

面向大规模网络的高性能仿真平台建设思维探讨

杜 静^{1,2} 王 琼¹ 秦富童¹ 刘迎龙¹

(中国洛阳电子装备试验中心 洛阳 471003)¹

(国防科学技术大学高性能计算国家重点实验室 长沙 410073)²

摘 要 随着网络技术的飞速发展,网络规模迅速膨胀,网络拓扑结构日益复杂,设计一套能够对大规模网络进行高性能仿真的支撑平台已经成为实现大规模网络仿真亟需解决的问题。然而,当前对大规模网络仿真平台的认识不够全面深入,现有的仿真平台还不能有效满足大规模网络灵活扩展、柔性重构、高效运行和面向服务等新需求。亟需从不同角度、多个侧面重新认识大规模网络仿真平台,寻找更加科学的平台建设思路。为此,采用多个全新视角对大规模网络仿真平台进行重新审视和深入认识,深入研究大规模网络仿真环境生成和运行中迫切需要解决的重要问题,重点分析大规模网络仿真特性和平台需求,提出网络仿真平台建设所应把握的4种思维模式,并对其在网络仿真平台建设中的应用进行了分析。研究成果能够实现大规模网络的高性能仿真提供可借鉴的理论依据和有效手段。

关键词 大规模网络,思维模式,高性能仿真平台,仿真网络特性,能力需求

中图法分类号 TP391.9 文献标识码 A

Thinking of Constructing High-performance Simulation Platform for Large-scale Network

DU Jing^{1,2} WANG Qiong¹ QIN Fu-tong¹ LIU Ying-long¹

(Luoyang Electronic Equipment Test Center, Luoyang 471003, China)¹

(State Key Laboratory of High Performance Computing, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)²

Abstract Along with the flying development of network technology, network scale expands rapidly and network topology grows increasingly complicated. It becomes an urgent problem for realizing large-scale network simulation to design a support platform for large-scale network high-performance simulation. However, the understanding of large-scale network simulation platform is not enough in depth and comprehensiveness, and existing simulation platforms still cannot effectively meet large-scale network's new requirements of flexible expansion, flexible reconstruction, efficient running and service objected. It needs to re-understand large-scale network simulation platform from different angles and multiple aspects for more scientific platform construction thoughts. Therefore, this paper used multiple new perspectives to reexamine and deeply realize large-scale network simulation platform, and went into the problem of large-scale network simulation which needs to be solved in environment generating and running. We mainly analyzed large-scale network simulation features and platform requirements, then put forward four thinking models in network simulation platform construction and analyzed the application of models in network simulation platform construction. The research production can provide theoretical basis and effective measures for realizing large-scale network high-performance simulation.

Keywords Large-scale network, Thinking models, High-performance simulation platform, Simulation network features, Capacity requirements

1 引言

网络仿真技术通过建立网络设备、链路、流量的模拟模型,避免了实物网络实现代价高、灵活性差的弊端,是进行网络技术研究的重要手段。随着网络技术的飞速发展,网络规模迅速膨胀,网络拓扑结构日益复杂,对大规模网络仿真的需

求越来越迫切。大规模网络^[1]是指具有大地域范围、大规模网络节点、复杂化网络拓扑、多种异构网络设备以及多样化用户行为等特性的广义网络。相应的大规模网络仿真^[2]则呈现出庞大的网络规模、多层次的动态拓扑、复杂的仿真模型和海量的数据交互等特征。传统的网络仿真平台规模较小、不成体系、要素不全、功能单一,无法解决海量异构数据共享、交互

本文受国家自然科学基金(61303061),高性能计算国家重点实验室开放基金(201513-01)资助。

杜 静(1979—),女,博士,副研究员,主要研究领域为高性能计算、网络仿真、网络安全, E-mail: jdstarry@aliyun.com; 王 琼(1979—),女,硕士,工程师,主要研究领域为通信、计算机网络; 秦富童(1985—),硕士,工程师,主要研究领域为网络安全、网络仿真; 刘迎龙(1981—),硕士,工程师,主要研究领域为网络安全。

和处理等带来的新问题,已逐渐不能适应大规模网络的仿真环境构建需求,所以迫切需要设计一套能够对大规模网络进行高性能仿真的支撑平台技术^[3]。

目前,国内外已有一些大型网络仿真的研究成果,但是其仿真架构还不能有效满足大规模网络灵活扩展、柔性重构、高效运行和面向服务等新需求,特别是关于大规模网络仿真平台的核心理念认知还不够全面深入。为了解决该问题,亟需从不同角度、多个侧面重新认识大规模网络仿真平台,寻找更加科学的平台建设思路。随着互联网、大数据以及云计算等技术的发展,出现了诸如“互联网思维”^[4]等多种新思维模式。这些思维模式的应用为大规模网络仿真平台能力建设提供了全新的思路。

基于此,本文探讨网络仿真平台建设所需要的全新思维是什么,又能够为仿真技术发展带来什么的问题。而这些思维模式并非对传统仿真平台建设理念进行颠覆,而是传统的以模型为先导考虑仿真平台建设的思维难以满足日益复杂的大规模网络仿真建设需求,需要采用全新的角度重新审视网络仿真平台,力求全面、系统、科学地把握该平台的特征。重点研究内容包括以下几个方面:

·从运算特性、环境特性、数据交互特性等方面,深入分析了大规模网络仿真的特征,为仿真平台的需求分析提供有效支撑。

·科学研究了大规模网络仿真平台所需要具备的能力,重点探索大规模网络仿真在体系结构、环境配置、资源部署、监控管理、开放互联等方面的功能需求,为大规模网络仿真平台的设计奠定基础。

·在网络仿真平台能力需求分析的基础上,从建设满足能力需求的网络仿真平台出发,提出逻辑思维、协议思维、数据思维、服务思维4种仿真平台建设思维模式。

研究成果能够为大规模网络仿真平台的建设提供清晰的思路,也能够为其他具有大数据特性的仿真平台的构建提供可借鉴的理论依据和优化手段。

2 大规模网络仿真特性

为有效支撑大规模网络仿真平台的需求分析,结合大规模网络特点,本节从运算特性、环境特性、数据交互特性等方面,深度分析了大规模网络仿真^[5]的以下特性。

2.1 规模性

网络仿真具备规模性特征。其规模性特征说明了网络仿真应用产生的网络环境需要庞大的节点数量。然而仿真网络环境不但对节点数量有要求,其节点规模还应当具备生长性,即能够根据仿真需求实现动态可持续扩展,如图1所示。

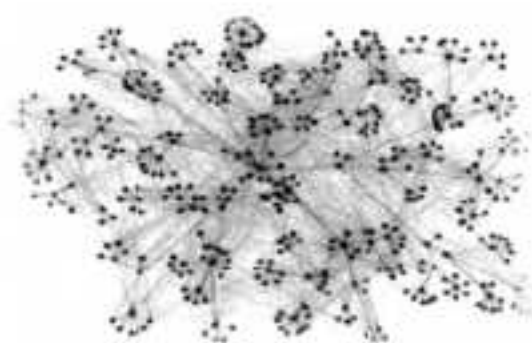


图1 网络仿真的规模性

2.2 交互性

网络仿真具备交互性特征。网络在信息域中体现出信息

交互节点众多、交互机制多样、交互频率高、交互实时性强、数据交互量大等特点。为了逼真地仿真网络环境,需要对大规模仿真节点间实时、灵活、安全、可靠的数据交互能力进行仿真,以实现逼真、动态的仿真网络,如图2所示。

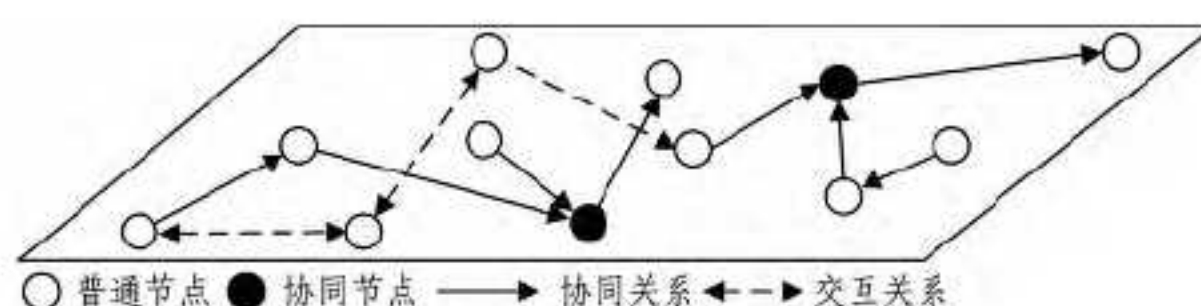


图2 网络仿真的交互性

2.3 多元性

网络仿真具有多元性特征。真实的网络环境覆盖面广、结构多样、关系错综、要素繁杂,主要包括通信终端、通信中继站、网络控制管理中心、计算机等设备和设施等。相应的仿真网络构建过程需要跨越从物理层到应用层的OSI七层模型,包含大量不同种类的虚拟和仿真资源,如图3所示。

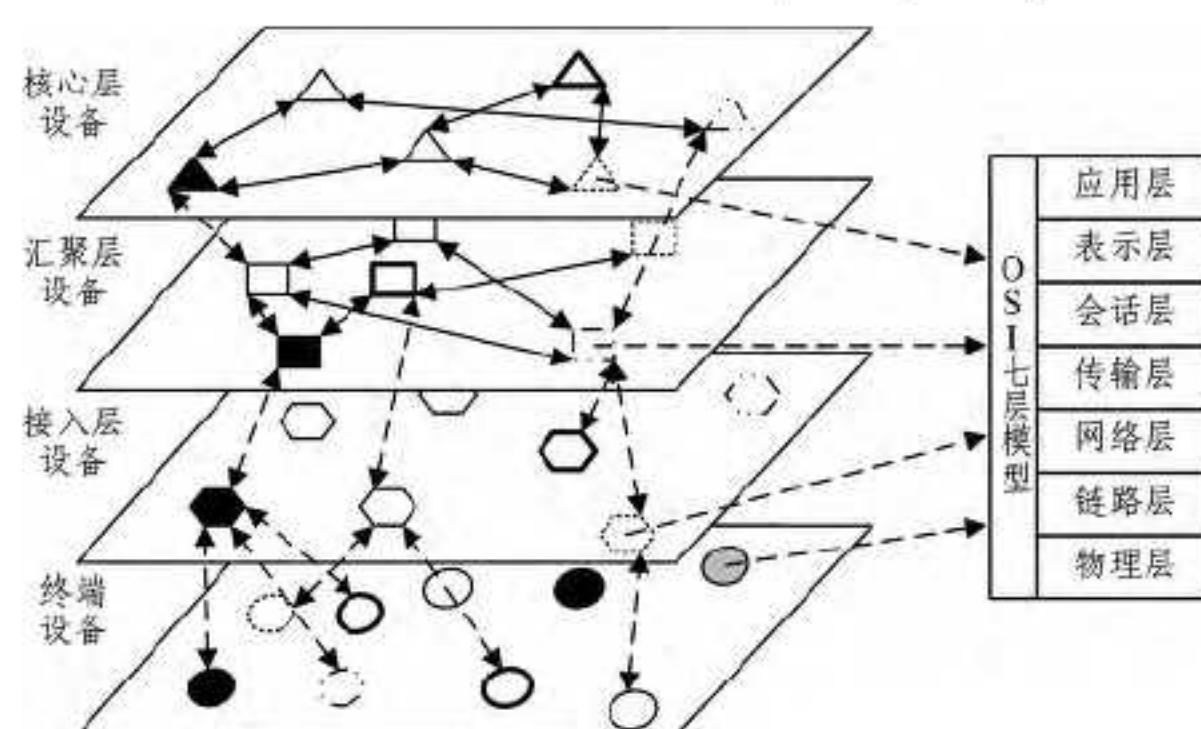


图3 网络仿真的多元性

2.4 再现性

网络仿真具有再现性特征。对于某些特定网络的仿真,为了再现网络的真实特性,需要探测真实网络的大量参数和数据,并在仿真的网络中作为输入数据指导网络仿真。特别是对网络环境背景信息的仿真,不仅数据量大,而且有时存在大量仿真实体同时访问,并且数据本身需保持全局一致,如图4所示。

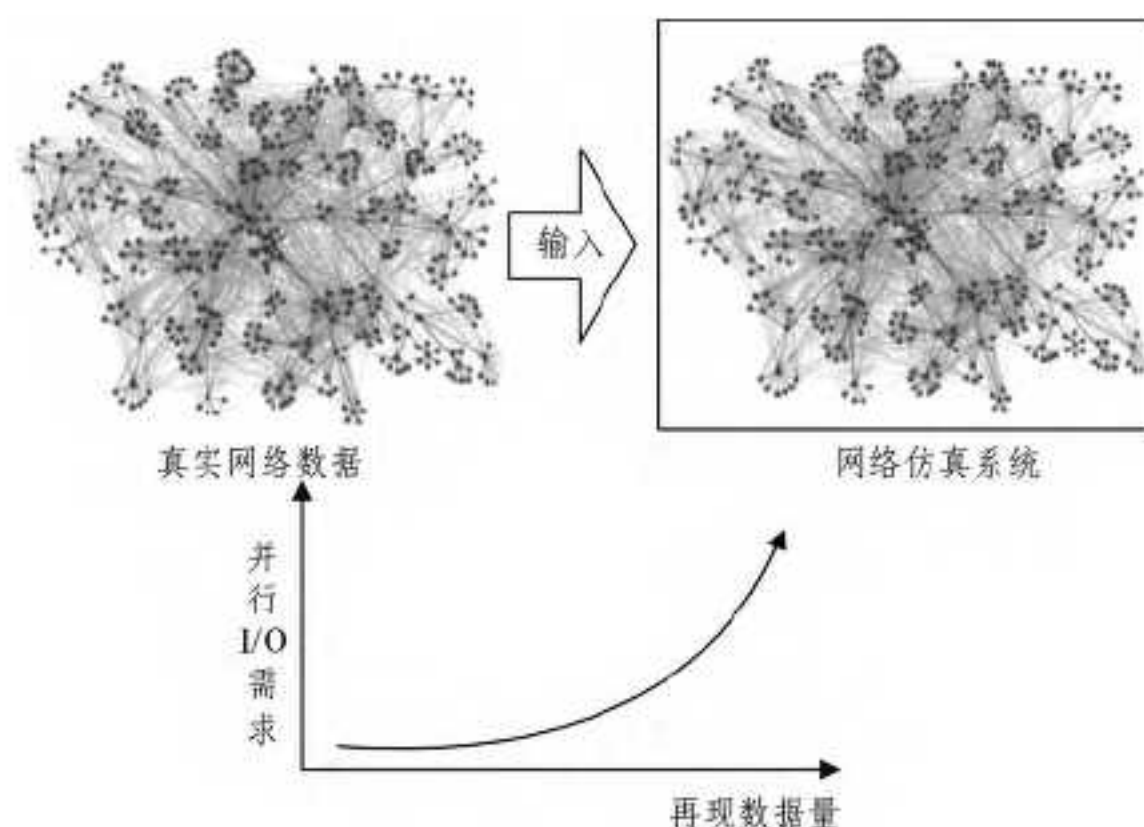


图4 网络仿真的再现性

2.5 时变性

网络仿真具备时变性特征。真实的网络环境是不断变化的。针对特定的应用模拟需求,仿真网络需要能够快速构建、回收,高速切换仿真网络环境,支持高密度、高频度任务的快速实施,如图5所示。

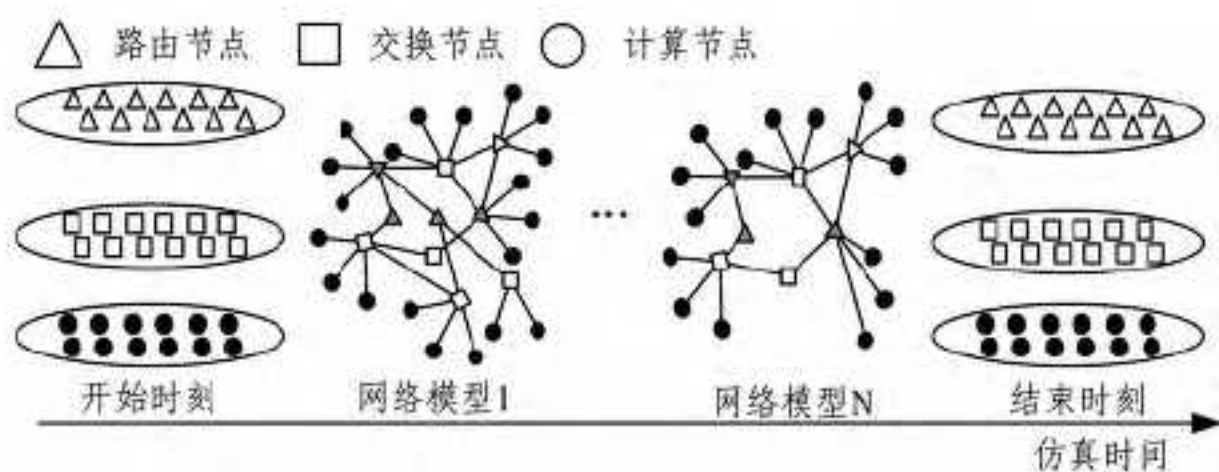


图5 网络仿真的时变性

3 大规模网络仿真平台的能力需求

为了对大规模网络仿真平台建设提供指导思路,需要在平台建设之初对平台需要具备的能力进行深入分析。表1总结了各项网络仿真特征对仿真平台的能力需求。

表1 网络仿真特征和对仿真平台能力需求之间的对应关系

网络仿真的特征	对仿真平台的能力需求
规模性	科学的平台架构
交互性	互联互通
多元性	高逼真模拟
再现性	数据共享
时变性	高性能仿真、可管可控

科学的平台架构需求。为满足大规模网络仿真在扩展性、重构性、高效性、可控性等方面的需求,需要在网络仿真平台建设初期多层次、多视角、系统科学地设计统一的平台系统架构,建设标准化、开放式的网络仿真平台,以实现仿真应用的扩展和融合。

高逼真模拟需求。网络仿真具有多元性特征,这就要求网络仿真平台能够按照多层次多粒度的模拟需求,对各类目标的拓扑结构、核心设备、技术体制、协议特征、管理与安全、业务与行为等关键构成要素进行逼真模拟。

高性能仿真需求。网络仿真^[6]具有实时性、高速性和规模性,这就需要网络仿真平台具备快速构建的高速仿真能力,不但能够快速部署各种设备,短时间内组建传输网络,而且能够实现实时高效的仿真模拟能力。

互联互通需求。网络仿真一方面需要高效集成各类资源^[7],另一方面需要不受地域限制^[8]。其交互性特征需要网络仿真平台可最大程度实现异构节点的互联互通互操作,从而满足各规模尺度的网络仿真需要,从而使整个网络仿真系统易于共享、重用和扩展。

可管可控需求。面对网络仿真的多元要素,需要网络仿真平台能够提供灵活高效的资源集成、统一管理、全程控制机制,以实现仿真网络的自动规划、柔性重组、按需部署、有效定制。

数据共享需求。网络仿真^[9]具有节点众多、机制多样、交互频繁、实时性强、数据量大等特点,这就要求网络仿真平台需要对数据收集、处理、融合、分发和显示等进行总体设计,实现高效、灵活、安全、可靠的数据交互和共享。

4 大规模网络仿真平台建设的思维模式

思维是用于分析问题和解决问题的思路。科学的思维是进行网络仿真平台设计的灵魂。为了更好地开展大规模网络仿真平台建设,本节从系统体系结构、逼真模拟要求、数据共享和利用、开发实现途径等角度进行深入思考,提出了逻辑思维、协议思维、数据思维、服务思维4种建设思维模式,这些思

维分别适合于指导不同的平台能力建设,如表2所列。实际上,各类思维模式之间有一定的交叉性,表2只是将最密切的思维模式与能力需求进行了关联。

表2 思维模式与靶场能力需求关联表

思维模式	靶场能力需求
逻辑思维	科学的系统架构需求,互联互通需求
协议思维	高逼真模拟需求
数据思维	高逼真模拟需求,数据共享需求,高性能仿真需求
服务思维	可管可控需求

4.1 用逻辑思维指导仿真平台建设

(1) 逻辑思维

网络仿真平台建设应当不受地域限制,仅需要在逻辑上互联。随着构成要素的日益复杂,实体、虚拟、仿真要素需要同时存在。为了避免仿真系统之间难交互、难共享、难扩展问题,需要采用逻辑思维模式,实现各资源在逻辑上的互联,用时通过互操作、重用和灵活组合,根据具体目标按需“无缝集成”^[10],如图6所示。

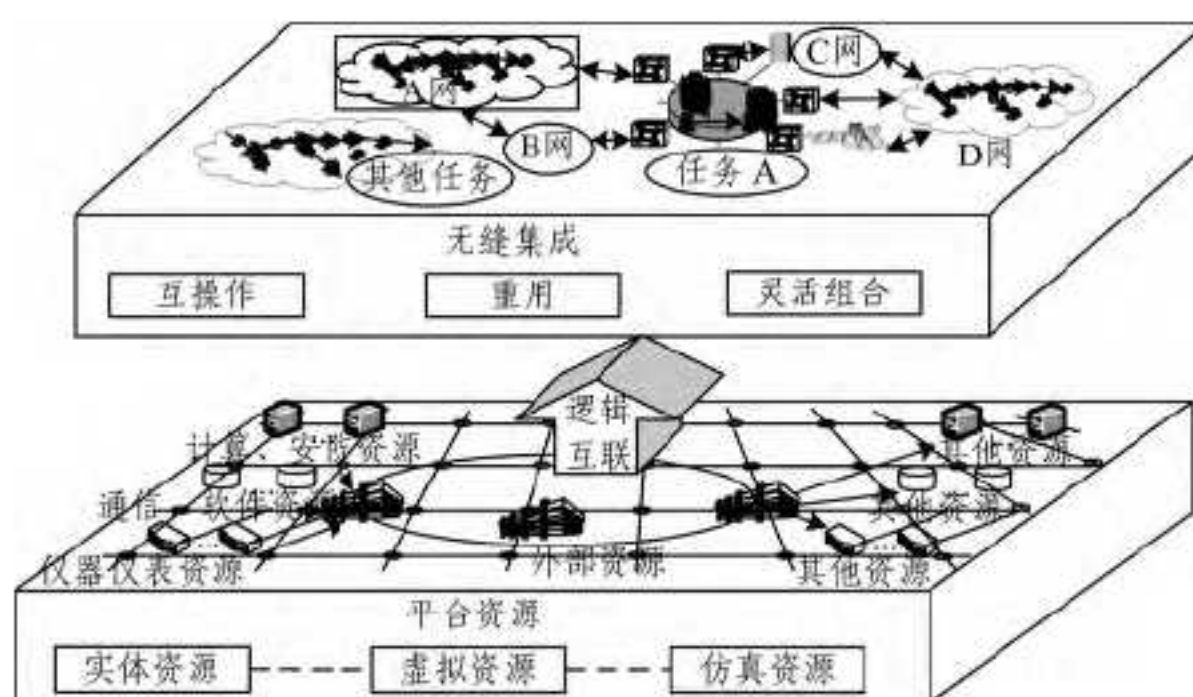


图6 采用逻辑思维建设仿真平台

(2) 逻辑思维在仿真平台建设中的应用

建设大规模网络仿真平台“科学的系统架构”和一体化“互联互通”需求可以采用逻辑思维,以实现所有仿真资源的逻辑互联。另外,还可以利用逻辑思维将网络仿真平台与其他平台的资源进行互联互通,这样必然能够扩展网络仿真能力并大幅提高利用效率和经济效益。

4.2 用协议思维指导仿真平台建设

(1) 协议思维

网络仿真平台利用各种技术实现对各网络的模拟,这种模拟本质上是对各类协议的仿真和模拟。协议思维就是从协议的本质特征——通信控制规则以及各类网络构建的基础出发来考虑问题。协议本质上是不同实体进行信息交换的规则^[11],通常采用分层模型,可从“水平”和“垂直”两个方面来理解,如图7所示。

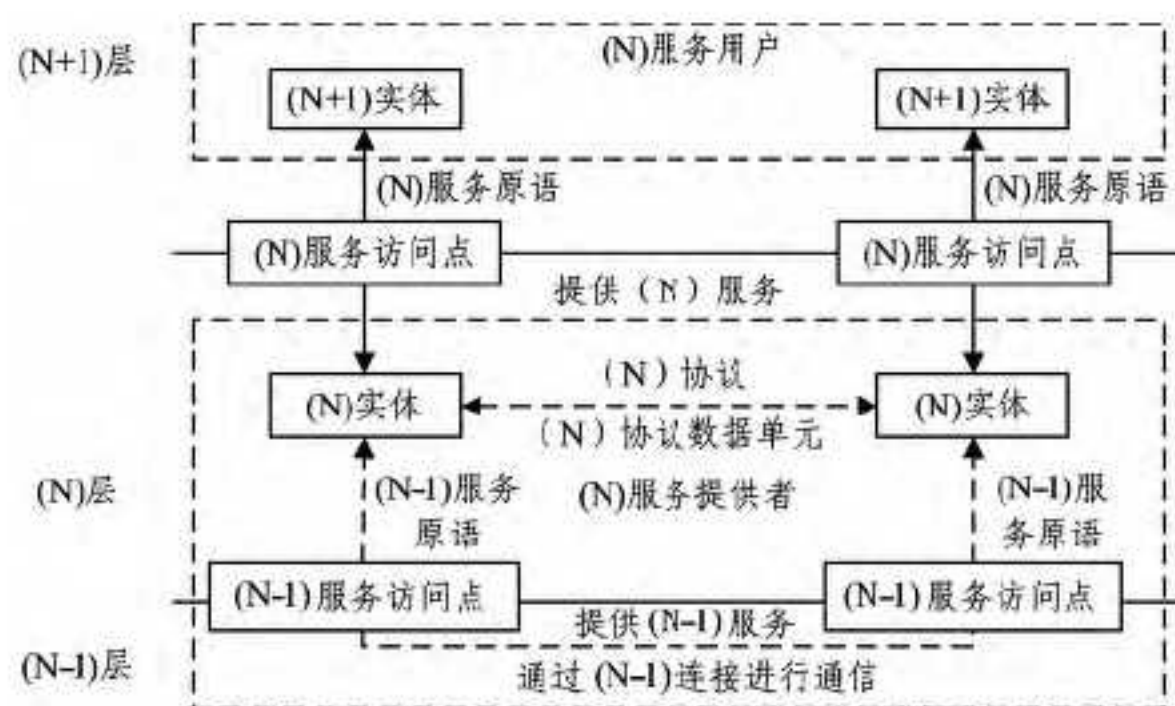


图7 N层协议模型

(2) 协议思维在仿真平台建设中的应用

可以利用协议思维指导网络仿真平台“高逼真的模拟”能力建设。协议是网络仿真所针对的主要核心特征。通过采用协议思维有利于发掘不同目标对象的共性特征,基于此能够实现仿真系统的模块化建设。首先,要实现网络仿真平台逻辑上的互联互通,可以考虑将基于 IP 等协议的互联网原型系统提供的通信服务作为基础。同时,协议的分层体系结构设计是逻辑互联的基础,由于下层协议对上层的用户是透明的,这就屏蔽了下层实现细节,使建设与真实网络目标类似的逻辑网络成为可能。

4.3 用数据思维指导仿真平台建设

(1) 数据思维

数据思维就是要能够充分理解数据的价值,并且知道如何利用数据为网络仿真提供依据。数据思维其实是换一种角度来看待仿真平台建设和应用。数据思维需要贯穿网络仿真平台建设和应用的始终,从数据标准化、数据共享和数据再利用上下工夫^[12],重点需要把握“删除”^[13]和“关系”^[14]两个理念,如图 8 所示。

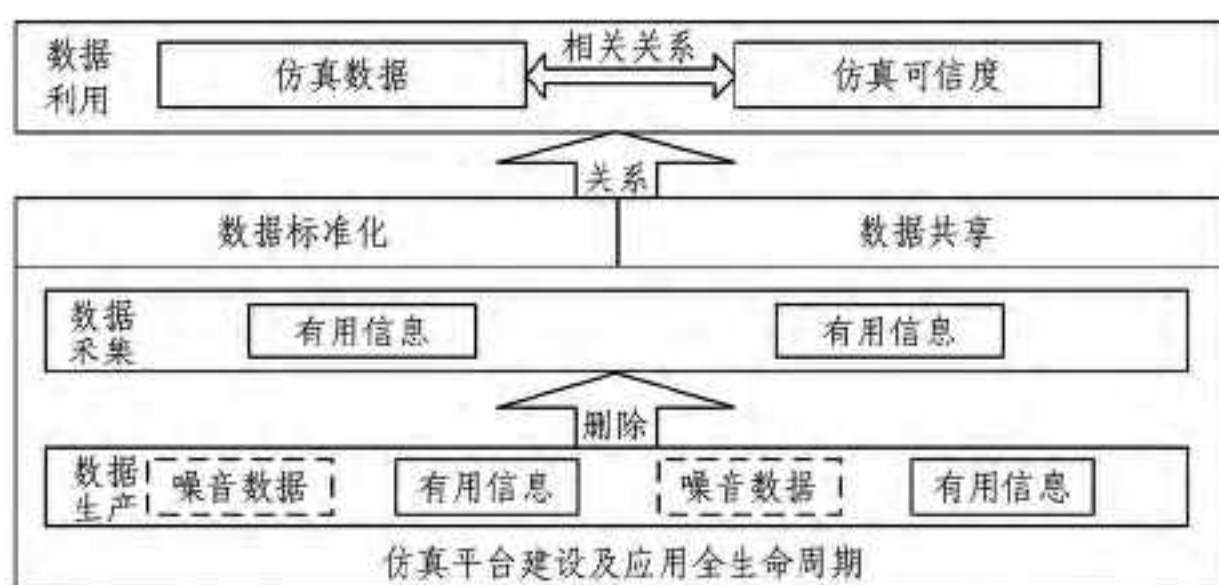


图 8 数据思维在网络仿真平台的应用示意图

删除理念。真实网络产生的数据规模庞大且类型繁杂,其中除了真正有用的信息,还包含大量的噪音数据^[15]。删除理念重点在于对仿真所需数据按照不同需求进行特征分类,寻求一种适用于网络仿真平台的有效数据分流过滤方法,有利于从源头上删除噪音数据。

关系理念。数据思维给人们带来的最大转变就是,放弃对因果关系的渴求,以关注相关关系代之。在仿真过程中,各条信息链路上的数据变化是会相互影响的。关系理念是指找到隐藏在大量数据中的相关关系,从而为仿真实现提供更为全面准确的决策依据。

(2) 数据思维在仿真平台建设中的应用

可以利用数据思维指导网络仿真平台的“高逼真模拟”、“数据共享”和“高性能仿真”能力建设。首先,在进行高逼真的模拟能力建设时,需要对真实网络的业务与行为等要素进行模拟,这就需要从真实目标对象中抓取大量数据,通过建模分析实现逼真模拟,而这一过程充分体现了数据的再利用和关系理念。其次,数据思维可以指导数据采集到利用的全过程,进而实现对数据质量的控制、数据的数据删除和严格数据标准化,极大程度地提高数据共享能力,并增强数据利用价值。

4.4 用服务思维指导仿真平台建设

(1) 服务思维

服务思维通过把不同应用和资源封装成统一的服务^[16]并进行系统集成,来解决因编程语言差异、平台差异、通信协议差异和数据差异等所带来的异构性问题,如图 9 所示。为

了满足大规模网络仿真多元化、规模化、分布式等特点需求,采用服务思维来指导建设,以实现通信、测试、仿真、安全等业务的服务能力。

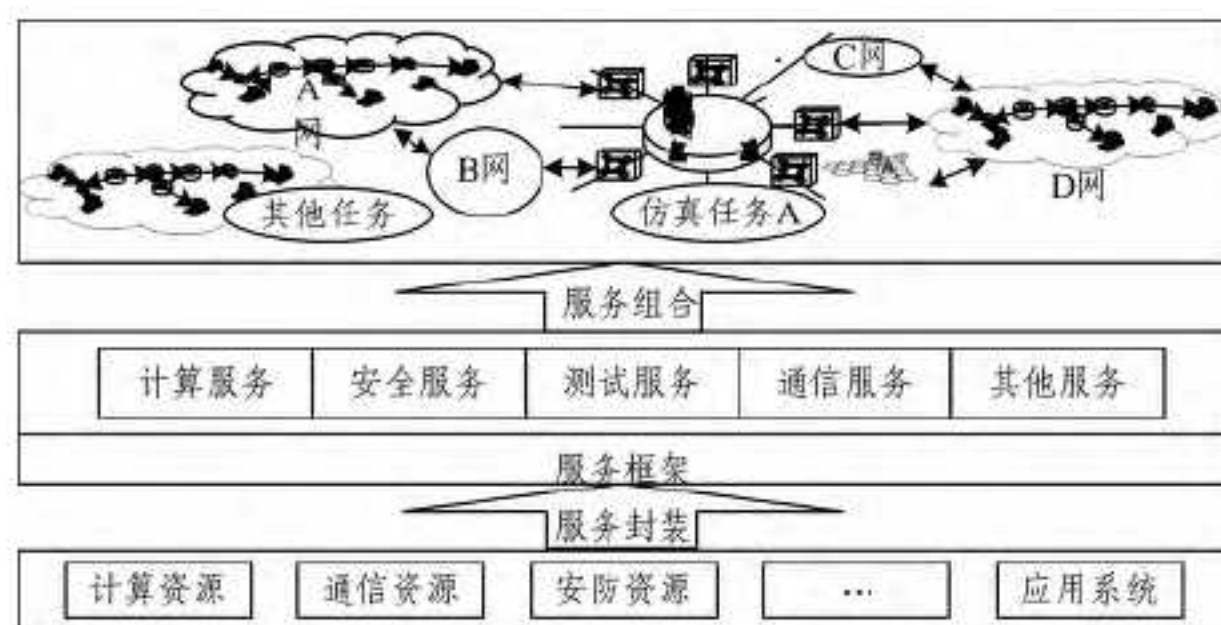


图 9 服务思维在网络仿真平台的应用示意图

(2) 服务思维在仿真平台建设中的应用

仿真平台的“可管可控”能力建设分别从软件集成和资源集成两个方面体现了服务思维。网络仿真平台是一个复杂系统,其建设内容包括多个平台,来源于不同领域,存在各种各样的差异。如果不进行统一规范,将造成彼此之间难以进行数据的交换和共享。网络仿真平台在实际运行过程中面临两大难题:1)如何自然、有效地整合种类繁多、服务于不同目标的仿真平台;2)如何利用一种成熟、有效的中间件技术把未来的新信息系统有机地包容到现有系统中,使当前和未来的技术能够自然而有机地结合在一起。利用服务思维可以将各类资源和应用系统封装成统一的服务来屏蔽系统间的差异性,通过服务组合技术对散列的服务组件进行综合集成,实现通信、测试、仿真、安全等的服务能力,并能够灵活应用于来源于不同任务的各种需求。

结束语 为了实现大规模网络仿真,需要建设高性能网络仿真平台。然而,目前仿真平台在建设和发展过程中出现了难以扩展、应用有限、单纯模型主导等多方面问题,为此,在大规模网络仿真平台建设之初,需要全面系统地探讨平台建设所应把握的思维模式,以指导大规模网络仿真的科学实现。本文围绕网络仿真平台建设这一主题,重点剖析了网络仿真的特征和平台的能力需求,深入分析系统建设所需要采用的 4 种思维模式,并对这些思维模式在网络仿真平台能力建设中的应用进行分析说明。

未来还需要进一步研究各种思维模式现有哪些关键技术能够有效应用,从而为网络仿真平台建设提供具体的理论和技术支撑。

参考文献

- [1] 袁晓,蔡志平,刘书昊,等.大规模网络仿真软件及其仿真技术[J].计算机技术与发展,2014(7):9-12
- [2] Liu B, Yao Y, Wang H. On the technology of high-performance parallel simulation[J]. Journal of Simulation, 2012, 21(1): 1-6
- [3] Waleed S, Sandro F, David H. High performance computing and simulation: Architectures, system, algorithms, technologies, services, and applications[J]. Journal of Concurrency Computation Practice and Experience, 2013, 25(10): 1313-1318
- [4] 赵大伟. 互联网思维——独孤九剑[M]. 北京:机械工业出版社, 2014
- [5] Jin D, Zheng Y, Nicol D. A parallel network simulation and vir-

tual time-based network emulation testbed[J]. Journal of Simulation, 2014, 8(3): 206-214

- [6] Mustafee, Navonil, Taylor, et al. High-performance simulation and simulation methodologies[J]. Journal of Simulation, 2013, 89(11): 1291-1292
- [7] 刘畅, 刘西洋, 陈平. 大规模网络仿真方法研究[J]. 计算机仿真, 2005, 22(5): 8-11, 15
- [8] 李广俊. 一种分布式网络仿真系统的设计与实现[D]. 成都: 电子科技大学, 2007
- [9] 韦涛, 田永春, 姜永广. 基于协同的半实物网络仿真系统设计[J]. 通信技术, 2011, 12(44): 64-66
- [10] 王国玉, 冯润明, 陈永光. 无边界靶场——电子信息系统一体化

联合试验评估体系与集成方法[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007

- [11] 李洋. 网络协议本质论[M]. 北京: 电子工业出版社, 2011
- [12] 毕亿默, 卢超, 王华. 一种数据交换整合平台的设计与实现[J]. 计算机应用与软件, 2013, 30(12): 127-129, 136
- [13] 维克托·迈尔—舍恩伯格. 删除: 大数据取舍之道[M]. 杭州: 浙江人民出版社, 2013
- [14] 维克托·迈尔—舍恩伯格. 大数据时代[M]. 杭州: 浙江人民出版社, 2013
- [15] 纳特·西尔弗. 信号与噪声[M]. 北京: 中信出版社, 2013
- [16] 黎富贵, 吴宙华. 基于 Web Services 动态资源服务化的研究[J]. 计算机应用与软件, 2014, 31(9): 83-85, 165

(上接第 238 页)

右前额上的头发部分边界欠缺, GAB 识别的盆景植物主干部分边界欠缺等。OBRD 是逐点识别边界点的算法, 因而比 GAB 以单元为单位识别边界点更精细, 如头像集中头发上的花夹和耳坠边界、盆景数据集中枝叶边界等。由于 BORDER 把处于聚类内部的很多点也当作边界点, 如形成头发内部的一些点, 因此边界识别效果较差。

4.3 参数敏感性实验

对 OBRD 算法中近邻半径 r , 孤立点阈值 μ 和边界点阈值 λ 3 个参数进行敏感性实验。数据集采用 4.2 节实验 1 中的头像数据集。设置 $\mu=0.82, \lambda=0.71$ 时, r 从 16 逐次减少 1 直到 7, 当 r 每减少 1 时, 孤立点数平均增加 4.64%, 边界点数平均增加 2%, 可见 OBRD 算法对近邻半径 r 不是很敏感。 $r=10, \lambda=0.71, \mu$ 从 0.87 逐次减少 0.01 直到 0.78, 识别的孤立点数增加 9.64%; $r=10, \mu=0.82, \lambda$ 从 0.76 逐次减少 0.01 直到 0.67, 当 λ 每减少 0.01 时, 识别的边界点数平均增加 7.55%, 可见 OBRD 算法对孤立点阈值和边界阈值较敏感。

结束语 利用数据点的 r 领域和半领域的密度相对数能反映数据点所在局部区域数据分布差异的特征, 给出了相应孤立点和聚类边界点识别算法 OBRD。由于一个数据点的 OBRD 识别只与它的 r 邻域的密度有关, 因此算法具有简洁、执行效率较高、与数据输入顺序无关等特点, 孤立点和边界点可以在同一个过程中识别出来。理论分析和实验显示, OBRD 算法能识别出呈任意形状分布的多密度数据集的孤立点和聚类边界点, 能够识别出紧挨边界的孤立点, 且输入参数少, 具有较高的识别精度, 但参数的敏感性还需进一步改进。

参 考 文 献

- [1] Branch J W, Giannella C, Szymanski B, et al. In-network outlier detection in wireless sensor networks[J]. Knowledge and Information Systems, 2013, 34(1): 23-54
- [2] 贾润达, 刘俊豪, 毛志忠, 等. 基于鲁棒 M 估计的间歇过程离群点检测[J]. 仪器仪表学报, 2013, 34(8): 1726-1729
- [3] 黄毅群, 卢正鼎, 胡和平, 等. 分布式异常识别中隐私保持问题研究[J]. 电子学报, 2006, 34(5): 796-799
- [4] Niu Z, Shi S, Sun J, et al. A survey of outlier detection methodologies and their applications[M] // Artificial Intelligence and Computational Intelligence. Springer Berlin Heidelberg, 2011:

380-387

- [5] Zoubi M B A, Obeid N. A Fast Distance Algorithm to Detect Outliers[J]. Journal of Computer Science, 2007, 3(12): 944-947
- [6] Zhang Yue, Yang Xue-hua, Li Huang. An Outlie Mining Algorithm Based on Confidence Interval [C] // Proc. of the 2nd IEEE International Conference on Information Management and Engineering. IEEE Press, 2010
- [7] Bhaduri K, Matthews B L, Giannella C R. Algorithms for speeding up distance-based outlier detection [C] // Proceedings of the 17th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. ACM, 2011: 859-867
- [8] Keller F, Müller E, Böhm K. HiCS: high contrast subspaces for density-based outlier ranking[C] // 2012 IEEE 28th International Conference on Data Engineering (ICDE). IEEE, 2012: 1037-1048
- [9] Aggarwal C C, Philip S Y. Outlier Detection with Uncertain Data[C] // SDM. 2008: 483-493
- [10] 李光兴, 杨燕. 基于网格相邻关系的离异点识别算法[J]. 计算机工程与科学, 2010, 32(9): 130-133
- [11] 赵峰, 秦锋. 基于单元的孤立点识别算法改进及应用[J]. 计算机工程, 2009, 35(19): 78-80
- [12] 张选平, 祝兴昌, 马琮. 一种基于边界识别的聚类算法[J]. 西安交通大学学报, 2007, 41(12): 1387-1390
- [13] 楼晓俊, 孙雨轩, 刘海涛. 聚类边界过采样不平衡数据分类方法[J]. 浙江大学学报(工学版), 2013, 47(6): 944-949
- [14] Xia C, Hsu W, Lee M L, et al. BORDER: efficient computation of boundary points[J]. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 2006, 18(3): 289-303
- [15] 吾守尔·斯拉木, 李丰军, 陶梅. IBORA: 一种改进的有效的边界点检测[J]. 小型微型计算机系统, 2008, 29(10): 1845-1848
- [16] 邱保志, 张枫, 岳峰. 基于统计信息的聚类边界模式识别算法[J]. 计算机工程, 2008, 34(3): 91-93
- [17] Li G, Li B. Boundary Point Recognition Algorithm Based on Grid Adjacency Relation[M] // Recent Advances in Computer Science and Information Engineering. Springer Berlin Heidelberg, 2012: 211-218
- [18] 张鸿雁, 刘希玉, 付萍. 一种网格聚类的边缘识别算法[J]. 控制与决策, 2011, 26(12): 1846-1850
- [19] 邱保志, 余田. 基于网格梯度的边界点识别算法的研究[J]. 微电子学与计算机, 2008, 25(3): 77-80