



通信网管系统云化部署及迁移问题研究

宋阿芳, 林 联, 王发光

(中国电信股份有限公司上海研究院 上海 200122)

摘 要:结合通信网络管理系统的现状和云计算技术,分析了现有网管系统在服务器硬件类型、存储方式、特殊外设、容灾等方面的云化相关特征,剖析了通信网络网管系统向云计算网络迁移或部署过程中的部分关键问题,探讨了系统资源分配的具体计算方法、系统扩容参考系数、Oracle 数据库云化关注点、系统双机灾备、系统同城/异地灾备在云中的解决方式,对满足或部分满足云化的不同网管系统提出了系统云化迁移方案。

关键词:网络管理系统;云计算;部署;迁移

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2015060

Research on Migration or Deployment of Telecom Network Management System on Cloud Computing Network

Song Afang, Lin Lian, Wang Faguang

(Shanghai Research Institute of China Telecom Co., Ltd., Shanghai 200122, China)

Abstract: According to the present situation of cloud computing technology and communication network management system, the existing network management system on the server hardware type, storage mode, special peripherals, and disaster recovery aspects of clouding related features were analyzed. Some key problems of system migration or deployment process on cloud computing network were analyzed. The specific method of system resources distribution and calculation, expansion reference coefficients, Oracle database cloud concern points, double disaster recovery system, same city or remote cities disaster recovery systems in cloud solutions were explored. A cloud migration scheme of fully meet or part to meet network management systems was proposed.

Key words: network management system, cloud computing, deployment, migration

1 引言

云计算技术发源于搜索引擎平台,是互联网企业在创业阶段为了追求低成本、高性能以及资源灵活分配与应用快速部署而开发的一种 IT 系统实现技术,它将大规模低成本运算单元通过 IP 网络连接,以提供各种计算服务。云计算系统具有大规模、平滑扩展、资源共享、动态分配等特征。

云计算的起源与特征也极大地符合运营商内部各类支撑系统优化资源、降低成本、快速部署、切入业务、节能减排的目标。国内主要运营商都已经开展云化 BOSS 的工作,并不断尝试云计算、虚拟化等新技术,采用逐步云化的策略,从网管系统在主机层面的“虚拟化”,逐渐到加强其后台系统“存储资源池”和“平台资源池”的搭建工作。通信网络网管系统是通信运营商运维支撑系统重要的组成部

收稿日期:2014-07-21;修回日期:2015-02-26

论文引用格式:宋阿芳,林联,王发光. 通信网管系统云化部署及迁移问题研究. 电信科学,2015060

Song A F, Lin L, Wang F G. Research on migration or deployment of telecom network management system on cloud computing network. Telecommunications Science, 2015060

分之一,长期以来一直以传统的竖井式(Silo)建设,是对各网络及平台重要的维护管理技术手段。目前,各大运营商不约而同地利用云计算的强大计算能力,在云上建设专业融合的、具有端到端监控和分析能力的网管体系。网管云化研究以运营商云计算发展为契机,提出网管类系统在云上部署或原网管系统向云上搬迁的方法,实现网管系统的节能减排、快速部署、高效运维,促进网管系统平稳地由分网、分段、分层的三分现状,向扁平化、智能化、集中化的智能型网管系统过渡。

2 网管系统云化特征

网管系统用于监测、控制和记录通信网络资源的性能和使用情况,以使网络有效运行。传统电信运营商一般均具有多套网管系统,采用烟囱式建设方式,分别运行在多个网段。如果将传统网管向云资源池迁移,其云化特征如下。

- 系统服务器是否支持云化:系统服务器一般包括应用服务器、数据库服务器、存储服务器等,由于部分小型机采用了特别的硬件板卡等,因此部分小型机如 HP、SUN 等一般不能云化。传统网管系统由于历史原因,中小型机占比较高,甚至达到 50%以上,因此对小型机需要逐一进行分析,不支持云化的小型机网管可考虑网管其他组件云化或系统整体暂缓云化。
- 云化存储方式:传统网管系统中半数系统无独立的存储服务器,与应用服务器合一。主要采用的存储类型为 DAS (direct attached storage, 直接连接存储)、SAN (storage area network, 存储区域网络)、NAS(network attached storage, 网络连接存储)。厂商网元网管系统存储方式以 DAS 为主。一般的综合类网管或专业网管中以 SAN 为主。
- 特殊外设 (加密狗、Ev-Do 卡、特殊的语音板卡或加密卡)、专用设备(排队机、LNS 设备、工控机)等由于硬件特殊性,不支持云化。传统网管以监控为主,特殊外设较少。
- 容灾备份在云中的实现:网管系统的主要服务器(如应用服务器等)大多采用双机备份机制,因此云化中应考虑双机容灾部分。

3 技术关键点

根据以上特征分析,网管的云化应主要考虑资源的分配及扩容、数据库的云化以及容灾备份。

3.1 资源分配及扩容

3.1.1 CPU 及内存资源的分配

资源的分配根据实际情况分为以下两类。

- 网管系统迁移到云:按总量进行毛估。参照原系统的资源实际使用情况,按相应比例(通常可以根据业务量、用户量、发展趋势)可估算出其在云中所需的 CPU、内存、存储各类资源。多个网管系统迁移时的资源可通过累加进行估算。
- 在云内新建网管系统:根据 TPC-C 算法估算其 CPU 资源;根据 CPU 及内存的比例计算所需内存;根据系统预期的数据估算存储资源。

(1)CPU 资源计算方法

TPC-C 计算:选取网管系统操作比较集中的 1 h 内进行计算,而在这段时间的峰值量为平均值的 F 倍。在这 1 h 内,假定有 A_1 、 A_2 、 A_3 3 类操作(如告警、性能、配置等的读写),分别执行了 N_1 次、 N_2 次、 N_3 次,分别需要耗时 T_1 min、 T_2 min、 T_3 min,分别相当于 M_1 个、 M_2 个、 M_3 个基准测试程序。考虑到系统的扩展性,平常只使用系统资源的 $E\%$,因此该系统需要的 CPU 资源 $tpmC = \sum_{k=1}^3 N_k \times M_k / T_k F / (E\%)$ 。

根据 TPC 国际组织公布的机型的 TPC-C 值,计算出系统 CPU 配置方案:某机型 CPU 的基础值=TPC-C 值/CPU 路数/CPU 核数/单核 CPU 主频数(MHz);系统的 CPU 配置路数=向上取偶数整(系统的 TPMC/该机型 CPU 的基础值/单核 CPU 主频数(MHz)/CPU 核数)。

(2)内存资源配置

系统内存与 CPU 核数至少按 4:1 配比,建议按更高比例配置。对于一路、两路 CPU 机型,内存配置要求是 3 的倍数,如 6 GB、12 GB 等;对于 4 路以上 CPU 机型,内存配置要求是 4 的倍数,如 4 GB、8 GB、16 GB 等。

3.1.2 存储资源配置

(1)网管存储层需求分析

网管系统存储服务层是数据中心的核心,负责网管系统所有业务相关数据的持久化存储。根据网管需求,在该层中应具有如下数据库。

- 关系数据库:用于存储结构化的、数据量不大、关系复杂、访问频度较高、并发量较大、对实时性要求较高的数据,如告警数据、性能数据、统计数据等。
- 内存数据库:用于提高并发访问量及相应速度,主要存储并发访问量大、访问频度高、实时性要求高



的数据,如告警数据、统计分析结果数据等。

- 海量数据库:如历史告警、历史性能、话单、信令、日志、流量等数据。为网管的统计分析、数据挖掘、历史数据查询提供数据源。建议采用 SPARK、Hadoop/MongoDB 存储。

(2)网管云化存储方式建议

目前存储资源池总体上可以分为集中式存储和分布式存储。集中式存储按照技术架构可分为 SAN 和 NAS,其中 SAN 又可细分为 FC SAN、IP SAN、FCoE SAN。目前 FC SAN 和 IP SAN 技术都已经比较成熟,FC SAN 性能最好,但相对成本较高,需要建设单独的光纤存储网络;IP SAN 成本较低,但性能相对 FC SAN 较低;FCoE SAN 目前还处于发展初期。分布式存储价格低,作为资源池所承载平台的海量数据存储和对外出租使用。

根据网管特性,推荐全国级别网管平台的关系型数据库采用 FC SAN(配置 FC 或 SAS 磁盘),采用 Raid0+1 冗余保护方式,关键数据可采用磁带存储进行备份;推荐省级网管平台的关系型数据采用 FC SAN(配置 SATA 磁盘)或 IP SAN,采用 Raid5 冗余保护方式;对于分布式数据库 Hadoop/MongoDB,其存储推荐采用分布式存储资源池。

3.1.3 带宽

根据管理系统应与被管对象网络带宽物理上相隔离的实际部署经验,建议网管系统与业务平台或其他系统在网络部署时选用不同的物理端口,即优选采用物理带宽独享的方式,次选调高虚拟网卡优先级的方式。

- 物理带宽独享的方式:虚拟机的虚拟网卡支持不经过 VMM 实现与特定物理网卡的绑定,即虚拟网卡流量直接流至物理网卡制定端口,独享该端口资源。
- 虚拟网卡优先级方式:各虚拟机的虚拟网卡应至少具备高、中、低 3 个优先级,具备不同等级的虚拟网卡对物理网卡资源的抢占能力有差异。

以上方式保证其他应用和网管在资源上不共享。特别是对于数据库服务器来说,物理带宽独享的方式能够很大程度地缓解高 I/O 带来的数据阻塞。

3.1.4 资源扩容

在实际使用中,内存、存储资源利用率较高,这是引起业务性能急剧下降的重要瓶颈,应及时扩容。根据经验数据,若云整体物理资源的 CPU 利用率达到 80%、内存利用率达到 80%、存储利用率达到 60%,应进行相应资源的扩容。

3.2 数据库的云化部署

Oracle RAC 方式的数据库由于 I/O 性能要求较高,一般不建议部署在云上。如果确实需要云化,则可将数据库 Oracle RAC 物理机集群云化为 Oracle RAC 虚拟机集群,并注意如下问题:

- 数据库 Oracle RAC 的每个节点位于不同的 ESXi 主机上,通过 DRS Affinity 设置 RAC 各节点互斥运行在独立的 ESXi 主机上;
- Oracle RAC 的私网应使用独立 VLAN (virtual local area network,虚拟局域网),该 VLAN 只有各 RAC 节点可以访问;
- VMware 管理网络、vMotion 网络、Oracle RAC 私网与公网应分别使用独立的物理网卡;
- 存放数据库文件的共享存储 LUN 应保证高性能(使用多个磁盘组成的独立 RAID 组),同时存储本身性能也应有保证,可以结合 Storage DRS 功能实现存储卷负载均衡;
- ESXi 主机和虚拟机都应使用同一个 NTP(network time protocol)服务器实现时间同步,并且在虚拟机使用了 NTP 服务器后应当禁止使用 vmtools 的时间同步功能;
- 使用 VMware 虚拟并行控制器(默认 LSI logic 并行控制器)连接共享 RDM 磁盘可提高 I/O 性能,需要安装 vmtools;
- 安装 vmtools,使用 vmxnet3 网卡可提高网络性能,默认为 E1000 网卡。

3.3 容灾备份

3.3.1 网管系统双机容灾备份在云中的解决方式

双机系统在云计算技术中主要有如下 3 种解决方式。

- 方式一:用云计算技术本身提供虚拟机的迁移替代双机模式。但由于虚拟机的重启会带来服务中断,因此对于允许短暂业务中断间隔(业务中断间隔=虚拟机系统启动时间+应用启动时间,虚拟机系统启动时间通常为 60 s 以上)的业务,可以考虑用虚拟机镜像+迁移来替代原双机模式。
- 方式二:在云计算资源池上提供虚拟机双机主备冗余方式。主备冗余通过在双虚拟机上采用心跳工具来监控应用,并实施双机切换,其中心跳工具监控主用虚拟机系统的链路运行状态,并实时向备用虚拟机同步数据,以保持主备双机同步运行。一旦主

用虚拟机出现异常,便通知备用虚拟机立即接管业务,并将浮动 IP 地址捆绑到备用虚拟机,从而让备用虚拟机对外提供业务。

现网网管系统中主要的服务器大多采用双机主备系统,兼顾网络安全性与云资源池实际建设情况,网管系统的主要服务器等设备建议采用方式二的虚拟服务器双机方式。

3.3.2 网管系统同城/异地容灾备份的实现方式

目前广域二层互联的标准还未统一,且整个业界缺乏典型的成功案例。虚拟化软件实时迁移对传输时延的严格要求(一般要求 200 km 以内,超过 400 km 就不可能满足要求)也使得跨数据中心的实时迁移最合适的应用场景局限于同城范围内。

对于网管全国级节点来说,建议“两地三中心”的容灾方案。全国级节点建立基于数据同步的同城灾备,如果节点组成异地互备节点,则可能达不到实时要求;省级节点根据恢复时间要求自行选择同城或异地灾备方式。“三中心”是指生产中心、同城灾备中心、异地灾备中心。

- 生产中心:“三中心”的主中心,是系统运行的主节点。
- 同城灾备中心:灾备中心与生产中心处于同一个城市内,通过存储的同步远程复制功能将数据同步复制到灾备站点,确保生产中心和同城灾备中心的数据完全一致。灾难情况下可在基本不丢失数据的情况下进行应急切换,保持业务连续运行,但无法应对区域性的灾难风险。
- 异地灾备中心:灾备中心与生产中心在不同的城市,使用存储的异步复制功能,定期将数据通过广域网复制到远端的灾备站点,并且保证数据的完整性和可用性。异步复制支持增量复制方式,可以节省数据备份的带宽占用,缩短数据的备份时间。当同城的双中心全部出现故障后,可以确保在异地有一份完整的数据备份,用于后续业务的恢复。灾难恢复速度与数据保障能力略低,但可应付广泛的灾难风险。

从节点安全性上考虑,单节点应能够接管业务最大负荷,即一旦主节点双机均异常工作后,业务量需要完全切换到网管系统备份节点时,备份节点应具备承担完全业务负荷的能力。因此,要求备份节点的运行能力和主节点应一致。

4 系统云化迁移方式

根据网管是否具备完全迁移到云网络的条件,可将原

有网管系统的迁移分为完全迁移和部分迁移两种。

4.1 完全迁移

如果网管具备完全迁移到虚拟资源池上的条件,即不存在无法云化的小型机,则按以下步骤进行迁移。

(1)资源池管理员在虚拟资源池上按网管系统要求部署虚拟机、安装操作系统、划分存储、配置网络。

(2)网管系统维护人员或集成商安装第三方软件、应用软件、环境配置。

(3)在原有业务系统 SAN 交换机与资源池 SAN 交换机之间建立部分迁移光纤通道,进行业务数据的同步与复制,或者用人工方式在夜间或业务量较小时段进行停机的数据复制。

(4)充分测试验证后,新系统上线。

4.2 部分迁移

4.2.1 场景一

此场景下数据库服务器由于采用小型机而无法迁移到统一资源池上,应用服务器、接口机等可以迁移到虚拟资源池上。因此,需要同时考虑平台内部互访流量以及外部访问流量两个需求。

(1)内部采用二层互联

部分业务系统由于软件架构原因,其内部互访问必须采用二层互联方式。这种方式比较简单,对原有系统的改动最少,应用软件基本无须调整,但也存在以下缺点:原有业务系统自身的 IP 地址规划、VLAN 规划会影响统一资源池的规划;层广播风暴的延伸会对资源池网络性能产生影响。具体实现方式如下。

- 汇聚交换机之间二层直接互通:在原有网管系统汇聚交换机与虚拟资源池汇聚交换机之间建立二层直达链路。
- 通过 VPLS (virtual private LAN service,虚拟专用局域网业务)实现二层互通:如果两个机房之间光纤资源难以协调,可采用 VPLS 等二层 VPN 方式,与直接互通方式区别不大,需要在两个机房的出口路由器上进行 PE 的设置。

(2)内部采用三层互联

三层互联的时延虽然稍高于二层互联,但对两个机房的 IP 地址、VLAN 规划等没有影响,也没有广播风暴的问题,比较适合于跨机房的广域互联。具体实现方式如下。

- NAT (network address translation,网络地址转换)方式:通过机房内的防火墙、负载均衡器等设备将



系统内部私网地址通过 NAT 方式转换成可路由的网络地址。考虑到 DCN (data communication network, 数据通信网络) 的网络质量及可靠性有较高保障, 以 DCN 作为承载网络。这种方式主要有以下缺点: 一般业务系统仅对外接口占用少量 DCN 地址, 而此方式每台需要互联的服务器均需要一个 DCN 地址, 占用了大量的 DCN 地址; 对 NAT 的防火墙、负载均衡器造成一定负担。

- 三层 VPN 方式: 首选基于 CN2 的 MPLS(多协议标记转换) VPN 方式, 但这种方案的局限性在于 CN2 的 VPN 由集团统一管理, 申请、开通、配置的流程较长, 且各省网管系统众多, 均通过 CN2 的 VPN 方式承载会带来管理方面的问题。

其他可选的三层 VPN 方式如下。

- 基于 DCN 的 GRE VPN, 现有 DCN 没有部署 MPLS, 因此可以考虑 GRE 等其他 VPN 方式。
- 基于专网的 MPLS VPN, 如果省内网管系统机房相对比较集中, 可以考虑在几个网管系统机房与虚拟资源池机房之间新建一张 MPLS VPN 专网, 用于承载部分虚拟化平台之间的内部流量。

(3) 外部访问流量及迁移步骤

在部分迁移的场景一中, 外部访问流量的迁移步骤如下:

- 迁移完成后, 外部访问流量均通过虚拟资源池的网络接口进入;
- 资源池管理员在虚拟资源池上按网管系统要求部署虚拟机、安装操作系统、划分存储、配置网络;
- 网管系统维护人员或集成商安装第三方软件、应用软件、环境配置;
- 配置原有业务系统与虚拟资源池之间的二/三层内部数据通道;
- 新业务系统进行测试验证, 原有业务系统并行继续提供服务, 并行期建议在半个月以上;
- 充分测试验证后, 通过修改 DNS 或 IP 地址、端口等方法更改用户及相关系统的指向, 使得全面指向新系统。新系统正式上线运行。

4.2.2 场景二

此场景下负责外部接口的应用服务器平均分布在原网管系统和虚拟资源池上。每台应用服务器都需要直接对外提供服务, 需要考虑如何将外部访问流量平均分布在各台应用服务器上。利用平台内部互访通道和跨机房的负载

均衡交换机, 通过智能 DNS 或利用负载均衡交换机实现业务处理的负载分担。由于负载均衡交换机上可选策略比智能 DNS 更丰富, 因此推荐采用负载均衡交换机实现业务处理的负载分担。

5 结束语

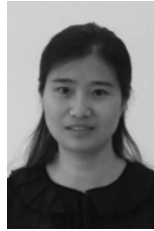
本文从电信网络网管系统及云计算技术特征出发, 提出了智能型网管的云部署和原有网管云迁移方面的切实可行的方法, 以保障网管系统在云化过程中稳定运行和健康发展, 并作为通信运营商各级网络运行维护部门及维护人员在网管系统云化方面的技术参考。随着智能型网管系统的建设发展, 还需要在大型数据库的云化、云安全等方面做进一步探讨。

参考文献

- 1 李卫, 李济汉, 张云勇等. 电信运营商云计算体系架构思考. 电信科学, 2013, 29(3): 123~127
- Li W, Li J H, Zhang Y Y, *et al.* Study on cloud computing architecture for telecom operators. Telecommunications Science, 2013, 29(3): 123~127
- 2 徐宗标. 存储系统数据迁移方案分析. 电信技术, 2014(1): 32~34
- Xu Z B. Analysis of storage system data migration solution. Telecommunications Technology, 2014(1): 32~34
- 3 杨岳湘, 邓文平, 邓劲生等. 基于云存储的网盘系统架构及关键技术研究. 电信科学, 2012, 28 (10): 68~72
- Yang Y X, Deng W P, Deng J S, *et al.* System architecture and key technology of network disk based on cloud storage. Telecommunications Science, 2012, 28 (10): 68~72
- 4 张式勤, 徐越人. 跨数据中心大型双活 x86 虚拟化资源池的研究与实践. 电信技术, 2014(11): 40~43
- Zhang S Q, Xu Y R. Research and practice of cross data center large double live x86 virtual resource pool. Telecommunications Technology, 2014(11): 40~43
- 5 李洪, 周文红, 渠凯等. 云存储技术在政企信息化建设中的应用. 电信技术, 2013(7): 16~19
- Li H, Zhou W H, Qu K, *et al.* Application of cloud storage technology in the enterprise informationization construction. Telecommunications Technology, 2013(7): 16~19
- 6 赵立威, 方国伟. 让云触手可及: 微软云计算实践指南. 北京: 电子工业出版社, 2010
- Zhao L W, Fang G W. A Practical Guide to Microsoft Cloud Computing. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2010
- 7 吴朱华. 云计算核心技术剖析. 北京: 人民邮电出版社, 2011

- Wu Z H. Cloud Computing Core Technology Dissecting. Beijing: Posts & Telecom Press, 2011
- 8 王庆波, 金津, 何乐等. 虚拟化与云计算. 北京: 电子工业出版社, 2009
- Wang Q B, Jin X, He L, *et al.* Virtualization and Cloud Computing. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2009
- 9 刘鹏. 云计算. 北京: 电子工业出版社, 2010
- Liu P. Cloud Computing. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2010
- 10 任永杰, 单海涛. KVM 虚拟化技术实战与原理解析. 北京: 机械工业出版社, 2013
- Ren Y J, Shan H T. KVM Virtualization Technology Practice and Principle Analysis. Beijing: China Machine Press, 2013
- 11 戢友. OpenStack 开源云——云计算、虚拟化、Nova、Swift、Quantum 与 Hadoop. 北京: 清华大学出版社, 2014
- Ji Y. OpenStack Open Source Cloud Computing——Cloud Computing, Virtualization, Nova, Swift, Quantum and Hadoop. Beijing: Tsinghua University Press, 2014
- 12 张子凡. OpenStack 部署实践. 北京: 人民邮电出版社, 2014
- Zhang Z F. OpenStack Deployment Practice. Beijing: Posts & Telecom Press, 2014
- 13 Joysula V, Orr M, Page G. 云计算与数据中心自动化. 张猛译. 北京: 人民邮电出版社, 2012
- Joysula V, Orr M, Page G. Cloud Computing and Data Central Automation. Translated by Zhang M. Beijing: Posts & Telecom Press, 2012
- 14 陈驰, 于晶. 云计算安全体系. 北京: 科学出版社, 2014
- Chen C, Yu J. Security Architecture of Cloud Computing. Beijing: Science Press, 2014
- 15 Krutz R L, Vines R D. 云计算安全指南. 张立强译. 北京: 人民邮电出版社, 2013
- Krutz R L, Vines R D. A Comprehensive Guide to Secure Cloud Computing. Translated by Zhang L Q. Beijing: Posts & Telecom Press, 2013

[作者简介]



宋阿芳, 女, 中国电信股份有限公司上海研究院高级工程师, 主要从事网络演进及运行维护方面的技术研究工作。

林联, 女, 中国电信股份有限公司上海研究院高级工程师, 主要从事网络演进及运行维护方面的技术研究工作。

王发光, 男, 中国电信股份有限公司上海研究院工程师, 主要从事云计算与数据通信方面的技术研究工作。

2015060-6

(上接 2015143-5)

- 5 Gelberger A, Yemini N, Giladi R. Performance analysis of software-defined networking (SDN). Proceedings of IEEE 21st International Symposium on Modeling, Analysis & Simulation of Computer and Telecommunication Systems (MASCOTS), San Francisco, CA, USA, 2013: 389~393
- 6 Batalle J, Ferrer Riera J, Escalona E, *et al.* On the implementation of NFV over an OpenFlow infrastructure: routing function virtualization. Proceedings of 2013 IEEE SDN for Future Networks and Services (SDN4FNS), Trento, Italy, 2013: 1~6
- 7 Veitch P, McGrath M J, Bayon V. An instrumentation and analytics framework for optimal and robust NFV deployment. Communications Magazine, 2015, 53(2): 126~133
- 8 Omnes N, Bouillon M, Fromentoux G, *et al.* A programmable and virtualized network & IT infrastructure for the internet of things: how can NFV & SDN help for facing the upcoming challenges. Proceedings of the 18th International Conference on Intelligence in Next Generation Networks (ICIN), Paris, France, 2015: 64~69
- 9 Li Y, Li J. MultiClassifier: a combination of DPI and ML for application-layer classification in SDN. Proceedings of the 2nd International Conference on Systems and Informatics (ICSAI), Shanghai, China, 2014: 682~686

[作者简介]



潘洁, 女, 中国移动通信集团设计院有限公司工程师、项目经理, 主要研究方向为数据网络。

郗卓宁, 男, 中国移动通信集团公司高级工程师、项目经理, 主要研究方向为数据网络。

林鹏, 男, 博士, 中国移动通信集团设计院有限公司高级工程师、项目经理, 主要研究方向为数据网络。

2015143-6