



专题：数据网络协议架构创新——NewIP

基于微服务架构的下一代 IP 网络测试体系框架

徐竟玮, 赵泽宇, 沈敏虎, 应奕彬, 周伟强
(复旦大学, 上海 200433)

摘要: 下一代 IP 网络是未来新型公共网络, 融合有线无线一体化、宽带窄带一体化、传输接入一体化以及有源无源一体化的全新型业务网络, 其面临的应用场景也变得复杂化和多样化。然而, 每个应用场景的需求及标准各不相同, 对标现有的网络技术、协议、标准规则仍有较大差距。为保障新应用场景下各技术、设备等方面的完备性及安全性, 满足未来网络技术发展产生的新应用特征, 需建立全方位统一的测试体系。提出在基于微服务架构的基础上强调对业务的赋能, 综合不同应用场景特征, 建立基于下一代 IP 网络场景的全过程领域驱动模型。以构建多渠道、全方位的微服务测试框架, 为网络技术的发展提供支持手段。

关键词: 测试体系框架; 微服务; 下一代 IP 网络

中图分类号: TP393

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2019218

Next generation IP network test system framework based on microservices architecture

XU Jingyi, ZHAO Zeyu, SHEN Minhu, YING Yibin, ZHOU Weiqiang
Fudan University, Shanghai 200433, China

Abstract: The next generation IP network is a new type of public network. It integrates wire and wireless, broad-band and narrow-band, transmit and receive, passive and active, which leads to the diverse and complex service scenarios. However, different scenario has different needs and standards, and there remains gaps with the current techniques, protocols and standards. In order to ensure the completeness and security of all kinds of techniques and facilities in the new application scenarios, and the upcoming new characteristics in the process of network development, a comprehensive test system framework needs to be established. The next generation IP network test framework based on micro services architecture was proposed, combined with different new application characteristics, which provided support for the development of network technology.

Key words: test system framework, micro service, next generation IP network

1 引言

下一代 IP 网络是未来新型公共网络, 以 IP

技术为基础, 融合有线无线一体化、宽带窄带一体化、传输接入一体化以及有源无源一体化的新型业务网络。随着技术的发展, 新业务层出不穷,

收稿日期: 2019-08-10; 修回日期: 2019-09-12



互联网与车联网、远程医疗、AR/VR 等新技术领域深度融合,要求下一代 IP 网络具有高速率、低时延、高带宽、高并发等特征,对传统的工业领域、生活领域、技术领域带来了广泛影响,导致应用场景泛化,对传统的 IP 网络技术以及测试方式方法都带来新的挑战。传统测试以单一测试场景为主,主要对场景功能、设备性能、平台压力进行测试。在下一代 IP 网络场景下,还应从场景需求和特征出发,考虑设备的异构性、场景的组合性,从服务需求角度构建测试框架。传统测试方法主要面临以下几个挑战。

(1) 下一代 IP 网络涌现众多创新应用

网络技术的发展,产生了纷繁的新应用,互联网承载的应用越来越丰富,远程医疗、工业互联网、智慧校园、AR/VR 等新应用已悄然而至,全息通信、泛在移动、边缘计算等应用场景也即将到来,人们正在进入一个万物感知、万物互联的智能化世界。

(2) 多元化测试指标

网络的新应用对 IP 网络提出了新的需求和挑战。而随着技术的发展,性能指标早已不是限制技术发展的关键因素,而是以面向服务的方式,对场景的符合性测试才是行业内普遍关注的重点。

(3) 设备的异构性

由于新引用场景本身特征和运行环境的不同,其设备所支持的网络通信协议、依赖的传输网络、数据解析和处理的过程都截然不同,且除了传统的网络设备,越来越多物联网设备、通信设备的涌现,无法通过统一的测试体系框架对所有设备的链接性、安全性、一致性等进行测试。

(4) 传统测试模型无法满足新业务需求

在传统的测试方法上,主要测试流程先分解测试目标、定义测试用例、制定测试预期结果,从而反复迭代;而当被测对象或需求场景有变动时,就必须修改其源测试方案,导致测试周期变

长;且由于每个测试项目的测试场景及目标不同,已有的测试方案的重复使用率较低,导致测试成本升高。

针对以上挑战,本文提出采用基于微服务的测试体系框架可以有效地提高测试效率,通过搭建各类微服务模块,借助其服务独立、易扩展性等特征,整合各类应用场景,建立基于场景特征的全过程驱动模型,制定统一的测试体系框架,使得在未来 IP 网络新应用的场景下,对其整体的应用测试过程能够灵活快速地适应新业务的持续发展状况,降低测试方案的复杂度及测试成本。

2 研究现状

当前,下一代 IP 网络技术是一个重点研究的方向,不仅影响着产业发展前景,同时给国家利益及网络安全带来改变,因此各个国家都展开了针对下一代 IP 网络的研究计划^[1],且大数据和人工智能的发展,也为下一代 IP 网络向智能化发展提供了新的契机。从现阶段来看,目前网络基础架构、网络协议等方面在面对下一代 IP 网络的新应用需求时还存在诸多问题。由于业务环节、业务范畴及运营需求的改变,现有 IP 网络正面临着系列的挑战,很多需要网络核心支持的协议功能(例如移动 IP、InterServ、DiffServ 等控制协议)都难以成功部署,约束了网络的创新能力^[2]。蒋林涛^[3]认为在网络层面,网络能力和性能的缺失和不足、网络智能管理策略不足、网络自动部署、自愈能力不足,都成为信息业发展的瓶颈。

目前常用的针对网络层面的测试框架大部分集中在对设备性能及传输协议的测试。参考文献[4]提出互操作性测试,用于检测在两个或两个以上的协议实现关于能否互联互通互操作的测试。为了提高测试效率,参考文献[5]采用了分层体系结构,设定任务模板,规范测试任务的输入域输出,有效提升了整体测试效率。

但传统的测试框架已无法满足未来多应用场

景下的特征和模式需求。因此,很多学者开始关注采用微服务的架构与新型网络场景结合,参考文献[6]提出了采用微服务和物联网的云平台系统来构建智慧城市管理平台,Sun等人^[7]提出了通用型的物联网微服务中间件,有效解决通信设备在传输协议上的差异性。在测试层面中,参考文献[8]提出用微服务架构实现对软件的自动化测试;参考文献[9]提出基于场景特征的测试体系架构。

但上述诸多研究成果均经过在未来IP网络中场景的多样性、终端的海量性以及传输的异构性等特征方面的综合考虑,缺乏统一的测试框架可以适用于未来多变的业务场景,且不够重视场景的性能特征以及业务请求之间的差异,对不同测试服务的互操作支持都缺少详尽的考虑。

3 下一代IP网络典型应用场景及特征

3.1 移动互联网

移动互联网的主要应用场景包括5G、6G、物联网等。很多传统的行业例如能源、市政、交通等都将参与移动互联网生态环境的建设。和以往移动通信技术相比,速率更高、终端更多;未来移动互联网需要满足更加多元化的场景,面临更多极致的性能挑战。

(1) 海量物联网终端通信

以智慧交通、智慧校园、智慧城市^[10]为典型应用场景,主要以数据采集和传感为目标,具有低功耗、低流量、海量链接等特点,且要求支持高密度链接。

(2) 泛在移动性

在下一代高铁与磁悬浮列车应用场景中,需要保证在高速移动下的车载业务不中断。需要基于物理位置所分配的IP地址不断变化,因此针对多种业务,网络需要提供按需、泛在的移动性支持。

(3) 网络安全性

在特定应用场景中,未来IP网络在安全防护

中,应具备对网络攻击的自动识别以及自我防御能力,具有网络故障的自动检测和自动恢复能力。

3.2 产业互联网

传统实体行业与当今网络技术的结合,催生了产业互联网。产业互联网将重点关注生产智能化、定制个性化以及网络协同化等场景特征。产业互联网的未来新应用场景包括智能工厂、车联网、远程医疗、智能电网等多种引用场景;综合产业互联网海量终端、时延低等新特性,其普遍对下一代IP网络的需求如下。

(1) 网络体系需求

需要建设高可靠、高覆盖、高带宽、可定制的企业网络基础设施;具备IPv6支持能力及数以百计的产业物联网终端设备。

(2) 平台体系需求

协同传统产业协同发展产业互联网平台,满足企业的云化需求,保障企业工艺的流程控制,优化时间敏感度、实时性、稳定性及低功耗。

(3) 安全体系需求

对场景下设计的所有设备、数据、平台、网络建立安全态势感知及安全保障能力。

(4) 网络自适应性

在车联网等新应用中,要求节点之间通信链路的切换时间大幅缩短,导致网络拓扑将频繁变换,针对此场景,网络应具备自适应的能力。

(5) 组网方式不同

包括实体组网、虚拟组网的混合组网方式。

3.3 全息通信

当前通信网络传输最多为二维信息,而人类从日常行为到复杂操作都高度依赖人们的视觉感知系统。全息通信则可获取三维场景,让人们感知视觉信息的全面性、真实性及沉浸感。将互联网技术与全息通信技术相结合可以突破远程医疗、赛事直播、游戏娱乐^[11]等应用场景中三维视觉信息丢失问题,具有十分广阔的应用前景。相比于传统二维通信,预估其传输量是传统方式的



40 000 倍。全息通信场景下对下一代 IP 网络的需求如下。

(1) 大带宽高吞吐

全息通信可提供双目视差、运动视差等视觉信息，其数据更全面、更真实，其带宽传输要求通常达到 8K 高清视频的传输要求。

(2) 低时延

以保障全息通信的实时性要求。

3.4 下一代 IP 网络体系架构

下一代 IP 网络的体系架构如图 1 所示，包括基础设施链路层、数据层、管理层、控制层、网络层、传输层和应用层。具体包含以下。

(1) 下一代 IP 网络基础设施链路层

为下一代 IP 网络提供安全可信的基础设施内核，是整个体系架构的基础。

(2) 数据层

涵盖下一代 IP 网络中的所有元素，包括基础设施资源、网络数据资源、终端数据等。真正实现万物互联，打通存储、计算、内容资源的连通性。

(3) 网络层

支持下一代 IP 网络架构中的网络层应能实现

面向万物互联提供网络技术，包括新寻址协议、新路由协议、确定性低时延协议、内生安全协议。

(4) 传输层

能面向高通量低时延场景提供新型传输协议。

(5) 控制层

支持超高通量、网络编码，对多种网络和资源提供高效路由和控制协议策略。

(6) 管理层

通过资源优化、差异服务及策略执行，实现网络从传输、控制到管理的全面智能化管理，构建基于人工智能、机器学习的大数据管控平台。

(7) 应用层

基于底层协议支持上层开展符合下一代 IP 网络的服务业务，支持全息通信、远程医疗、智慧工场等重要场景。

综上的整体网络体系架构，其对应的测试框架要涵盖下一代 IP 网络体系的方方面面，针对网络基础设施链路层，需要验证在设备的异构性以及保障设施终端的互联互通和可操作性；数据层，则作为整个体系框架中的所有数据的汇总层，需要保障数据的安全性以及数据的共享性；

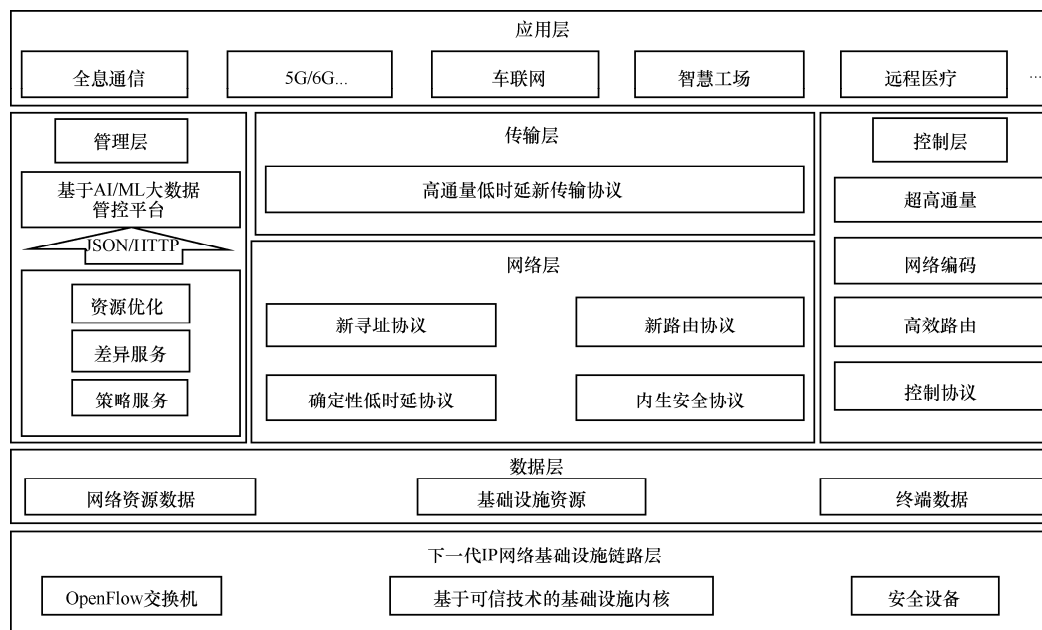


图 1 下一代 IP 网络体系架构

网络层及传输层是整体架构中的核心，负责稳定及高性能的传输，一方面要验证协议的一致性，另一方面也要保障整体核心层级的安全性；控制和管理层则是实现对整体框架的智能化管理，验证整体网络结构的顽健性；最后，针对应用层，要针对场景特征进行黑盒测试，验证服务的正确性。综上，提出了基于下一代 IP 网络的测试体系框架。

4 测试体系及框架

下一代 IP 网络的可变性、多样性及复杂性的特点决定了网络测试系统的复杂性，为了验证其安全性、可靠性，对于不同的应用场景应当提供相应的测试框架及手段。因此基于下一代 IP 网络的测试框架应当具备随网络技术、网络拓扑多样性发展而持续更新、不断迭代扩展、融合多场景

应用的能力。此外，随着下一代 IP 网络技术的成熟，业务领域及场景不断扩展和细分，针对典型应用场景设计的通用型测试框架势在必行。而微服务架构具有灵活的扩展性、部署速度快等特点，成为整个测试体系框架的架构首选。

测试的总体架构如图 2 所示，分为基础设施资源层、数据共享层、服务层、应用层。基础设施资源层包括自适应的测试硬件平台，提供测试的基础设施及组件；数据共享层则基于场景业务的统一数据存储层，提供测试数据的存储与解析；服务层由不同的微服务应用所组成，为场景提供对应的场景分类模型、业务流程处理以及数据共享等服务；应用层为测试者提供一个交互接口。整体测试框架提供标准的负载均衡策略、监控报警功能以及扩展性能的服务组件，支撑所有微服

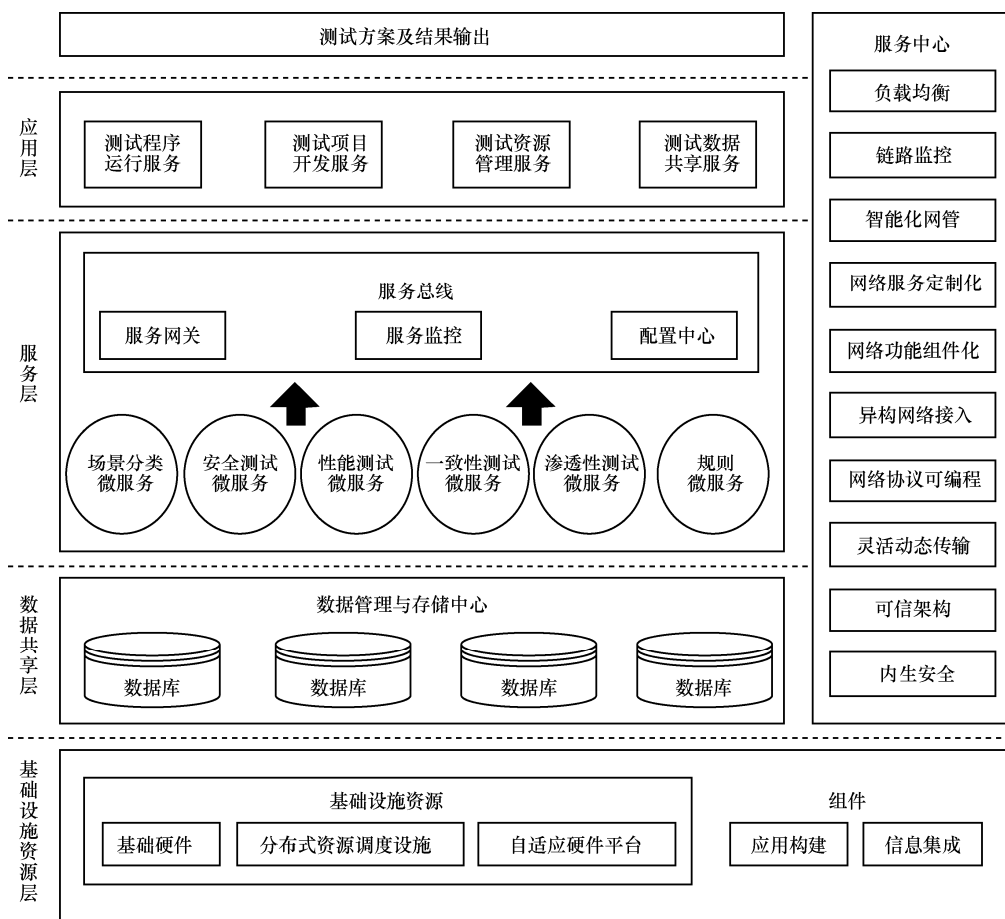


图2 下一代IP网络测试框架



务相互组合运行。

基于总体测试框架的设计，充分考虑各业务场景下的性能特征，设计了一个适用于多场景化的综合测试体系框架，使其能面向多渠道提供公共测试服务，通过对业务场景的抽象及特征提取，共享数据和事务组件，对纵向业务场景资源进行划分，构建完整的测试用例。

基于场景的领域模型如图 3 所示。首先基于场景配置文件，按照特征、性能及相关场景特性进行分类，通过规则微服务，对各类微服务应用进行组合调度；每个微服务又包含多个测试实例，采用容器技术，实现整体测试框架的快速部署和水平扩展的能力。通过不同微服务的组合，针对不同的应用领域产生特定的测试手段及策略，有效解决下一代 IP 网络体系中，场景的多样性、设备的异构性以及体系的扩展性等问题。

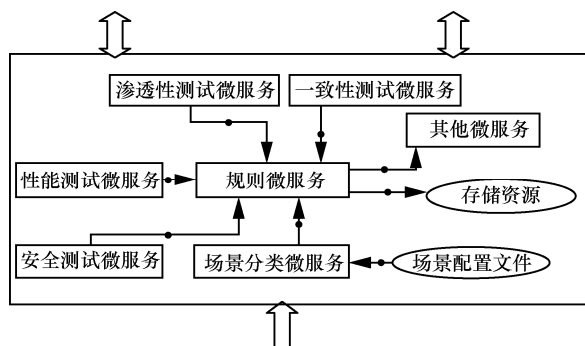


图 3 基于场景的领域模型

5 关键服务设计

为保障不同的应用场景能有效接入整体测试框架，采用微服务架构实现快速部署、灵活扩展。但如何有效组合不同的测试微服务，都依赖于具体的、不同的微服务组件设计。

5.1 场景分类微服务

场景分类微服务负责将不同的应用场景进行特征提取，并抽象成服务调用与资源调度之间的相互转化。要完成上述机制，首先要从不同应用

场景中抽象出服务的机制，能够屏蔽场景使用的传输网络、通信协议等方面的差异特征。针对应用场景概念包含的 3 个方面——业务主题、业务特性、传输通信方式，依据相关理论进行分类。在保证分类原则的系统性、综合性、稳定性、唯一性和可扩展性的前提下，构建出一个有层次的、逐渐展开的分类体系。主要配置文件包含：场景描述文件、场景需求及特征文件。

场景分类微服务依据场景提供的服务特征创建场景描述文件，包括其场景特征、传输网络、属性等异构特点。具体的场景描述文件中的关键字段见表 1。

表 1 场景描述文件关键字段

关键字段	描述
time	实时性
mobility	移动性
quality	QoS 保障
flow	数据流量
concurrency	单位区域连接数
protocol	通信协议
attribute	属性

根据场景描述文件的不同，会选择合适的测试资源。例如在物联网应用中，智能水表使用的是低功耗、窄带广域网技术；而在智能家居中，往往采用的是无线局域网，不同的传输特性在连接数、QoS 等方面都相差甚远。

5.2 性能测试微服务

RFC2544 提供了一个测试基准，采用测试帧反映性能特征，包括吞吐量测试、时延测试、分组丢失率测试等，每个测试指标反映了不同的侧重点。在性能测试微服务中，根据性能需求而设计测试方案。为验证线路质量，应对不同长度的以太帧进行至少 15~30 min 的传输测试。在被测线路上以特定速率传送规定数量的以太帧，统计传输返回帧的数目。当两者数目相同时，此时最大的传输速

率则是吞吐量。在车联网场景中,考虑到存在多种以太网通信方式(单播、多播、全双工或自协商等),应结合以上场景特征,进行设计。

负载测试、压力测试、可靠性测试、恢复性测试也是性能测试子类,针对不同场景的不同特点及要求合理选取。通过配置文件的场景特征,验证性能指标是否符合服务场景的要求。例如在车联网场景中,负载测试可以测试在网络切换时间低于1 ms的情况下车的最大速率,获取通信转化能力的极限时间,评测不同速率下的网络切换性能表现。压力测试则是在面向海量终端时,在一定吞吐量和分组丢失率下,明确该场景下的最大支持终端数,以此方法判断系统通信的稳定性。可靠性测试则是在一定终端和速率下,车联网关键性能指标是否均能满足要求,可提早发现未知故障。恢复性测试,则是通过针对ARP、TCP等协议的故障注入,模拟错误的以太网帧内容,检测能否在制定时间内修正、自动恢复,以保证通信的稳健性。

5.3 一致性测试微服务

一致性测试是一种黑盒测试,它按照标准协议,观察被测试结果是否和预期结果一致,解决设备的异构性,保障不同的设施之间可以正确互联互通。随着物联网、5G等新应用的诞生,推动了网络终端需求的增加;不同的终端厂商都在竞相开发支持下一代IP网络的终端。而在市场化的过程中,必须要对其进行一致性测试。一致性测试不仅是检验终端性能的有效途径,其系统的全面性与准确性也被认为是无线移动通信技术不断完善、通信行业稳步发展的标志。

常见的一致性测试方法有RRM一致性测试、射频测试、协议一致性测试。RRM测试主要是从各方面检验终端的性能,包括3个方面:测量精度(判断是否满足未来网络通信协议的规范)、时间精度(从事件被触发到成功发送的时延和通信协议的规定的时延范围是否满足)、功能测试(从行为的正确性和及时性来判断是否满足入网

要求)。

5.4 安全测试微服务

安全测试微服务主要负责对场景终端及用户进行验证,依据不同的终端性能以及场景对安全等级的要求,提供不同级别的安全测试服务。另外,除了负责对外的安全测试服务,对内也负责相应的性能指标管理,提示报警信息。

在下一代IP网络的自身架构特征来看,虚拟化及可编程技术等都需要更智能化的管控手段和更高效的安全机制。安全性测试是下一代IP网络的整体架构的基础。鉴于下一代IP网络的开放性和实时性,网络访问不仅仅具有实时可达的特点,同时也是一个动态的变化过程;除了在考虑传统网络安全的基础上,更应该实现对网络访问或入侵的实时检测;通过构建正常模式和异常模式的知识库,采用聚类的算法,自动利用增量熵值对攻击进行检测判断;这种安全监测不仅能监测已知的攻击,对新的攻击也能起到预警作用。

5.5 渗透测试微服务

渗透性测试指通过模拟恶意的方法来评估被测对象的稳健性。在此过程中可发现挖掘系统中存在的漏洞,知晓系统的安全隐患。渗透性测试可用来测试下一代IP网络核心主干的顽健性:例如常见的OSPF RFC2328,模拟发送错误报文,对整体网络架构的容错性进行验证。主干网的总体测评指标应包含:先进性(新型网络是否能在采用高速IP线路及交换技术下,与原有网络互联,并成功交换语音、图像等多种信息)、实用性(新型网络是否按照统一标准进行设计,并满足运营所必须达到的要求)、统一性(新型网络是否遵循统一标准,保证开放性)、可扩展性(新型网络是否能支持可扩充性和冗余性,充分留有扩展的余地)、安全可靠性和可管理性能(新型网络是未来公用带宽网络的重要组成部分,应保证整个系统的可管理性



和安全可靠性)。

5.6 规则微服务

规则微服务负责在通过测试模型时,协调多个微服务交互的机制。支持在进行测试时,实现不同微服务之间的自由搭配,并对测试数据进行统一处理。

每一条规则代表了一次完整的测试用例,对应在实际测试场景中不同的测试策略。规则微服务统筹其他几个测试微服务可产生许多实际生产测试中的重要功能,例如与安全微服务相统筹可以实现安全监测的报警测试,与渗透测试微服务相统筹可以构造错误报文,验证稳健性与容错性。

6 结束语

本文设计了一种基于下一代IP网络场景下的微服务架构测试框架。该测试框架能满足在新型网络技术发展的潮流下,业务场景的扩展能力。使用场景描述微服务可以对不同场景按照不同特征进行分类描述,生成具有针对性的、独特的场景测试微服务,有效解决了在未来网络发展趋势下网络传输、通信协议、海量终端等方面异构的特点。此外,基于微服务的测试框架,能大幅提升测试数据的处理能力,实现海量终端、可扩展的测试体系框架。总体测试框架在保障现有场景的测试能力下,综合未来新应用的业务能力的扩展性,充分考虑了下一代IP网络的多变性、灵活性以及复杂性,以便适应传统应用场景向未来新型业务场景演进时,在终端数量、场景特征、服务模式、性能要求上带来的变化,支撑实现创新的建设目标。

参考文献:

- [1] 刘韵洁, 黄韬, 姚海鹏, 等. 未来网络的研究进展与展望[M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2014: 132-173.
LIU Y J, HUANG T, YAO H P, et al. Research progress and prospects of future networks(2014)[M]. Beijing: Social Science Literature Publishing House, 2014: 132-173.
- [2] 裘晓峰. 基于 Web 资源的未来网络安全服务研究[D]. 北京: 北京邮电大学, 2014.
QIU X F. On security services of web resource oriented future network[D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2014.
- [3] 蒋林涛. 网络进入 5.0 时代 顶层设计必不可少[EB]. 2017.
JIANG L T. The network enters the 5.0 era, the top design is essential[EB]. 2017.
- [4] 李华, 叶新铭. 协议互操作性测试综述[J]. 内蒙古大学学报(自然科学版), 2008, 39(5): 590-596.
LI H, YE X M. A survey on protocol interoperability testing[J]. Journal of Inner Mongolia University (Natural Science Edition), 2008, 39(5): 590-596.
- [5] 袁利, 王磊. 星载软件可测试性设计方法[J]. 中国空间科学技术, 2010, 30(4): 31-37.
YUAN L, WANG L. Testable designing methods of Satellite Software[J]. Chinese Space Science and Technology, 2010, 30(4): 31-37.
- [6] KRYLOVSKIY A, JAHN M, PATTI E. Designing a smart city internet of things platform with microservice architecture[C]// 3rd International Conference on Future Internet of Things and Cloud (FiCloud 2015), Aug 24-26, 2015, Rome, Italy. Piscataway: IEEE Press, 2015.
- [7] SUN L, LI Y, MEMON R A. An open IoT framework based on microservices architecture[J]. China Communications (English), 2017(2).
- [8] 张圆冰. 基于微服务架构的自动化测试[J]. 电子技术与软件工程, 2019, 150(4): 135-136.
ZHANG Y B. Automated testing based on microservice architecture[J]. Electronic Technology and Software Engineering, 2019, 150(4): 135-136.
- [9] 王万金, 韩成柱. 一种基于场景的装备软件测试用例设计方法研究[J]. 舰船电子工程, 2018, 38(10): 139-142, 164.
WANG W J, HAN C Z. A method study based on the scene of equipment software test designing[J]. Ship Electronic Engineering, 2018, 38(10): 139-142, 164.
- [10] 金剑锋, 姚元, 王明晓, 等. 窄带物联网技术在现代城市精细化管理中的研究与应用[J]. 电信科学, 2018, 34(S2): 198-204.
JIN J F, YAO Y, WANG M X, et al. Research and application of narrowband internet of things technology in fine management of modern cities[J]. Telecommunications Science, 2018, 34(S2): 198-204.

- [11] 罗莹, 宋利, 解蓉, 等. 全景媒体的系统架构研究综述[J]. 电信科学, 2018, 34(2): 88-98.

LUO Y, SONG L, XIE R, et al. Review of system architecture of omnidirectional media[J]. Telecommunications Science, 2018, 34(2): 88-98.

[作者简介]



徐竞玮（1992-），女，复旦大学助理工程师，主要从事日志数据的采集与分析、网络性能优化测试及网络 5.0 等前沿研究相关工作。



沈敏虎（1986-），男，复旦大学工程师，主要从事网络建设与运维、网络性能优化测试、日志数据的采集与分析等相关研究工作。



应奕彬（1986-），男，复旦大学工程师，主要从事方向运维管理、无线网络建设与测试工作。



赵泽宇（1978-），男，复旦大学高级工程师，主要从事方向网络架构、网络管理与测试等方面的工作，主要研究方向为参与网络 5.0 等。



周伟强（1982-），男，复旦大学工程师，主要从事校园一卡通建设与管理、网络建设维护与测试工作，主要研究方向为智慧校园校园卡数据赋能、智慧支付等。