



5G 传输网络承载方案分析

王丽莉¹, 姚军²

- (1. 中国移动通信集团安徽有限公司, 安徽 合肥 230000;
2. 中国移动通信集团安徽有限公司池州分公司, 安徽 池州 247100)

摘要: 5G 时代 3 类典型场景的业务需求对承载网络在容量、时延和组网灵活性方面提出了更高的要求, 同时针对无线网和核心网架构的变化提出了网络切片、增强路由转发功能等要求。首先分析 5G 的承载需求, 重点考虑 5G 的 3 类典型业务场景、无线和核心网的架构变化; 然后结合现网 100GE PTN 的实际应用情况, 重点围绕容量、时延等维度完成需求与网络现状的对标; 最后提出了网络回传、机房配套的演进方案。

关键词: 5G; 传输; 容量; 时延

中图分类号: TN914

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2019174

Scheme analysis of transmission network for 5G mobile communication system

WANG Lili¹, YAO Jun²

1. China Mobile Group Anhui Co., Ltd., Hefei 230000, China,
2. Chizhou Branch of China Mobile Group Anhui Co., Ltd., Chizhou 247100, China

Abstract: The service requirements of the three typical scenarios in the 5G era put forward higher requirements on the capacity, delay and networking flexibility of the bearer network. At the same time, the changes of the wireless network and the core network architecture propose the requirements of network slicing and enhanced routing and forwarding functions. Firstly, the 5G bearer requirements were analyzed, and the 3G typical service scenarios of 5G and the architecture changes of the wireless and core networks were considered. Then, based on the actual application of the 100GE PTN, the benchmarking of the demand and the status quo of the network was completed mainly around dimensions such as capacity, latency, etc. Finally, the evolution plan of network backhaul and computer room supporting was proposed.

Key words: 5G, transmission, capacity, time delay

1 引言

2014 年 5 月, IMT-2020 (5G) 推进组发布 5G 愿景与需求白皮书, 提出了 5G “信息随心至,

万物触手及”的总体愿景, 为用户提供光纤般的接入速率、“零”时延的使用体验以及千亿设备的连接能力等服务。5G 标准也按照 3GPP 的规划稳步推进, 于 2017 年 12 月冻结 NSA (非独立组网)

收稿日期: 2019-03-15; 修回日期: 2019-06-27



核心标准 R15, 2018 年 6 月面向 eMBB (增强型移动宽带) 商用场景完成 SA (独立组网) 标准冻结。计划在 2019 年下半年, 完成支持 eMBB、mMTC (大规模机器通信) 和 uRLLC (高可靠低时延通信) 三大场景的完整版 R16 标准。

5G 应用, 承载先行。中国移动于 2016 年在全国所有地市启动了为期两年的传输大会战工作, 为 5G 提前储备机房、管道等不可再生的基础战略资源。由于各省市之间在区域属性、业务需求等多方面存在差异, 目前 4G、家庭宽带业务承载存在 PTN、OTN、裸纤等多种组网方案, 并且部分省还建设了 100GE PTN 承载平面。面对未来 5G 的大容量、高带宽、低时延业务承载, 需要结合现网实际情况, 提前部署好传输承载网络的演进方案。

本文首先分析 5G 的承载需求, 重点考虑 5G 的 3 类典型业务场景、无线和核心网的架构变化; 然后结合现网 100GE PTN 的实际应用情况, 重点围绕容量、时延等维度完成需求与网络现状的对标; 最后提出了网络回传、机房配套的演进方案。

2 承载需求分析

2.1 典型场景业务需求

在 2015 年的 ITU 会议上正式定义了 5G 的 eMBB、mMTC、uRLLC 三大典型应用场景, 相应的场景应用及业务需求见表 1, 总体来说, 对承载网络提出了 Gbit/s 大带宽、ms 级端到端低时延、每平方千米百万级海量连接的更高要求。

2.2 无线和核心网架构变化

一方面是无无线 RAN 部分, 由原来的 BBU+RRU 架构演进成 CU+DU+AAU 架构; 另一方面是核心网形成 New Core+MEC 的云互联网络结构。

2.2.1 无线 RAN 架构变化

3GPP R14 协议给出了 5G RAN 结构的说明, 从 4G/LTE 网络的两级结构 (BBU+RRU) 演进成三级结构 (CU+DU+AAU), 如图 1 所示。

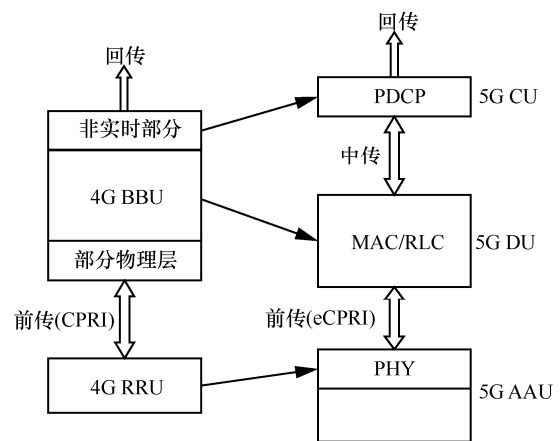


图 1 无线 RAN 架构变化

原 BBU 的非实时部分将分割出来, 重新定义为 CU (centralized unit, 集中单元), 负责处理非实时协议和服务; BBU 的部分物理层处理功能将与原 RRU 合并为 AAU (active antenna unit, 有源天线处理单元); BBU 的剩余功能重新定义为 DU (distributed unit, 分布单元), 负责处理物理层协议和实时服务。标准化中确定的 CU/DU 都是逻辑网元, 实际两者可以分开, 也可以一体化部署, 两

表 1 5G 典型场景及业务需求

场景	典型应用	业务传输需求
eMBB	随时随地的 3D/超高清视频直播和分享、虚拟现实、随时随地云存取、高速移动上网	超大带宽: 移动带宽体验从 10 Mbit/s 量级提升到 1 Gbit/s 量级
mMTC	智能穿戴设备、传感器网络、智能物流、智能资产管理	超大连接: 提供多连接的承载通道, 连接密度达 100 万/km ²
uRLLC	自动交通控制/自动驾驶、机器人协作、远程机械遥控/远程手术、远程医疗诊断	极低时延和高可靠性: 改进现有网络的业务处理方式, 达到 ms 级端到端时延和 100%高可靠性

种方式在 5G 系统均有可能部署。

其中, AAU 和 DU 之间是前传 (front haul), DU 和 CU 之间是中传 (middle haul), CU 以上是回传 (back haul)。当 CU 和 DU 合设时称为 gNB, 这时承载网的结构和与 4G 类似, 仅包括前传和回传两个部分。

2.2.2 核心网架构变化

(1) 云互联结构

为满足 5G 低时延业务处理的时效性需求, 核心网下移及云化是发展趋势, 3GPP 已经将核心网下移纳入讨论范围, 并推动 MEC (mobile edge computing, 移动边缘计算) 的标准化。

核心网的承载架构变化如图 2 所示, 核心网云化后形成了两级云互联网络架构: New Core 间及 New Core 与 MEC 间形成的核心云互联网, MEC 间形成的边缘云互联网。其中 New Core 将云化部署在城域核心大型数据中心, MEC 将部署在城域汇聚或更低的位置中小型数据中心, 更靠近用户。同时核心 DC 所承担的部分计算、内容存储功能也相应地下沉到网络边缘, 由边缘 DC 承担。

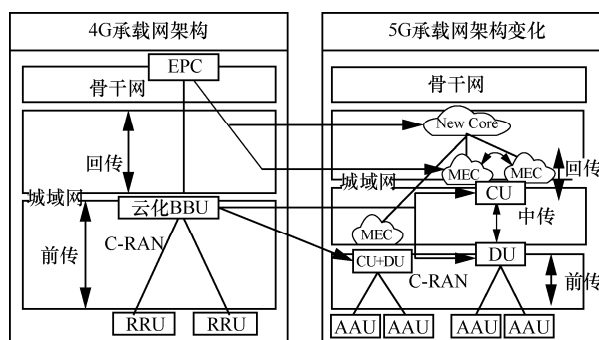
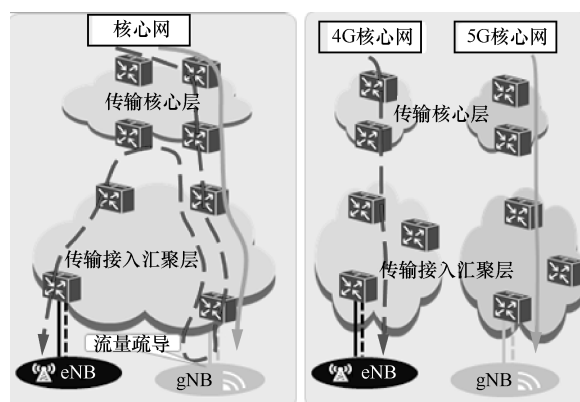


图2 核心网的承载架构变化

(2) NSA/NSA 组网方案

核心网初期采用 NSA 组网, 主要面向 eMBB 业务, 先演进无线网络, eNB 和 gNB 都连接至现有 4G 核心网, 对传输承载的要求主要体现为带宽需求, 可以通过 PTN 现网扩容升级方式实现。如图 3 所示, 其中虚线表示核心网到 4G eNB 的业

务流向, 实线表示核心网到 5G gNB 的业务流向。需重点关注 NSA option 3X 方式下 (eNB 为主基站, 控制面信令都经由 eNB 转发, eNB 和 gNB 采用双链接的形式为用户提供高速率服务) 存在 4G 和 5G 基站的流量迂回, 需要扩容传输汇聚层、接入层的带宽。图 3 (a) 中虚线所示, 由 gNB 进行下行分流时, 由于 gNB 与 eNB 属于不同平面的接入层、汇聚层, 例如 gNB 承载在 PTN 100GE 平面, eNB 承载在 PTN 10GE 平面, 部分流量必须到达核心层进行跨平面/跨环调度。



(a) NSA option 3X

(b) SA option 2

图3 核心网 NSA/SA 组网的业务流量路径

核心网最终演进成图 3 (b) 所示的 SA 组网: 4G 和 5G 核心网独立组网, 对传输有低时延、网络切片的新要求, 传输网需同步完成技术演进。

3 传输 SPN 组网技术

为满足上述 5G 业务和无线、核心网组网架构的承载需求, 各运营商结合现有 4G 承载网络, 提出了 3 种典型的 5G 传输承载技术方案: SPN、增强型 IP RAN 和增强型 OTN, 通过引入 50GE/100GE/200GE 接口、FlexE、ODUflex、SR、SDN 等新技术进行设备和网络的升级。中国移动主推的 SPN 技术方案, 继承 PTN 传输的功能特性并进行增强和创新, 主要划分为切片传送层 (slicing transport layer, STL)、切片通道层 (slicing channel layer, SCL)、切片分组层 (slicing packet



layer, SPL), 同时增强 SDN 管控和高精度时间同步。SPN 技术分层架构如图 4 所示。

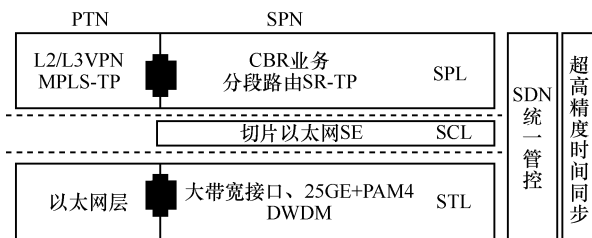


图 4 SPN 技术分层架构

- 切片传送层：实现切片物理层编解码，采用高性价比的 25GE、50GE、100GE、200GE、400GE 等大容量以太网接口，并支持彩光 DWDM（dense wavelength division multiplexing，密集波分复用）。
- 切片通道层：实现切片以太网通道的组网处理，支持低时延转发、网络切片硬隔离等。
- 切片分组层：通过 SR-TP、MPLS-TP 实现分组数据的路由处理，支持灵活连接，满足 L2/L3 VPN 和 CBR 的业务要求。

4 网络现状对标

5G 与 4G 现网承载主要在带宽、时延、网络切片、时间精度等方面存在差异，5G 与 4G 现网承载对标见表 2，对于 5G 承载带来的网络切片、L3 功能下沉、网状网络连接等新要求，传输网需要支持智能管控。

(1) 容量方面

回传的核心层、汇聚层线路侧带宽范围在 100GE~600GE，接入层客户接口需 25GE/50GE。中传的带宽接近回传，并且大部分场景下 CU 与 DU 可能合设。前传目前有裸纤、有源波分、无源波分 3 类解决方案，前传无线设备端口带宽在 25GE 以内。

省移动现网的核心汇聚层多为 100GE PTN，可升级至 200GE PTN 来满足短期业务需求；接入层多为 GE/10GE 环网，可演进至 25GE/50GE 环。

(2) 时延方面

5G 业务留给传输网的单向时延范围如图 5 所示，eMBB 场景 ≤ 1.5 ms，uRLLC 场景 ≤ 0.125 ms。但目前传输现网端到端（考虑 PTN over OTN，按照本地网接入 3 次、汇聚 4 次、核心 4 次，省干 6 次设备转发，距离 200 km）的实测情况是，网络轻载时单向时延为 2~3 ms。其中，单跳设备转发时延为小设备 30~50 μ s，大设备 50~100 μ s，光纤传播时延为 200 km/ms。

- eMBB 大流量场景：通过将传输设备升级到 SPN，降低单跳设备转发时延至 1~10 μ s，传输网单向时延可降至 1.5 ms 以内，满足要求。核心网和传输网的现网架构可以基本保持不动。
- uRLLC 场景：目前尚未明确传输的具体承载方案，一是设备上，要做功能升级，采用 SPN 不断降低转发时延，单设备控制在

表 2 5G 与 4G 现网承载对标

	5G 承载	4G 承载
带宽	典型 5G 低频单基站峰值带宽约为 6 Gbit/s，基站接口为 10GE/25GE	典型 4G 单基站峰值带宽约为 440 Mbit/s，基站接口为 GE/10GE
时延	eMBB 业务用户面时延 < 4 ms(UE-CU)，控制面时延 < 10 ms；uRLLC 业务用户面时延 < 0.5 ms (UE-CU)，控制面时延 < 10 ms	用户面时延 < 10 ms，控制面时延 < 20 ms
网络切片	传送网支持网络切片，能和无线网、核心网统一对业务进行切片调度，满足不同业务需求	软切片实现软隔离，不能实现业务硬隔离和物理分片
时间精度	5G 基本业务支持 ± 1.5 μ s，站间协同支持 $\pm 65/130/260$ μ s	4G 基本业务支持 ± 1.5 μ s

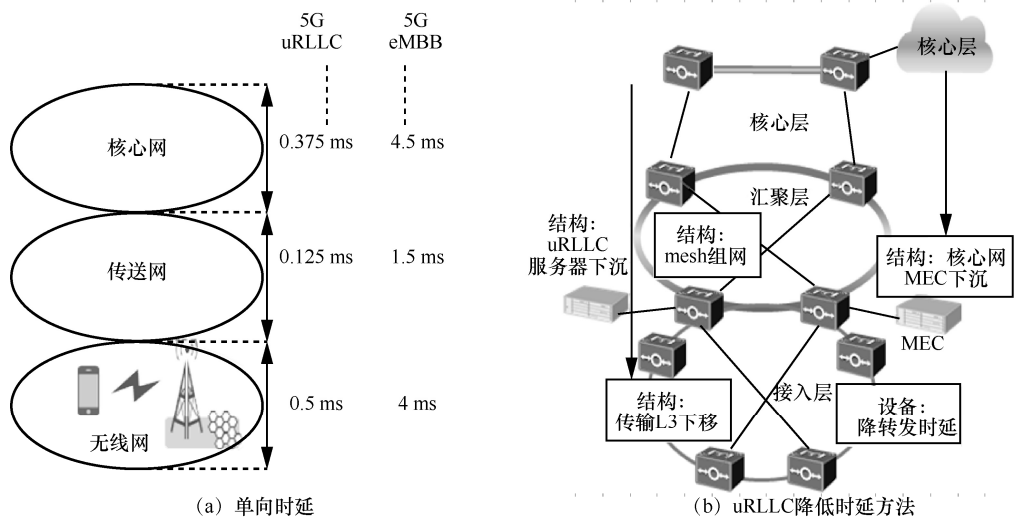


图 5 时延分析

10 μ s 以内；二是结构上，受限于光纤物理传输 200 km 需要 1 ms，必须要降低业务的端到端距离，因此核心网关键功能、uRLLC 服务器、传输网 L3 功能要下沉到本地的汇聚层甚至接入层；另外传输的环形架构可以考虑向 mesh 组网演进，减少设备转发跳数，降低业务逐跳转发的累积时延。

5 网络演进方案

5.1 前传演进方案

从无线 AAU 到 DU 的前传承载主要有光纤直驱、无源波分、有源波分 3 种解决方案。光纤直驱指 AAU 和 DU 之间采用光纤点到点传输。无源波分指多个 AAU 就近接入同一无源波分器件，复用一对光纤回传信息至 DU 侧，每个 AAU 占用一个特定波长，AAU 和 DU 要部署彩光模块。有源波分是指用于合波/分波的器件是需要加电的设

备，多个 AAU 就近接入同一有源波分设备，采用符合 ITU-T G.709 协议标准的光模块。

根据方案比对情况（见表 3），建议采用光纤直驱方式，不引入有源设备的转发时延，为后续 uRLLC 业务承载打好基础，同时易于部署。但是必须解决现网面临的实际困难：部分老城区的主干道路管孔资源紧张，在穿孔中穿放了大量 24 芯以下的集团客户、家庭客户业务小芯数光缆，抽样某城区 895 段主干道路管道，近 1/4 的管孔利用率大于 80%，管道中小芯数集团客户、家庭客户接入光缆占比达 76%，低效占用管孔资源。建议通过推进综合业务接入区的结构优化，完善二级光交布局，将小芯数集团客户光缆优化割接至就近光交，腾退（释放原先被占用的管孔资源）主干管孔，用以布放 144 芯及以上大芯数光缆，为 5G 基站接入的大量纤芯需求提供能力储备。

当然无源/有源波分可以根据现场实际情况，

表 3 5G 前传承载方案对比

前传承载方案	优点	缺点
光纤直驱	低时延、无耗电、部署快	纤芯消耗大、无保护、OAM 弱
无源波分	低时延、无耗电、省纤芯	彩光模块成本高、OAM 弱
有源波分	省纤芯、OAM 强	有时延、有耗电、设备成本高



应用于光缆纤芯缺乏的场景,进行 5G 基站的部署。

5.2 中传/回传演进方案

从 DU 到 CU 的中传部分,在 5G 建设初期可以考虑 CU/DU 合设,不引入额外的传输时延,提升网络建设效率和安全性等中后期面向海量连接等应用场景时再考虑分离架构。CU 到核心网的回传部分采用 SPN 承载方案,部分省移动已建设 100GE PTN 的二平面,可以考虑升级成 SPN 来满足 5G 初期 eMBB 场景的需求。

(1) 设备演进

针对现网主流厂商的核心层、汇聚层、接入层设备,可以通过升级主控、软件版本来支持 L3 SR,新扩线卡来支持 FlexE、高精度时钟同步等功能来满足 eMBB 场景的承载需求。厂商网管初期可利旧,后期升级改造后新增 SDN 控制器。现网传输设备升级方式见表 4。

(2) IP 地址分配

5G 基站原则上使用 IPv6 地址,考虑到无线、传输、核心网的协同,在初期 NSA 组网架构下,5G 基站应该分配 1 个 IPv4 地址用于实现 4G/5G 互操作、1 个 IPv6 地址用于业务和网管数据回传(对于业务和网管不共用 IP 地址的情况,还应该再多分配 1 个 IPv6 地址)。到后期 SA 组网之后,无需再给 5G 基站分配 IPv4 地址。

基站的 IP 地址应能够按区域进行聚合,同一物理区域内的数个汇聚环下挂的 5G 基站应规划为同一 IP 地址网段,为后续 L3 功能的下沉和割接做好准备。

(3) C-RAN 机房及配套部署

① 机房数量选取

5G 的 C-RAN 机房部署,应结合综合业务接入区的划分进行统筹规划,在 C-RAN 机房和主干光交间建设联络光缆,利用已建成的配线光缆资源实现 AAU 拉远。设置 C-RAN 机房的数量主要受限于两个因素,分别是区域内无线业务需求和机房容纳的联络光缆条数。C-RAN 机房数量选取建议见表 5。经过建模分析,在密集城区主要是满足大业务量需求,单个业务区内需设置 4 个 C-RAN 机房;在一般城区、郊区主要是受限于机房容纳的联络光缆数量(机房管道通常按两根 7 孔梅花管配置,仅可穿放 14 条光缆,在单个业务区内设置 2~4 个 C-RAN 机房可满足无线业务需求。

② 机房空间及配套要求

厂商 5G 的 BBU 设备已经日趋成熟,目前 BBU 高度在 2U~4U 不等,典型功耗主要在 600 W 左右,已经与 4G 的 BBU 设备功耗基本持平。传输设备 3U~5U 高,典型功耗约为 300 W。

根据 BBU 小型集中化(集中 15 端)部署场

表 4 现网传输设备升级方式

100GE PTN 平面主要设备类型			升级方式
华为	核心/汇聚层	PTN7900-32/24	软件升级,新增业务板
	接入层	PTN 970	软件升级,新增业务板
		PTN960	更换主控板,软件升级,新增业务板
中兴	核心/汇聚层	ZXCTN 6500-16/32	更换主控,软件升级,新增业务板
	接入层	ZXCTN 6180 V3	不支持
		ZXCTN 6180H	更换主控,软件升级,新增业务板
烽火	核心/汇聚层	Citrans 690 U30/U20	软件升级
	接入层	Citrans 650	更换交叉板、软件升级,新增业务板
		Citrans 640 (90 Gbit/s)	不支持

表5 C-RAN 机房数量选取建议

区域属性	覆盖面积/km ²	C-RAN 机房选取建议	
		数量/个	覆盖面积/km ²
密集城区	2~5	4	0.5~1.25
一般城区	5~10	2~3	2~5
郊区、开发区	10~15	3~4	3~5

景测算,需 600 A 开关电源 1 架、500 AH 蓄电池 2 组、传输综合柜 1 架、BBU 设备柜 1~2 架以及 15 m² 以上的机房空间。BBU 大型集中化(集中 30 端)部署场景需 600 A 开关电源 1~2 架、500 AH 蓄电池 2~4 组、传输综合柜 1 架、BBU 设备柜 3~4 以及 20 m² 以上的机房空间。

小型集中化部署机房交流引入容量按 20 kW (63A/3P) 考虑,建议城区配置 1 台 5P 空调,农村配置 1 台 3P 空调。对于大型集中化部署机房交流引入容量,农村按 30 kW (80A/3P)、城区按 50 kW (100A/3P) 考虑,建议城区配置 2 台 5P 空调,农村配置 2 台 3P 空调。

6 结束语

通过对 5G 标准的研究和现网对标分析,初期面向 eMBB 业务需求,可以基于 100GE PTN 二平面升级 SPN 功能,对于仅有一套 10GE PTN 平面的区域,建议新建 SPN 平面,其中针对 C-RAN 机房场景,建议新建 SPN 设备单独组环。后期面向 uRLLC 业务需求,受限于光纤传播时延(200 km/ms),需将传输设备 L3 功能下沉到汇聚层/接入层,同时考虑由环网结构向 mesh 演进,减少设备跳数和转发时延。后续将结合 R16 标准的完善发布,深入开展对 uRLLC 业务承载方案的研究。

参考文献:

- [1] 赵春华. 5G 承载网的架构演进及带宽分析[J]. 电信科学, 2019, 35(2): 79-83.

ZHAO C H. Architecture evolution and bandwidth analysis of 5G bearer network[J]. Telecommunications Science, 2019, 35(2): 79-83.

- [2] 李芳, 徐云斌, 胡昌军. 5G 承载网络架构和技术方案分析[J]. 通信世界, 2018(12).

LI F, XU Y B, HU C J. 5G bearer network architecture and technical solution analysis[J]. Communications World, 2018(12).

- [3] 程思远, 罗成. 5G 承载网络演进方案研究[J]. 移动通信, 2018(10).

CHENG S Y, LUO C. Research on 5G bearer network evolution plan[J]. Mobile Communications, 2018(10).

- [4] 陈常梅. 基于 C-RAN 的移动城域网 5G 承载方案探讨[J]. 电信工程技术与标准化, 2018(7).

CHEN C M. Discussion on 5G bearer scheme of mobile metropolitan area network based on C-RAN[J]. Telecom Engineering Technics and Standardization, 2018(7).

- [5] IMT-2020(5G)推进组. 5G 承载需求白皮书[R]. 2018.

IMT-2020 (5G) Promotion Group. 5G bearer requirements white paper[R]. 2018.

[作者简介]



王丽莉(1976-),女,中国移动通信集团安徽有限公司网管中心总经理,主要从事移动通信新技术研究、通信网络维护和优化方面的工作。



姚军(1973-),男,中国移动通信集团安徽有限公司池州分公司总经理,主要从事移动通信新技术研究、通信网络规划方面的工作。