个测试地点进行 XR 业务性能测试。与此同时，无线网络数字孪生平台也在虚拟环境中进行相应的无线网络和 XR 业务业务性能孪生。通过比较 XR 业务在实体网络和无线孪生网络的关键性能指标，得出孪生相似度。在公园、广场等多个场景的大规模定点测试结果表明，XR 业务孪生相似度达到 90% 以上。这是数字孪生技术赋能无线网络的关键一步，为后续的 XR 业务体验保障和策略优化打下了坚实基础。

4.2 场景方案增质提效应用

4.2.1 B2C 高铁场景

随着我国高速铁路的飞速发展，越来越多的人选择乘坐高铁出行，如何规划高铁 5G 专网，保障网络覆盖质量，提升用户满意度，对增强运营商核心竞争力具有重要意义。传统高铁方案存在很多问题和痛点。一是精度不足，高铁线路地图信息精度低，基于路测样本点的高铁线路重构仿真，难以精准评估线路的覆盖及结构的不合理。二是感知问题，基于覆盖场强与质量的传统规划仿真的误差在

8db 以上，并且缺少用户体验的仿真预测。三是反复优化，高铁新建涉及铁搭进度制约严重，存在部分站点建设困难而多次变更连续站点的工参规划，导致部分连续路段站点反复优化调整，成本高。四是效率较低，高铁场景运维优化（方位角、下倾角、功率、波束权值等）的验证需要乘坐高铁进行，不确定因素多而导致验证有效性低，验证周期长，效率低。

构造支持孪生高铁可视精准规划的新 APP 以完成 B2C 高铁场景验证，该 APP 中调用了数据采集分析、模型训练生成、仿真模拟、参数策略优化、可视化展示等微服务。

- 数据采集分析：采集高铁站点的铁塔、天面系统的影像数据，实际测试中，一共勘察了 12 个站点、119 面天线，其中 113 面天线可进行工参测试，占比 95%。
- 模型训练生成：数字勘察结束后，对地图、站址、工参等数据进行数据预处理，并通过孪生组件、高铁网络、孪生引擎构建高铁数字孪生模型。
- 仿真模拟：运行孪生系统进行仿真模拟，利用自适应辛普森算法以及结合射线追踪的贪心算法进行网规参数局部寻优，利用群体智能算法、强化学习结合蒙特卡洛算法达到参数全局寻优。
- 参数策略优化：最终孪生平台输出基站硬件最优参数、RF 软件最优参数、系统软件最优参数。
- 可视化展示：通过多图层、多视角、多维度的方式将三维实景模型、预制模型、全景照片、卫星地图等进行全方位地展示，并通过单一画布、实现缩放漫游、标注定位、测量设计等功能特性，为用户带来一站式操作体验，并且可以在以动态方式显示随时间变化的地理数据



图 4-2 孪生站点可视化

更高精度的孪生支撑更加精准的网络规划，孪生信道的射线追踪精度验证 RSRP 的 ME 为 1dB，RMSE 为 4dB。基于数字孪生的精准规划可支撑建网初期的工程优化效率提升，验证可知高铁运行的低速率用户改善显著，低于 2Mbps 用户占比减少约 50PP。

4.2.2 B2B 港口场景

港口集装箱堆场自动化程度飞速发展，港口的集卡数量多达数百台，智能化改造的需求强烈。当前传统港口通信方式存在着很多问题。一是目前只支持电平面网规，无法满足客户的 QoS 级需求。二是港口作业过程中，集装箱堆垛高度、岸桥位置、集装箱位置时常发生变化，无线信号覆盖区域也会随之改变静态网规无法满足动态变化环境。三是现有方案建网后可能需要多次网优，极大浪费时间及人力成本。

构造支持港口精准网规的新 APP 完成 B2B 港口场景验证，该 APP 中调用了数据采集分析、模型训练生成、仿真模拟、参数策略优化、算法模块开放等微服务。

- 数据采集分析：基于港口环境孪生信息采集，利用无人机搭载相机，通过倾斜摄影测量获得图像数据，利用计算机图形学构建深度学习算法模型，对现场环境进行识别、提取及几何重构，获取环境三维物理建模。
- 模型训练生成：面向真实业务场景的设备实体、网元，结合三维矢量地图灵活组合和部署相关网元设备模型并叠加卡车、岸桥、集装箱等变量，构建数字孪生模型。
- 仿真模拟：日照港港口堆场无人集卡业务分为自动驾驶模式和远程驾驶模式，两种模式下网络传输要求差异较大，考虑其环境场景变化大的特点，利用数字孪生模型进行 5G 网络精准规划，保障设计 5G 部署方案，保证对应港口区域无线信号覆盖，优先保证集卡的大速率时频回传业务，保证应对各种集装箱，岸桥的位置变化场景。
- 参数策略优化：根据现场 RSRP 路测结果进行 AI 校准并根据校准好的结果进行参数优化，通过调整天线水平角度，18%的点（主要都位于无人集卡道路上）的 RSRP 有大于 1dB 的增益，部分点有 2dB 的增益。
- 算法模块开放：利用规划寻优模块和黑盒优化算法完成了网络中天线工参和波束的优化。该模块可以开放给不同优化算法提供者，让他们根据不同的优化目标和算法开发上传自己的模块，完成不同的网络规划和优化。



(a) 堆场实拍



(b) 孪生建模

图 4-3 实拍图与建模图对比

RSRP 的 ME 达到 1.5dB, RMSE 达到 2.7dB。整个构建的模型中, 包括了物理环境、业务模型、无线信道传播模型、物理环境对信号的影响等因素, 当任意改变基站的位置、天线形态时, 可以快速构建不同覆盖方案效果, 并遍历各种典型的场景如集装箱数量、岸桥位置、堆场, 最终输出最佳的适用多样化场景的网络规划方案。基于数字孪生模型, 代替事后路测逐步完善网络覆盖性能优化, 给出最合理基站选址, 网络规划精准, 更好的保障业务 SLA, 大大降低后续网络优化的工作量。

5. 无线网络数字孪生即服务的发展趋势

DTaaS 作为一种新兴的数字孪生网络功能的交付模式, 具有易用性、共享性、灵活性、稳定性、安全性和经济性等特点, 能够为不同角色的客户提供多维度全网络生命周期的数字孪生技术服务。但是, DTaaS 也面临着一些挑战和问题, 主要包括以下几个方面:

- 数据质量和安全问题。数据是数字孪生的基础, 数据的质量和安全性直接影响到数字孪生的准确性和可靠性。然而, 在数据采集、传输、存储和处理的过程中, 可能存在数据缺失、错误、冗余、泄露等风险, 需要采取有效的技术和措施来保证数据的完整性、正确性、一致性和保密性。
- 模型构建和更新问题。模型是数字孪生的核心, 模型的构建和更新需要消耗大量的时间和资源。由于物理系统的复杂性和动态性, 很难构建一个完全符合实际情况的模型, 也很难保持模型与物理系统的同步。因此, 需要采用知识加数据双驱动的建模方法, 利用人工智能等技术来提高模型的精度和适应性。
- 计算能力和效率问题。计算是数字孪生的支撑, 计算的能力和效率决定了数字孪生的响应速度和规模。由于数字孪生涉及到大量的数据处理和仿真运算, 对计算资源提出了很高的要求。因此, 需要采用云计算、边缘计算等技术来提供弹性、分布式、并行的计算服务, 同时利用异构计算、压缩技术等方法来提升计算效率。
- 可视化和交互问题。可视化是数字孪生的展示, 可视化的质量和效果影响到用户对数字孪生的理解和使用。然而, 在可视化方面, 还存在着一些问题, 比如如何将高维复杂的信息以直观易懂的方式呈现, 如何提供多样化且个性化的可视化方案, 如何实现与用户的自然交互等。因此, 需要采用三维建模、动画、虚拟现实等技术来提高可视化的真实感和沉浸感, 同时利用 NUI 等技术来提供语音、手势、眼动等多种交互方式。

随着 5G & 6G 技术、AI/ML 技术以及安全技术的发展和成熟, 展望未来, DTaaS 将朝着以下几个方向持续演进:

- DTaaS 将更加普及化。随着数字孪生网络的技术成熟和商业化，DTaaS 将逐渐从专业领域向广泛领域拓展，为更多的用户和行业提供便捷、高效、低成本的数字孪生技术服务。DTaaS 将成为无线通信网络的重要辅助工具，帮助用户实现网络的规划、建设、运维、优化和创新。
- DTaaS 将更加人性化。通过利用人工智能、大数据、云计算等技术，DTaaS 可以更好地理解用户的需求和偏好，提供更加个性化、定制化、智能化的服务。DTaaS 可以与用户进行自然语言交互，提供友好的用户界面和可视化效果，提高用户的满意度和信任度。
- DTaaS 将更加协同化。通过利用区块链、物联网、边缘计算等技术，DTaaS 可以实现多方的数据共享和协作，提高服务的安全性和效率。DTaaS 可以支持多个用户同时访问同一个数字孪生网络，实现数据和资源的共享和优化。DTaaS 也可以与其他平台和系统进行集成和协同，实现跨域和跨层的服务创新。

6. 缩略语

缩略语	全称	释义
5G	5 th Generation	第五代移动通信
6G	5 th Generation	第六代移动通信
TTM	Time To Market	产品上市周期
DTaaS	Digital Twin as a Service	数字孪生即服务
APP	Application	应用程序
API	Application Programming Interface	应用程序接口
NUI	Natural User Interface	自然用户界面
SaaS	Software as a Service	软件即服务
PaaS	Platform as a Service	平台即服务
SLA	Service-Level Agreement	服务等级协议
GPU	Graphics Processing Unit	图形处理器
3D	Three-Dimensional	三维
LOD	Level of Details	细节层次
AI	Artificial Intelligence	人工智能
SDK	Software Development Kit	软件开发工具包
KPI	Key Performance Indicator	关键指标
CPU	Central Process Unit	中央处理器
RAN	Radio Access Network	无线接入网
RSRP	Reference Signal Receiving Power	参考信号接收功率
XR	eXtended Reality	扩展现实
QoS	Quality of Service	服务质量
ME	Mean Error	平均误差
RMSE	Root Mean Square Error	均方根误差
ML	Machine Learning	机器学习

010011100110101111

01011011011001100001011010101010110111101101101001001

011011011001

010110110110011000010110101

01010101010110111101101101001

10000101101010101010110111101101101001

0101101101

000101101010101010110111101101101001

10000101101010101010110111101101101001

01011011011001

00010011100110101111

01011011011001

