



5G 网络架构设计的 5 个重要问题*

段晓东, 孙滔, 陈炜, 韩小勇, 陆璐

(中国移动通信有限公司研究院网络技术研究所 北京 100053)

摘要: 5G 网络架构是当前国内外业界研究的重点, 虚拟化、云计算、软件定义网络(SDN)等技术的发展也使得蜂窝网架构的重新设计成为可能。从背景及需求出发, 提出了架构设计需要考虑的五大问题: 集中或分布、无线网与核心网定位、网络组织与编排、NFV/SDN 的影响、演进或颠覆。对影响上述问题的因素进行了初步探讨。

关键词: 5G; 网络架构; NFV; SDN; 虚拟化; 分组网演进

doi: 10.3969/j.issn.1000-0801.2014.10.019

Five Open Problems on Designing 5G Network Architecture

Duan Xiaodong, Sun Tao, Chen Wei, Han Xiaoyong, Lu Lu

(Department of Network Technologies, China Mobile Research Institute, Beijing 100053, China)

Abstract: 5G network architecture is an important topic in the industry. Virtualization, cloud computing and SDN are new technologies that enables innovative architecture design. Motivated from requirement, five key questions were listed: centralization or distribution, access network and core network convergence, network orchestration, NFV & SDN impact to the architecture, evolution or revolution. Some initial analysis was provided.

Key words: 5G, network architecture, network function virtualization, software defined networking, virtualization, packet network evolution

1 引言

随着 4G 网络商用部署规模的迅速扩展, 其对当前移动互联网产业及人们日常生活的影响得到进一步体现。5G 移动通信系统的研发随之被迅速提上日程, 5G 网络系统架构对网络功能、组织、管理等有着重要的影响, 成为研究的焦点之一。

从接入能力来看, 我国 IMT-2020 推进组在 2014 年 6 月发布的《5G 愿景与需求》白皮书^[1]中对 5G 网络愿景做了清晰的总结。提出了 5G 的关键需求和能力指标, 包括: 0.1~1 Gbit/s 的用户体验速率、每平方千米一百万的连接数密度、毫秒级的端到端时延、每平方千米数十 Tbit/s 的流量

密度、500 km/h 以上的移动性和数十 Gbit/s 的峰值速率。这些指标要求网络架构具备以下特性: 更扁平的架构、更快捷的内容分发、更灵活的网络编排、更简洁的移动性管理、更高效的资源管理、更安全的网络体系。

相对于接入网技术中 2G、3G、LTE 的变革, 核心网主要经历了 IP 化、控制和承载分离、分组化的变革。由于频谱资源稀缺以及频谱效率提升空间受限于香农极限, 业界逐渐认识到, 5G 需求的实现, 除了需要空中接口技术的突破以外, 网络架构的创新也是 5G 的关键推动力之一。为了满足 5G 网络速度更快、时延更低、连接更多、效率更高的愿景, 有必要对现有的网络架构、网元功能形态等进行全新的设计。

* 国家科技重大专项基金“新一代宽带无线移动通信网”资助项目“面向移动互联网的网络协同及融合体系与关键技术研究”(No.2013ZX03002002)

2 5G 网络架构研究现状

目前,国际上多个标准化组织都已经开始进行 5G 网络及其架构的研究工作。这其中,ITU(国际电信联盟)从 5G 愿景、需求、频谱等角度入手,NGMN(下一代移动通信网络)联盟从 5G 愿景、需求、架构、技术等多方面全面展开。欧洲在 2012 年成立了 METIS,并在 2014 年 2 月成立 5GPPP 项目。韩国成立了 5G Forum 项目,日本成立了 2020&Beyond Ad Hoc 项目。3GPP 作为移动网络标准最主要的制订方,5G 网络架构的设计将是其国际组织的重点工作,目前业界预期将在 R14 开始启动相关工作。我国 IMT-2020 网络技术工作组中的国内运营商、研究机构、设备商已经开始着手这方面的讨论。

从这些研究来看,目前 5G 的研究仍处于需求制定和空中接口技术攻关阶段,尚未提出明确的网络架构。但在 5G 架构设计的需求以及可能的技术方面,已经形成了一些共识。在需求方面,普遍将灵活、高效、支持多样业务、实现网络即服务等作为设计目标;在技术方面,SDN、NFV 等成为可能的基础技术,核心网与接入网融合、移动性管理、策略管理、网络功能重组等成为值得进一步研究的关键问题。

3 5G 网络架构需解决的关键问题

3.1 集中或分布的网络架构

集中与分布的网络架构一直是争论的焦点。二者在业界中的应用也是此消彼长,交替上升。从互联网角度来看,从最初的 C/S 到分布式 P2P 应用,再到云计算中心等,其看似不同的发展思路其实是业务发展及设备处理能力的限制所造成的。

以人为例,人本身是一个完美的集中控制、分布式处理和感知的系统。大脑负责对各个器官及肢体所收集的信息进行处理及管理。如果说之前的网络架构设计中由于设备处理能力的限制,不得不使用分布式处理的方式,那么云计算技术的发展将使得中心处理和优化成为可能。

Google 最新的“仙女座(Andromeda)”项目,采用集中控制的方式,提供虚拟网络服务,如图 1 所示。目前,Google 在全球约有 40 个数据中心。Google 杰出工程师 Amin Vahda 表示“已经看到逻辑集中及分层的控制与分布式的数据面比全分布更优”,并且“目前很确信,通过明智地发挥集中而不是分布式的管理方式,建设一个本质上

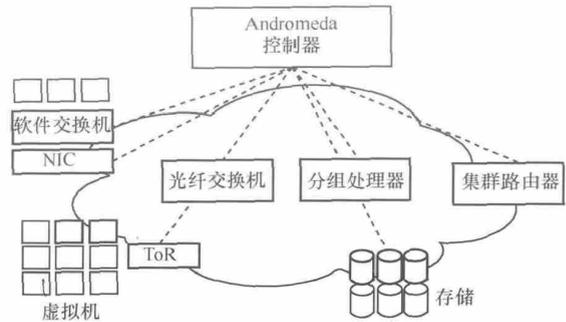


图 1 Google“仙女座”网络中的组网结构

更有效的系统”^[2]。Google 的几个关键服务系统均采用这种架构,如 GFS 数据处理平台、BigTable、B4WAN 网络。

借鉴 IT 公司的组网模式,无线网设计了集中式基带池的架构^[3],如图 2 所示。通过对无线网元间的协作化分析可知,BBU 的集中程度越高,实时处理效率就越高、协作化增益越大,更易减少重叠覆盖的干扰。另一方面,从传输来看,BBU 越集中对传输成本的要求也越高。无线网如此,核心网的控制与转发也是如此。

网络架构的设计是计算、优化及传输成本的折中。5G 网络架构是采用集中式架构还是分布式架构,以何种程度集中控制或分布化,是 5G 架构设计需要考虑的问题。

3.2 接入网及核心网的界限

“无线接入网”+“核心网”是移动网的传统架构,网络架构总体向着简化、扁平化的方向演进。接入网按照不同阶段有 2G(GERAN)、3G(UTRAN)、LTE(E-UTRAN)之分;而核心网又有电路交换核心网(CS 域)、分组核心网(PN 域)、IMS 核心网之分。对接入网来说,不同阶段除了空中接口革新外,其架构也更加扁平化,LTE 网络中的 Node B 节点与 RNC 节点融合为单一的 eNode B 节点^[4]。核心网经历了从仅有电路域,到电路域与分组域并存,再到仅有分组域的变化历程。但到目前,移动网络一直延续着无线接入网+核心网的分层架构。

事实上,网络扁平化的研究中,已经对接入网和核心网的功能融合有所讨论,如业界曾经设计和实现的“三合一”、“四合一”节点等^[5]。目前无线接入网和核心网的功能已经有了融合的迹象。

IP 化、扁平化使得核心网的功能开始融入接入网。以本地 IP 接入(local IP access, LIPA)和中继(relay)为代表的技术,将核心网的功能进行了融合。在 LIPA 架构中,PGW 的功能被集成在 HeNB 上,实现了地址分配、路由的核心

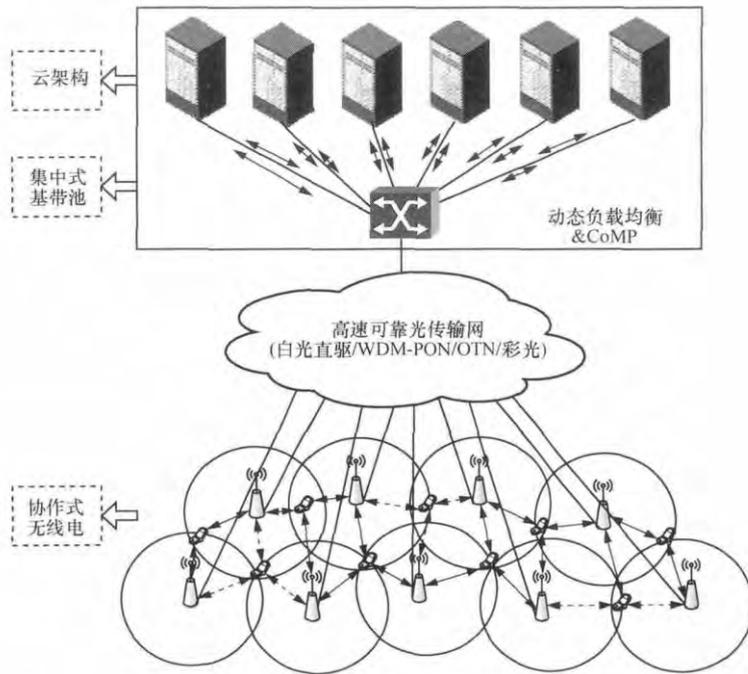


图2 C-RAN集中式基带处理的接入网架构

网功能与无线接入功能的融合。而在3GPP R10定义的中继功能中,为中继节点提供接入的DeNB是具有核心网功能的三合一节点,对中继来说它是一个基站,且同时集成中继节点的SGW及PGW功能。

集中化、虚拟化将使得接入网的功能上移到核心域。接入网功能上移最主要的驱动力是集中处理和优化需求。以C-RAN为代表的网络架构,其基带处理等计算工作可在IT数据中心进行,这使得其与核心网控制面共享计算资源成为可能。此外,接入网的连接管理、协议和信令、SON的功能可上移,与核心网的移动性管理及连接管理功能融合优化。

5G网络架构中,接入网和核心网以何种形式存在,甚

至是否还存在核心网、是否还有接入网和核心网的区分,这是有待研究和回答的问题。

3.3 实现网络构建或功能配置

5G时期,蜂窝网和生产生活中的各领域结合得更广泛,物联网、企业网、高铁、露天集会、超高清、3D、增强现实、云桌面等越来越多的应用场景和业务形式将成为可能。这些业务和应用场景的特性不同,对网络的要求也有巨大的差别,如何以更灵活的方式组网以满足每种场景的需求,是网络架构设计面临的重要挑战。

按需实现网络架构的灵活构建和功能配置或许是解决此问题的技术路线之一。图3给出了相关的示例。

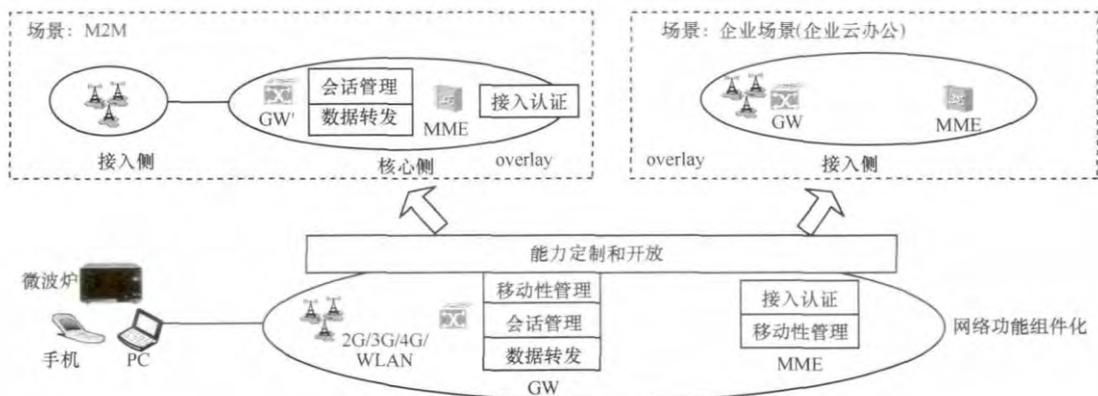


图3 定制网络架构、配置网络协议及工作模式

(1) 灵活的组网实现网络的定制化

企业网要求提供“本地”硬盘式的用户体验,要求网络提供低时延、高带宽和私有网络的保证。移动性管理、地址分配、流量管理等可在接入侧以专网的形式实现,从而降低回传网时延,并实现流量本地分流,可直接访问本地办公网。无线侧通过启用较低重传次数等工作模式实现低时延,从多接入点获取数据,实现高带宽。

(2) 进行针对性协议优化,实现协议的定制化

物联网(M2M)、智能家居场景对网络的需求可能是极低移动性、大用户量、低速率、高节能。可针对性地进行协议的裁剪,实现轻量级的移动性管理、连接管理,实现协议的定制化。无线侧从单接入点获取数据。

到底是采用网络定制还是协议定制,是通过网络功能的组件化实现网络的按需构建,还是通过协议裁剪实现网络协议配置的定制化,需要架构上系统的协同设计。

3.4 NFV 和 SDN 对架构产生的影响

近年来,NFV 及 SDN 成为业界关注的热点,也被认为是 5G 网络中对网络架构产生影响的主要技术驱动力。它们是否会对架构产生颠覆性的影响,产生何种影响;对网络影响的深度和广度如何,这些都是网络架构研究中需要着重探讨的课题。

3.4.1 NFV 颠覆网元形态,实现网络功能可编程

电信级设备的高可靠、高性能要求,使得其设备形态传统上较为封闭,不同厂商的设备平台种类繁多,软件与硬件紧绑定,不支持跨网元、跨厂商的硬件共享。

NFV 的思路是硬件平台采用通用服务器,其上运行虚拟化软件并生成虚拟机,网元以软件的形式运行在虚拟机中。采用这种架构,网络建设者只需维护一个统一的虚拟化平台,新增网元或者网元升级体现为新虚拟机的导入和虚拟机中软件版本的变更。由于虚拟化技术屏蔽了底层物理平台的差异性,跨网元、跨厂商的硬件资源共享问题迎刃而解。同时,依赖虚拟机的动态迁移、动态生成等特性,结合对虚拟化平台的智能管理,能够根据业务量的变化实现对网元的动态扩容、缩容,从而实现对硬件资源更高效的利用。

正是看到了 NFV 所带来的优势,运营商和设备商均将 NFV 视为未来网络发展的关键特性,并纷纷展开系统的研发和测试工作^[6]。但目前,业界更多的是直接将原有的网元运行在虚拟机软件之上,还并未对网络架构产生影响。未来,随着 NFV 标准、技术、产品的成熟,NFV 技术或

将对网络架构的设计产生深远的影响,具体说明如下。

- NFV 使平台成为架构设计的一部分。传统网络的架构设计仅考虑网元功能及网元之间的连接,很少将运行网元的物理平台作为架构设计的一部分,而引入 NFV 后,为了实现 NFV 所带来的诸多优势,需要考虑平台与管理系统之间、平台与网元软件之间的信息交互,网络设计者不得不将平台作为架构设计的一部分。
- NFV 可能改变传统的网络机制。举例来说,EPC 网络中的 MME pool 机制能够实现容灾及负载均衡机制,然而,采用 NFV 技术能够在虚拟层实现容灾及负载均衡,这使得网络设计者在设计网络架构时需要考虑虚拟机的容灾及负载均衡能否取代传统的 pool 机制。
- NFV 将改变网元的生成形式。NFV 的管理与编排机制能够随时创建、删除与配置网元,使得设计者可以考虑更加动态、灵活、智能的网络架构,如对网元功能按需生成并重组。

3.4.2 SDN 改变传统网络设计模式,实现网络连接可编程

2007 年斯坦福大学提出 SDN 的概念,SDN 旨在实现路由转发设备中控制和转发功能的分离,采用全局集中式路由计算,可高效调度全网资源,灵活地提供虚拟网络连接,提升网络虚拟化能力。SDN^[7]自提出以来,得到产业界极大关注,2011 年 ONF (Open Networking Foundation) 成立,实现 SDN 南向接口 OpenFlow 协议的标准化;2012 年 4 月 Google 宣称 IP 骨干网已经完成基于 SDN 架构的改造,使带宽利用率从 40% 提升至近 100%。

SDN 的控制和转发分离、集中控制的理念,将影响 5G 网络架构的设计及网元形态的重构。对移动分组网络而言,分组网关同时具有控制面功能和用户面功能,这种功能的紧耦合使得网元升级和组网的灵活性不高,并带来额外的开销,比如,当控制功能集中而分组网关下沉时,将带来信令的长距离交互。SDN 控制和转发分离的理念,有助于分组网功能的重构及简化。此外,通过 SDN 集中控制网络连接,可实现网络功能组合的全局灵活调度,包括移动分组网络的功能(移动性管理等)、流量处理能力(视频优化、URL 过滤等),进而实现网络功能及资源管理和调度的最优化,如图 4 所示。目前该工作以 Gi-Service Chain 的方式正在 3GPP 进展中^[8]。

3.5 IMT-2020(5G)的架构是演进还是革命

移动网全球漫游、无缝部署、后向兼容的特点,决定了

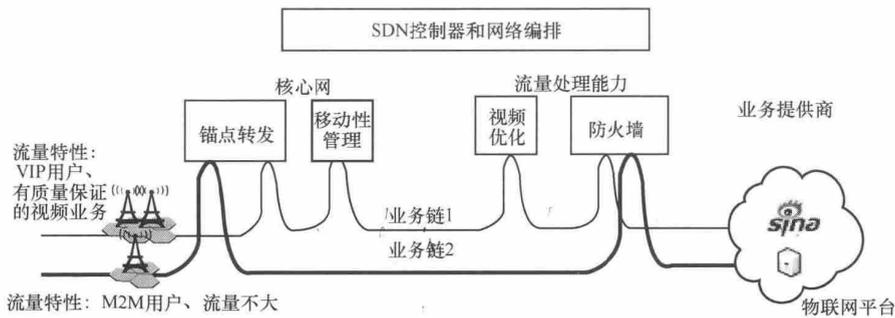


图4 SDN实现网络功能的灵活组合

5G 架构的设计不可能是“clean slate”的全新架构,但以何种方式发展,是简单演进还是有本质的变革值得研究。

- 运营商有内在网络架构革新的驱动力。OTT 的挑战及对新业务、新增长点的渴求,驱动移动运营商对网络进行重新设计。通过灵活开放的架构,提供新的网络及业务能力,以满足业务和用户的需求,从而实现 ARPU 值的不断增长。
- 技术发展的速度影响其在网络架构中采用的程度。NFV、SDN、多接入网融合、数据和信令解耦等新技术理念各有优势,但其发展进程各有不同,如标准化的进展和成熟度,芯片、终端、设备硬件及软件等产业的发展及支持成熟,关键技术的解决情况等,这些都将影响它们在 5G 网络架构中的应用。
- 产业链的支持具有极其重要的影响。新的架构及网元形态意味着对原有网元部署、实现、管理和维护的革新,这蕴藏着巨大的机会但同时也面临巨大的挑战。传统设备商、通用芯片厂商、IT 厂商、软件服务商都将在这个过程中寻找新的定位。

5G 网络架构是 3G/4G 网络的一种演进还是一种变革,将取决于运营商和用户需求、产业进程、时间要求和各方博弈等多种因素。

4 结束语

5G 技术的研究正全面展开,而网络架构作为整个系统的基础,无疑对 5G 研究具有基础性的意义。起源于 IP 网领域中的 NFV 和 SDN 将如同 IP 技术一样,再一次给移动通信网带来架构上的深刻变化。目前 5G 网络架构的研究尚处于初期阶段,本文对架构设计中的 5 个关键问题进行了分析和总结,希望引起业界对该方向研究的持续关注 and 思考。事实上,在 5G 网络架构的设计中,将必然存在其他问题也对网络的设计产生重要影响,随着

讨论的不断持续和深入,未来网络架构将逐渐清晰地呈现在人们面前。

参考文献

- 1 IMT-2020 (5G) 推进组. 5G 愿景与需求, 2014
- 2 Morgan T. Google lifts veil on “Andromeda” virtual networking. <http://www.enterprisetech.com/2014/04/02/google-lifts-veil-andromeda-virtual-networking>, 2014
- 3 Chih-Lin I, Rowell C, Han S F, *et al.* Toward green and soft: a 5G perspective. *IEEE Communications Magazine*, 2014, 52(2)
- 4 3GPP TS 23.401. General Packet Radio Service (GPRS) Enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) Access, 2013
- 5 徐峰, 严学强. 全扁平化移动网络架构的研究. *移动通信*, 2011(2)
- 6 ETSI. Network Functions Virtualization-Introductory White Paper. http://portal.etsi.org/NFV/NFV_White_Paper.pdf
- 7 3GPP TR 22.808. Study on Requirements for Flexible Mobile Service Steering, 2014
- 8 CCSA TC5. 移动软网络需求及架构(SAME)研究, 2013
- 9 陈炜, 韩小勇, 尼凌飞. 移动核心网应用 NFV 的关键问题探讨及实践. *中兴通讯技术*, 2014, 6(3)
- 10 Software-Defined Networking: the New Norm for Network. ONF White Paper, 2012
- 11 Bertenyi B. 3GPP TSG SA Chairman. 3GPP system standards heading into the 5G era. http://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1614-sa_5g

[作者简介]



段晓东,男,中国移动通信有限公司研究院网络技术研究所所长,从事多年 IP 承载网络、下一代互联网、数据业务管理及移动互联网的研究开发工作。

(下转第 150 页)

将类似以上的条件规则进行结构化处理,可以形成规则表,见表3。结构化的规则表便于通过数据库表来进行存储。

4 结束语

在综合资源管理系统建设中,会碰到三大技术难题,一是要解决处理海量关系型数据的性能问题,二是要解决成千上万用户的实时并发处理能力问题,三是要解决资源配置规则复杂多变、相互作用的问题,导致需求管理复杂、开发速度慢、测试工作量大。前两个难题通过数据模型的设计,已经有了很好的解决办法。对于第3个难题,目前一直困扰着业务部门和系统开发部门。在面向资源自动配置的过程中,市场要求资源配置规则经常变化,因此要求资源系统必须具备提供依据业务规则快速变化、低成本更新规则的能力。

本文所述的有线接入型业务配置规则及技术实现方法的研究是在解决这一问题方面的有益尝试。通过配置规则的分离、引入规则引擎技术,业务人员如果能直接管理资源系统中的配置规则,对配置规则进行可视化管理,可以减少程序开发人员参与,实现既快速响应配置规则变化、提高系统性、减少测试工作量,又能够归纳出运维资源配置的经验库的目的。

从实践结果上看,引入规则技术上是可行的,这对于未来资源系统建设和实施具有指导意义。

参考文献

- 1 中国电信股份有限公司上海分公司. 业务资源派配规则及优先级原则, 2013
- 2 Rupp N A. The logic of the bottom line: an introduction to the drools project. <http://www.theserverside.com/news/1365158/An-Introduction-to-the-Drools-Project>, 2004
- 3 Schneier B. The rete matching algorithm. <http://www.drdoobs.com/architecture-and-design/the-rete-matching-algorithm/184405218>, 2002

[作者简介]

殷洁,女,中国电信股份有限公司上海分公司网络资源中心高级网络工程师,主要研究方向为网络资源管理、资源调度算法、光传送网络管理。

包晶晶,女,中国电信股份有限公司上海分公司网络资源中心助理工程师,主要研究方向为接入网资源管理、业务调度、系统需求分析。

申文俊,男,中通服软件科技有限公司研发中心主任,主要研究方向为电信 OSS 域、软件工程。

彭志婷,女,现就职于中国电信集团公司企业信息化事业部 IT 运营中心,主要研究方向为电信 OSS 域、资源数据模型、系统需求分析。

(收稿日期:2014-09-10)

(上接第 133 页)



孙滔,男,中国移动通信有限公司研究院网络技术研究所项目经理、高级工程师,主要从事移动互联网架构、移动核心网演进、WLAN 与蜂窝网融合、网络功能虚拟化、Nanocell 等方面的研究工作。



韩小勇,男,中国移动通信有限公司研究院网络技术研究所项目经理、中级工程师,主要从事分布式业务网络及网络功能虚拟化技术及标准的研究工作。



陈炜,男,中国移动通信有限公司研究院网络技术研究所项目经理、中级工程师,主要从事 P2P 流媒体、内容分发及移动核心网的网络功能虚拟化技术及标准的研究工作。



陆璐,女,中国移动通信有限公司研究院网络技术研究所技术经理、中级工程师,主要研究方向为移动网架构演进、协议优化、电信网码号、业务优化等。

(收稿日期:2014-08-05)