



# 赋能云网端 共铸新生态

英特尔5G端到端创新解析



# 目录

## CONTENTS

### 英特尔 5G 端到端创新解析

- 2 创新愿景
- 4 产品集锦
- 6 产业生态
- 8 云上实践
- 10 网中转型
- 12 端上探索

### 英特尔 5G 精选白皮书

- 14 为 5G 服务做好准备
- 19 独立组网的 5G 核心网实现优化
- 23 OTII 服务器技术方案及行动计划书——面向下一代网络的深度定制服务器
- 27 物联网用例要求将满足您的 5G 需求

# 创新愿景

凭借独特的业界端到端技术能力，英特尔将连接、计算和云的世界汇集在一起，实现无缝连接，加速迈向 5G

英特尔® 架构、FPGAs、软件、安全



# 产品集锦

从云到网到端，英特尔提供丰富多样、软硬结合的产品、技术、参考设计和解决方案，赋能未来 5G 体验

## 基础软硬件产品技术

### 终端



英特尔® 5G 移动试验平台



英特尔® GO™ 智能驾驶 5G 车载通信平台



英特尔® XMM™ 8000 系列商用 5G 调制解调器

### 加速器



Altera® FPGA



英特尔® 资源调配技术



英特尔® QuickAssist



英特尔® 快速视频同步技术



数据平面开发套件

### 连接与存储



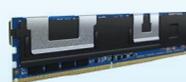
英特尔® 以太网控制器



英特尔® 硅光子技术



英特尔® 傲腾™ 固态硬盘数据中心系列



英特尔® 傲腾™ 数据中心级持久内存

### 处理器



英特尔® 至强® 可扩展处理器



英特尔® 至强® D 处理器



英特尔® 凌动® 处理器



定制化专用芯片

## 参考设计和解决方案



英特尔® 5G 网络设施参考设计

NEV SDK(网络边缘虚拟化套件)

FlexRAN 网络参考设计

FlexCore 网络参考设计



英特尔® 精选解决方案

## 应用场景



# 产业生态

英特尔正在与中国的 5G 进程保持同步，并加速与中国生态伙伴、包括标准组织、开源社区、电信运营企业、电信设备制造企业、云服务提供商和企业的合作，以加速 5G 落地和应用

与通信服务运营商和企业合作，开展 5G 用例创新

通信服务运营企业



互联网服务企业

与互联网服务企业紧密合作，开发面向未来 5G 环境的应用与服务



电信运营企业

与电信运营企业开展战略合作，加速其网络转型与 5G 网络的部署



从标准到应用，共铸 5G 新生态

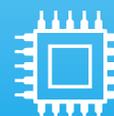
电信设备制造企业 / 系统集成企业

推动电信设备制造企业 / 系统集成企业产品创新



半导体厂企业

与紫光展锐战略合作，支持本地半导体开发



开源与标准组织

- ▶ 积极参与制定 3GPP 5G 全球统一标准，支持 IMT-2020(5G) 推进组的 5G 技术研发试验
- ▶ 在 OpenStack\*、OpenNFV\*、ONAP\*、Linux\*、DPDK\*、Kubernetes\* 等标准组织中贡献开放解决方案，加速网络转型



# 云上实践

## 赋能云端，加速 5G 就绪

### 英特尔 5G “云” 产品



英特尔® 至强® 可扩展处理器



英特尔® 至强® D 处理器



英特尔® QuickAssist



英特尔® 傲腾™ 固态硬盘数据中心系列



英特尔® 傲腾™ 数据中心级持久内存



数据平面开发套件



英特尔® 以太网控制器



英特尔® 精选解决方案

## 重要项目

2017年  
3月

联通沃云\* 利用 DPDK 技术针对 OVS、VPP 等虚拟网络组件开展一系列优化测试验证项目

2017年  
11月

中国电信\* 与英特尔签订“中国电信—英特尔人工智能创新联合实验室”，聚焦人工智能技术在中国电信的行业客户和网络架构上的应用

2017年  
12月

中国移动苏州研发中心\* 与英特尔共建“中国移动—英特尔技术创新联合实验室”

2018年  
5月

在英特尔—沃云联合创新实验室开展基于英特尔新一代技术和产品的新一代沃云的技术验证和性能优化

2018年  
6月

中国电信云公司与英特尔签订“中国电信—英特尔云计算创新联合实验室”

# 网中转型

推动网络转型，  
为 5G 提供灵活高效的网络



## 英特尔 5G “网” 产品



英特尔® 至强® 可扩展处理器



英特尔® 至强® D 处理器



英特尔® 凌动® 处理器



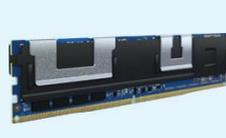
Altera® FPGA



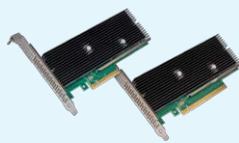
英特尔® 以太网控制器



英特尔® 傲腾™ 固态硬盘数据中心系列



英特尔® 傲腾™ 数据中心级持久内存



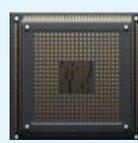
英特尔® QuickAssist



英特尔® 快速视频同步技术



英特尔® 资源调配技术



定制化专用芯片

## 重要项目

英特尔与中兴通讯\* 合作发布全球首个面向 5G 的 IT BBU 产品

2017 年  
2 月

2017 年  
8 月

英特尔参与支持中国电信在雄安新区建设 5G 创新示范网

2018 年  
2 月

- ▶ 中国联通\*、英特尔联合启动中国联通 Edge-Cloud 大规模试点
- ▶ 英特尔宣布为 2020 年东京奥运会部署 5G 技术
- ▶ 英特尔参与中国移动\* 携手合作伙伴发布的“5G SA 突破行动”，展示了 5G SA 性能优化结果

2018 年  
6 月

- ▶ 英特尔加入中国联通“边缘云”合作伙伴计划，参与中国联通 2018 年多个边缘云和业务现网试点，共同合作打造边缘云测试床、研发边缘云关键技术、探索边缘业务商业模式
- ▶ 中国移动与中国电信、中国联通、英特尔等公司联合打造适用于电信运营商边缘机房环境的深度定制化服务器，展示其首款 OTII 服务器原型机
- ▶ 中国移动携手英特尔等厂商共同发起“5G SA 起航行动”，推动 5G SA 端到端产业商用步伐
- ▶ 英特尔参与支持中国电信在 ETSI ENI\* 组织的智能化网络切片生命周期管理 PoC 项目

# 端上探索

英特尔与多家厂商携手，  
推动 5G 终端的成熟与规模化发展

## 英特尔 5G “端” 产品



英特尔® 5G 移动试验平台



英特尔® GO™  
智能驾驶 5G 车载通信平台



英特尔® XMM™ 8000 系列  
商用 5G 调制解调器

## 重要项目

2018年  
2月

- ▶ 英特尔与紫光展锐\* 达成 5G 全球战略合作
- ▶ 英特尔宣布与戴尔\*、惠普\*、联想\* 和微软\* 展开合作，基于英特尔® XMM™ 8000 系列商用 5G 调制解调器，将 5G 引入 Windows\* PC

2018年  
6月

- ▶ 英特尔、爱立信\* 携手中国移动，实现首个符合 3GPP SA 标准的异厂商 5G 新空口互通
- ▶ 英特尔与中国移动签署“5G 终端先行者计划”合作备忘录
- ▶ 英特尔联合华为\* 率先完成中国 5G 技术研发试验第三阶段 NSA IODT 测试

2018年  
7月

中国移动、英特尔和华为三方共同完成基于 3GPP Release 15 5G NR 最新标准的全协议栈、全信道、全流程的互操作测试

2018年  
8月

英特尔联合爱立信实现 3GPP NR 标准下首个 39GHz 频谱的端到端数据呼叫

# 业务简介

网络转型  
NFV

## 为 5G 服务做好准备



通信服务提供商 (CoSP) 将网络的软件支持视为开发 5G 创新细分市场服务的关键，从而加速产品上市，开辟新的创收渠道。

“网络功能虚拟化 (NFV) 的发展亟需 5G 技术的支持，这为通信服务提供商带来了新商机。”

### 当前电信业的发展有赖于软件技术的支持

随着通信服务提供商 (CoSP) 基于互联网的创新服务日益受到消费者的青睐，通信服务提供商已经看到了国际语音和短信业务收入的下降。

尽管通信服务提供商知道他们需要进行创新来弥补收入损失，但通信服务创新历来受到网络设备提供商 (NEP) 新型硬件产品的不灵活性和开发时间长的限制。

通信服务提供商现在认识到，网络功能虚拟化 (NFV) 使他们能够为客户提供价值，增加网络内部的收入，并通过更广泛的来源提供基于软件的服务。2017 年底，STL Partners 报告指出，欧洲和北美的 32 家主要运营商已完成或规划了 125 项 NFV 部署，恰好反映了这一全球趋势<sup>1</sup>。

NFV 的发展使得 5G 技术成为可能，因此通信服务提供商的新商机正在出现。在 ETSI 2017 年白皮书中，23 家领先的通信服务提供商提议业内应采用 NFV 技术特性来加速进展并避免重复工作，更快达成 5G 愿景<sup>2</sup>。

为了保持竞争力，通信服务提供商必须过渡到软件定义基础设施 (SDI)，并在商用现货硬件上运行。领先的通信服务提供商正在使用 NFV 为基于软件支持的 5G 未来做好准备，并且现正提供创新和差异化服务，如图 1 所示。

### 软件网络功能助力业务发展

使用传统的固定功能硬件设备让通信服务提供商面临两种服务创新挑战。首先，需要新的硬件功能时，依靠供应商的产品开发计划来引入新硬件功能非常耗时。而且一旦新硬

## 当今的 NFV

- SD-WAN 和 vCPE
- vIMS
- vEPC



## 5G 边缘服务

- 用于体育场馆的视频服务
- 增强现实和虚拟现实
- 用于视频监控的人工智能
- 物联网和工业 4.0 设备处理
- 自动驾驶汽车

图 1. 从 NFV 到 5G 服务

件开发出来，硬件便可供其他通信服务提供商使用，差异化优势会降至最低。其次，由于小批量电信设备的订货交付时间可能很长，为了有效满足未来的流量处理需求，通信服务提供商需要分配资源来了解设备在供应链中的位置。

固定线路通信服务提供商已经体验到了在虚拟化用户端设备 (vCPE) 产品上使用 NFV 应用而为企业网络带来的灵活性。通过虚拟化，可以将多个功能远程加载到位于企业分支机构的服务器上。除了传统路由和防火墙产品，软件定义的广域网 (SD-WAN) 架构还可以包含流量导向和附加安全功能，以便通过互联网连接快速访问第三方云服务。这满足了混合云 IT 系统的业务流程需求。

IHS 研究表明，81% 的领先通信服务提供商将在 2017 年底部署 NFV 服务<sup>3</sup>，并将 vCPE 列作获得新收入的首要 NFV 应用案例。2017 年 12 月，IHS 还预测，2021 年 SD-WAN 设备市场的收入可能达到 33 亿美元<sup>4</sup>。

同时，移动无线通信服务提供商一直在考虑将 NFV 用于 IP 多媒体子系统 (IMS) 呼叫服务器和移动分组核心的虚拟化。IMS 对于推出全新创收服务有着重要意义。对 IMS 进行虚拟化有助于提高业务敏捷性并带来更大的收入潜力。2015 年，意大利的沃达丰<sup>5</sup> 部署了全球首个基于云的长期演进语音 (VoLTE) 网络<sup>6</sup>。奥地利电信公司的白俄罗斯子公司 Velcom 宣称已于 2017 年初实施了第一个全虚拟化商业核心网络。根据该公司的年度报告，“这让 Velcom 的总体拥有成本降低了 50% 以上。这些新技术为语音电话和互联

网客户提供了更多灵活性和更新的功能<sup>6</sup>。”在一份英特尔案例研究报告中，Velcom 的高级技术总监 Christian Laqué 指出，“推出新服务变得比以往任何时候都更容易且更快。只需添加一些软件即可升级窄带物联网。”<sup>7</sup>

### 网络转型和业务创新

虽然通信服务提供商通过再设计实现继续发展，但注意力正在转向创新的 5G 服务，通过在靠近客户的网络边缘托管软件应用来构建这些服务。使用这种边缘计算方法，可以实现原本在技术或商业上不可行的新服务，为通信服务提供商提供更加多样的收入来源。

这也使得通信服务提供商能与传统云服务保持可持续性差异，例如通过避免国际链路来改善总体响应时间，通过将视频流量处理从核心网络转移到边缘来降低成本。

将内容分发网络节点放置在通信服务提供商网络内以进行视频流传输已经有一段时间了。然而，最近在智能体育馆技术的试验中，已经证明可以进一步提高客户体验<sup>8</sup>。试验表明，实时流式传输视频是可行的。在音乐会上，4G 无线小型基站节点已经可以本地提供视频流覆盖，无需依赖核心网络流量。在体育赛事中，可呈现来自多个摄像头的 TB 级容量数据，以高清方式展现比赛的关键时刻。5G 的到来将进一步增强这些用户体验。

另一种边缘应用是视频监控，利用本地人工智能 (AI) 来处理附近 IP 摄像头的视频流，进行有针对性的搜索。它可以检测、识别、统

计和追踪行人、面部、车辆、车牌、异常事件和行为。数据分析和处理过程更靠近数据捕捉点，从而节省视频传输带宽并减少通过核心网络路由的数据量。

### “在过去的十年间，英特尔逐步发展了自身的微处理器架构，以处理运营商级网络速度的流量。”

对于通信服务提供商来说，软件支持服务的一个关键特征是能够转变和加速服务创新。通过 NFV，通信服务提供商可以获得一个平台并在其上试验新服务来评估市场价值，而无需额外部署硬件。如果试验获得成功，就可以把服务集成到生产系统中，而且获得收入的时间也要快于基于硬件的服务。如果这些服务的需求不大，该计划可“快速失败”，并立即重用基础设施以测试另一项创新。由于涉及的开销很低，因此还可以为小众市场引入服务，例如为大型企业客户定制解决方案。对于通信服务提供商而言，这可以在拥挤的电信市场中提高对客户的响应能力和差异化程度。

然而，用软件实现网络转型需要两项基础性开发工作。首先，除了相关的云管理工具，网络基础设施还需要嵌入服务器功能，用于托管应用软件。其次，运营网络管理流程必须跟上 IT 实践的变化速度。

在数据中心或中心机房的标准机架式 IT 服务器上托管 NFV 应用的最初构想仍然有效。然而，随着运营商对此的了解越来越多，还可以选择将软件放在更小型节点的网络边缘，如移动无线基站机柜或 CPE。在这些站点，需要采用替代的封装方式以适应环境，并且正在重新设计目前的设备以包含服务器功能。广泛的英特尔® 至强® 处理器产品组合可适应各种设备类型，而且关键点在于，整个系列都具有良好的软件兼容性。

对于 NFV 来说，这意味着可以对工作负载进行编排，从而将其托管在最合适的节点上。这样就可以根据流量需求进行扩展，随着网络流量的演进而重新定位托管位置，并且在需要维护和业务连续性时迁移到备用设施。利用英特尔® 处理器的前向兼容性，不需要重新编译现有软件即可使用下一代机器。

组织层面的变革也是不可缺少的。IT 和网络运营团队必须密切配合，处理快速服务创新和相关的网络变更。IT 团队在企业服务器

合理化方面拥有丰富的虚拟化经验，随着越来越多的公司将数据中心转变为私有云，IT 团队将越来越熟悉云管理工具。IT 运营流程中的文化也在变化——正在部署开发运维实践。这意味着 IT 开发和运营团队必须共同管理对生产系统的小幅增量更改和频繁部署。

网络运营方法与此不同，因为它通常依赖于偶尔进行的重大软件升级计划。领先的通信服务提供商反映称，需要增加网络运营中心的软件技能，还要积累一些处理虚拟化网络功能 (VNF) 软件和编排的专业知识。

采购部门也须做出改变，以应对各种软件供应商，并融入到生产网络中。使用商用成品服务器还可以使供应水平更具竞争力，缩短设备交付时间。与传统的电信采购周期相比，这为通信服务提供商提供了灵活性和可扩展性。

从长远来看，预计将深化运营流程的自动化程度，以便在不需要人工干预的情况下处理复杂多样的小众服务。TMForum 和 ETSI 正在推进针对零接触网络和服务管理的标准举措，并探索人工智能技术，以优化基础设施的使用并最大限度地减少相关的能源需求。

### 英特尔如何推动转型

在过去的十年间，英特尔逐步发展了自身的微处理器架构，以处理运营商级网络速度的流量。英特尔还开展了一系列协作活动，帮助通信服务提供商部署这项技术。英特尔已经开发了新的输入/输出 (I/O) 技术，并且消除了虚拟化通信应用原本需要的昂贵处理开销。

为了简化通信服务提供商的评估和采购工作，英特尔为标准网络功能虚拟化基础设施 (NFVI) 服务器制定了优化的参考设计，其中包括支持领先操作系统所需的硬件选项和软件堆栈配置。英特尔还发布了最终的性能规范，也就是面向 NFVI 的英特尔® Select 解决方案，并根据该基准来验证供应商的产品。目前，英特尔针对通信服务提供商 NFV 工作负载提供了两个版本，一个是针对主流性价比进行优化的“基本”配置，另一个是针对高工作负载密度和性能的“高级”替代方案。符合该规范的产品将从 2018 年开始由领先的 IT 硬件供应商提供，其中包括面向网络的英特尔® 数据中心块，也可直接从英特尔订购 NFVI 服务器块。

英特尔与 ETSI NFV 规范组织进行了广泛的合作，并在行业标准架构和接口的开发方面贡献了自身在 IT 和云计算市场积累的

经验和知识。英特尔还参与其他相关标准组织，包括 ETSI 多接入边缘计算 (MEC)、编排和管理 (MANO) 及电信基础设施项目 (Telecom Infra Project)。但是，随着行业的快速变化，开发开源软件成了实现标准化最为切实可行的途径。英特尔已经为 Linux 操作系统、Openstack 云管理套件以及其他众多专注于完整 NFV 系统架构不同方面的组织做出了贡献。

英特尔参与的其中一项关键计划是 Linux 基金会 NFV 开放平台 (OPNFV) 计划，该计划融合了多个项目，为行业中的完整系统架构建立开放市场标准<sup>10</sup>。这项计划既从垂直方向协调了硬件加速、服务设计工具等活动，也从水平方向协调了网络、企业和云市场。OPNFV 还制定了关于如何建立 NFV 测试平台的行业标准，明确了如何处理现代软件演进中的持续集成和持续交付需求。OPNFV 版本可由通信服务提供商直接用于建立自己的评估和集成参考实验室，也可作为商业供应商开放采购计划的要求。

英特尔正在与英特尔® Network Builders 生态系统中的 260 多家公司进行合作，确保他们的产品可以使用最新的芯片功能。该生态系统的许多成员都是提供 VNF 的软件供应商，另外还有测试设备供应商和系统集成商。最终的结果是，完整的 NFV 系统可以

借由 Network Builders 成员的各种组件组装而成，在线产品目录上列出了这些组件及相应的解决方案简介、参考架构和解决方案设计。

通信服务提供商如果需要有关网络转型的更多资源，可访问英特尔® Network Builders University 计划提供的教程、培训和其他与技能相关的资源。

### 解决方案摘要

目前，通信服务提供商可以迈出面向软件支持的未来的第一步。通过将处理能力置于靠近客户的通信服务提供商网络节点，可实现新的边缘服务创新和收入。

英特尔® 至强® 处理器可处理通信服务提供商网络位置范围内的 NFV 工作负载。从数据中心和中心机房到用户端，目前有业界供应商提供的基于英特尔® 技术的基础设施产品，这些产品不仅具有软件兼容性，而且能够满足未来的需求。与可用的管理和编排系统相结合后，可形成一个电信云环境，除了 NFV 应用，它还可以处理其他通信服务提供商工作负载，包括运营支撑系统 (OSS) 和业务支撑系统 (BSS) 以及增值服务要求，如图 2 所示。

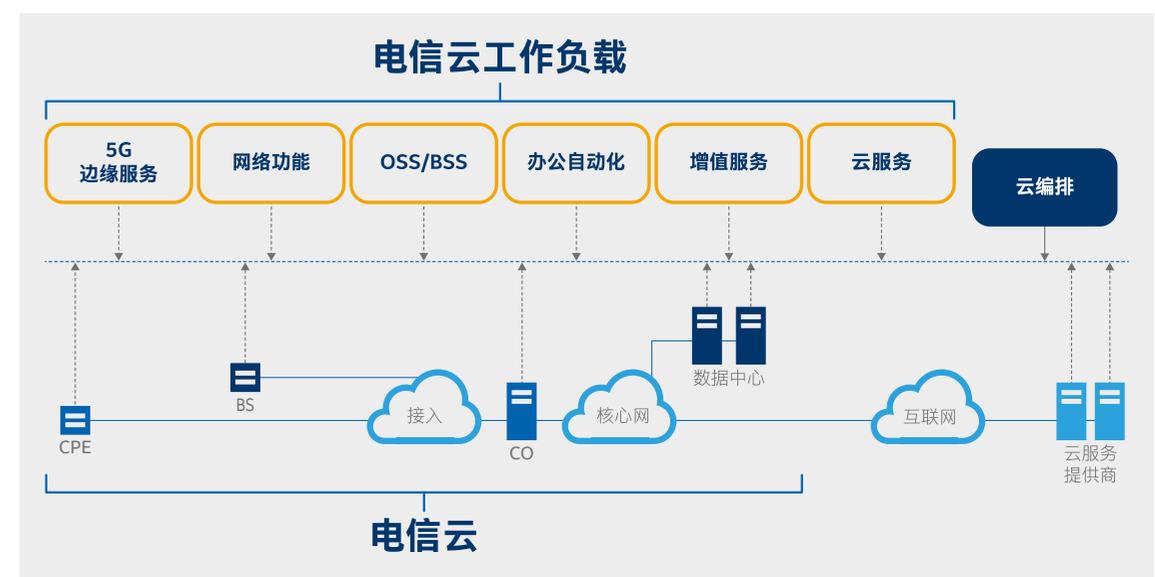


图 2. 电信云

英特尔拥有技术和生态系统合作伙伴, 可通过 NFV 帮助通信服务提供商实现网络转型, 并在整个电信云中构建从 CPE 到网络边缘再到数据中心的应用环境。

### 英特尔® 技术基础

英特尔® 至强® 处理器是 NFV 系统的关键基础, 融入了来自 CPE 和数据中心的各种形式的网络节点, 以及来自英特尔® Network Builders 社区数百名合作伙伴的软件。

### 寻找适合贵公司的解决方案。

请访问 [intel.cn/network](http://intel.cn/network) 了解迈向 5G 的路径, 或访问

<https://networkbuilders.intel.com/> 立即开始了解 NFV。



<sup>1</sup>STL Partners, "Executive Briefing – NFV Deployment Tracker: Europe & North America" (执行简报 – NFV 部署跟踪: 欧洲和北美), 2017 年 12 月。

<sup>2</sup>ETSI 白皮书, "Network Operator Perspectives on NFV priorities for 5G" (网络运营商对于 5G NFV 优先级的观点), 2017 年 2 月。

<sup>3</sup>IHS Technology, NFV 策略全球服务提供商调查, 2016 年 8 月。

<sup>4</sup>IHS Markit, 数据中心网络设备, 季度市场跟踪: 软件定义的 WAN (SD-WAN) 摘录, 2017 年第 4 季度, 2017 年 12 月。

<sup>5</sup>华为新闻稿, 移动世界大会, 2016 年 2 月。

<sup>6</sup>奥地利电信集团, 2016 年年报, 2017 年 5 月。

<sup>7</sup>英特尔案例研究, "Velcom virtualizes its core network on path to 5G" (Velcom 在迈向 5G 的过程中对核心网络进行虚拟化)。

<sup>8</sup>英特尔解决方案简介, "让每位观众都能享受到前排座位的观看体验: 移动高清视频为音乐会增光添彩", 2017 年 11 月。

<sup>9</sup>TMForum 白皮书, "Open Digital Architecture" (开放数字架构), 2018 年 2 月; ETSI 零接触网络和服务管理 (ZSM) 与体验式网络智慧行业 (ENI) 规范小组。

<sup>10</sup>Linux 基金会白皮书, "Harmonizing Open Source and Standards in the Telecom World" (在电信领域中协调开源和标准), 2017 年 5 月。

英特尔技术特性和优势取决于系统配置, 并可能需要支持的硬件、软件或服务得以激活。产品性能会基于系统配置有所变化。没有计算机系统是绝对安全的。更多信息, 请见 [intel.cn](http://intel.cn), 或从原始设备制造商或零售商处获得更多信息。

本文提供的所有信息可在不通知的情况下随时发生变更。关于英特尔最新的产品规格和路线图, 请联系您的英特尔代表。

英特尔、英特尔标识、至强是英特尔公司在美国和/或其他国家的商标。

\* 其他的名称和品牌可能是其他所有者的资产。© 英特尔公司版权所有

07180518/SH/CAT/PDF

## 白皮书



# 独立组网的5G核心网实现优化



### 简介

以 NSA (非独立架构) 还是以 SA (独立架构) 开启 5G 网络之门, 一直是通信业界目光聚焦的焦点。采用独立架构模式组网, 不仅可体现 5G 的技术优势, 更能为用户带来多样化的服务类型。但新的模式也带来新的挑战, 通信业界需要设计构建全新的网络架构与之相对应。由中国移动牵头联合全球 26 家运营商及网络设备商提出的基于服务的架构 (Service Based Architecture, SBA) 就是适应了这一趋势, 不仅成为 5G 核心技术之一, 同时也是构建 5G 独立架构组网方案的关键技术。

SBA 架构面向原生云 (Native Cloud) 设计, 借鉴了互联网领域中面向服务的架构 (Service-Oriented Architecture, SOA)、微服务架构等成熟理念, 并结合通信网现状、特点和发展趋势, 以软件服务的概念重构 5G 核心网, 对 5G 核心网控制面各网络功能实施服务化定义, 同时提供一系列的基于服务的接口 (Service Based Interface, SBI), 具备灵活化、开放化以及智能化的特点, 并可根​​据需求进行灵活部署和扩展。

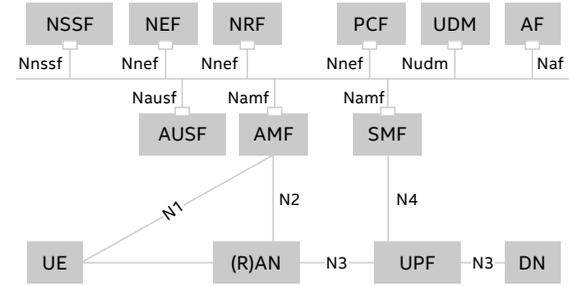
本白皮书是中国移动与英特尔公司共同起草的《独立组网的 5G 核心网实现优化》的简版, 描述了 5G 核心网中 SBA 架构的基本组成, 以及基于该架构的一系列实现方法, 并归纳各自优缺点。同时基于这些实现方法, 本文提出多个 SBA 架构方案实现原型, 并给出这些方案原型在不同场景下的性能测试数据和相关的技术优化方案。最后, 结合上述的方法与测试结果, 本文建议了一种高性能 SBA 架构实施方案, 并指出了长期演进的方向。

### 基于服务的架构 (SBA)

SBA 架构包含了“网络功能服务化”和“基于服务的接口”两大元素, 前者是指其将传统网元设备的功能, 例如会话管理、移动管理、策略控制等, 以软件的方式定义为若干个网络功能, 例如 AMF、SMF、UDM、NRF 等, 这些网络功能间的通信与交互通过服务调用的方式来实现。

后者是指每个网络功能对外都具备通用化、基于服务的接口 (SBI), 可以被经过授权的网络功能或服务灵活调用。这些接口使用了一系列通用化协议, 包括使用 TCP 协议和 HTTP/2 协议, 以 JSON 作为序列化协议, 以 OpenAPI 作为接口描述语言 (Interface

Definition Language, IDL), 允许在不访问源代码或底层服务文档的情况下寻址和调用服务功能。随着技术与标准的日益完善, 服务化接口正逐渐取代 3GPP 中定义的上一代接口, 如 Diameter, SCTP 等, 成为下一代移动通信系统的核心技术之一。



图一 3GPP 技术规范 (TS 23.501) 建议的 5G 系统架构

### 5G 核心网中 SBA 的实现方式

在整体功能上, SBA 可分为两大类组件。一类为接口组件, 其提供了多种功能, 包括 HTTP 服务器功能、收发 HTTP 请求/响应功能, 以及解析 API 端点中内置 HTTP 请求的功能; 另一类为逻辑组件, 其可以处理来自 5G 核心网应用以及特定网络功能 (例如 SMF, UDM, AMF) 的请求。在本文中, 我们设想了以下两种在 5G 核心网控制面中实现 SBA 的方式:

- 集成式实现: 接口和逻辑组件可以整体集成到应用中, 并驻留在同一物理服务器中, 且是同一虚拟机或容器的一部分。
- 分布式实现: 接口和逻辑组件分布在各自独立的物理服务器中, 并通过专用接口相互连接。

#### 集成式 SBA 架构实现

集成式 SBA 架构实现方式的特点, 在于功能自治而不必依赖其他网络功能。基于这一方式, 在集成式 SBA 实现方式中, 对每个控制面网络功能, 例如 AMF, SMF, PCF, AF 等, 都能够提供基于 SBA 的接口和逻辑组件来与其他服务进行交互, 每个网络功能都可实现功能自治。

接口和逻辑组件既可通过函数调用, 进行静态链接或编译, 也可通过多线程的方法, 使用软件队列或共享内存结构进行消息传递, 且消息传递的方式有嵌入式请求处理和基于工作线程的请求处理两种。嵌入式请求处理是将 5G 核心网功能库化, 并集成了 HTTP 服务器处理流程。接口组件依次提供 HTTP 服务器和相关的 API 端点处理消息, 并以库函数的方式调用 5G 核心网控制面处理流程相关的逻辑组件, 这种实现方法在进行功能、服务消息处理时引入了“运行到完成 (Run To Complete, RTC)”模型。

优点	缺点
1. 不同的供应商产品, 只要符合 IETF*、3GPP*、5GC*、OpenAPI* 等标准, 就可以方便地进行集成, 互操作性良好; 2. 库函数的引入使缓冲区数据拷贝数量最少, 相关 API 端点解析负载也得以大大降低, 实现性能提升; 3. 集成式方案对于网络功能虚拟化 (NFV) 平台更加友好, 易于配置、连接和部署, 而 NFV 正是 5G 时代的核心技术之一。	1. 消息处理采用了 RTC 模型, 可能会因 HTTP 接口耗费大量时间在消息处理上而降低效率, 造成性能隐患; 2. 在功能/服务维护期间, 整体网络功能将不可用。

表一 集成式 SBA 架构实现的优缺点

基于工作线程的请求处理方法可在一定程度上克服嵌入式请求处理方式中可能存在的性能隐患。在这一方法中, 接口和逻辑组件被分离为各自具有可通信存储器映射接口 (如 SW 队列) 的独立应用/进程。这一机制使得接口组件和逻辑组件彼此独立, 并可在不同的工作内核、线程上完成 5G 核心网特定的消息处理, 其中消息可以通过共享内存接口传递, 而消息的元数据则通过内存映射接口传递。

#### 分布式 SBA 架构实现

在这一实现方式中, 部署在电信运营商数据中心/中心局的接口组件可以通过专有接口, 如 UNIX 或 TCP/IP 套接字接口, 以消息代理的方式将消息发送给各个逻辑组件中基于服务的 API 端点。

接口组件的 API 端点会接收所有 HTTP 请求, 并打上相应的逻辑组件目的地标识, 然后在 UNIX 或 TCP / IP 接口上传输请求。各个网络功能, 例如 AMF、SMF 等, 可以作为单个进程, 在同一服务器或不同服务器上启动。这种方法可以将接口组件和逻辑组件在不同的物理服务器上独立部署。

优点	缺点
1. 具有专有接口的接口组件可以连接在一起实现完整的控制面解决方案, 而无需每个网络功能都部署对应的接口组件。同时, SMF、AMF 等功能/服务可以与它的接口组件分离, 并且可以彼此独立地升级或更新换代。例如, 接口组件可以在不影响逻辑组件的情况下执行技术升级。	1. 网络功能之间的通信必须基于同样的方法, 这就需要所有共享服务化接口的接口组件来自于同一供应商, 不利于互操作性; 2. 网络套接字通信需要在从内核接口到用户应用的每个层面上都进行数据拷贝, 这将大大提升系统资源占用率; 3. 接口组件的 API 端点可能承载较高的解析负载。

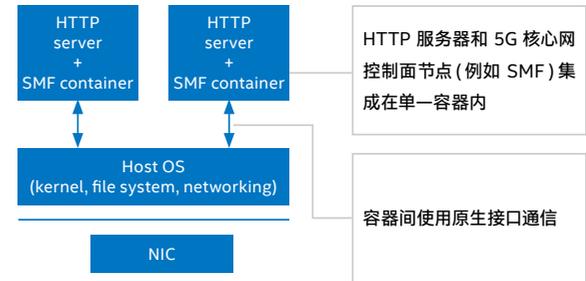
表二 分布式 SBA 架构实现的优缺点

### 部署方案原型

基于上述 2 种 SBA 架构的实例化, 可以提出以下几种可行的部署方案原型:

#### 集成式容器/虚拟机部署方案

本方案是集成式 SBA 架构的实例化原型, 集成了 HTTP 服务器和控制面 (如 SMF、AMF 等) 的 5G 核心网控制面, 可以在虚拟机或容器中进行部署。虚拟机/容器通过网卡上的 SR-IOV 技术来实现性能的提升, 并可考虑使用 virtio-net 或自适应虚拟功能 (AVF) 来实现更强的可扩展功能, 从而支持真正的原生云实施。同时由于每个网络功能都具备本地化的 HTTP Web 服务接口功能, 因此该部署方案还可实现各 5G 核心网各种控制面功能之间的完全互操作性。



图二 集成式容器 SBA 架构部署方案

#### 分布式容器/虚拟机部署方案

本方案是分布式 SBA 架构的实例化原型。方案中的 HTTP 服务器功能在物理上可以与承载 5G 核心网控制面功能分别部署在不同的虚拟机或容器中。HTTP 服务器虚拟机和控制面功能虚拟机之间的接口通过专有的网络套接字接口进行通信。

此外, 还有一种在传统分布式方案基础上衍伸而来、具备容器间内存映射接口的分布式容器部署方案。在该方案中, HTTP 服务器容器和承载 5G 核心网控制面功能容器使用内存映射接口进行通信。这可减少数据包缓冲区的拷贝数量, 从而提高消息请求处理的性能, 并获得更低的延迟。

### 性能特征与测试结果

#### 测试环境搭建

为对上文所述的几种部署方案原型进行性能验证, 本文设计了几类相关的性能测试场景, 并将测试目标聚焦在事务吞吐率和处理器负载两个关键指标上。测试方案采用两台独立的基于英特尔® 至强® E5 处理器, 并通过 25GbE 以太网交换机互连的物理服务器执行。测试服务器 1 作为待测设备 (DUT), 运行接口组件和逻辑组件, 并可进一步配置为前文所述各类部署方案的场景。在测

试中, 测试服务器 2 会向测试服务器 1 (待测设备) 发起请求并接收响应, 来测量相应的请求数量与响应总数等结果, 以确定测试服务器 1 (待测设备) 在不同部署方案场景下的整体性能。

操作系统(服务器/客户端)	Fedora 26
HTTP2/O 服务器	NGINX (Ver 1.12)
后端应用	FastCGI (v2.4.0)
HTTP 客户端	H2load and CURL
JSON 解析器	Rapid JSON (v1.1.0)

表三 用于基准测试的软件工具包配置

#### 测试方案与结果

测试方案一: 测试服务器 1 (待测设备) 的一个处理器内核被配置为执行接口组件, 而另一个处理器内核被配置为执行逻辑组件。测试包含了两个场景:

1. 集成式容器/虚拟机部署方案, 且接口组件和逻辑组件之间建立了基于套接字的通信进程。接口和逻辑组件在各自独立的处理器内核上执行, 但执行在同一进程空间中;
2. 分布式容器/虚拟机部署方案, 接口和逻辑组件在独立的虚拟机或容器中实例化, 并通过专门的基于套接字的通信进程进行交互。

测试方案二: 测试服务器 1 (待测设备) 的一个处理器内核同时执行接口组件和逻辑组件。该测试体现了接口和逻辑组件被紧密集成在一起的系统实现方式, 因此, 该实现方式中两个组件将被配置在同一处理器内核上执行, 并且可通过多核实现可扩展性。

	测试方案一	测试方案二
事务吞吐率 (每秒请求数量)	13.5 K	117 K
HTTP2.0 工作内核处理器负载 (内核1)	79%	81%
后端应用处理器负载	34%	NA (含在工作内核处理器负载项中)

表四 两种测试方案结果对比:

根据测试结果, 下表对 5G 核心网 SBA 架构下的不同实现方案的关键指标进行了对比:

	互通性	性能	延迟
集成式容器/虚拟机部署方案	具备	最高	低
分离式容器/虚拟机部署方案	不具备	低	高
具备容器间内存映射接口的分布式容器部署方案	不具备	中等	中等

表五 5G 核心网 SBA 架构不同实现方案的关键指标对比

## 优化方案

通过对 SBA 架构实际部署和测试中积累的经验进行深入分析和研究, 可以看到, 进一步对其各个组件开展优化, 可使系统获得更好的整体性能。

1. 将 HTTP 和应用程序工作线程分别绑定到独立的处理器内核可更有效地利用本地化数据和处理器的高速缓存。一项基于 NGINX HTTP 服务器的测试显示, 将 NGINX 工作内核绑定到特定处理器内核时, 可获得更优的性能。
2. 在单个进程中嵌入 HTTP 和消息请求/响应处理过程虽然是良好的设计, 但有时可能会限制实现方案的可伸缩性和灵活性。将 HTTP 服务器或后端应用的功能独立成动态库或静态库, 有助于在保持实现方案可伸缩性和灵活性的同时, 获得更好的性能优势。
3. 后端消息处理逻辑和 HTTP 服务器逻辑可分解为不同的工作线程, 这样做的好处是消息处理线程在处理前面的消息时, HTTP 服务器逻辑可以继续保持工作状态, 消息处理线程与 HTTP 服务器端线程之间保持一个“请求/响应”队列。从 NGINX 的角度来看, 这实现了异步消息处理方式, 可以获得更高的处理速度。
4. 根据消息类型的不同, 将请求消息分发给不同的工作线程, 并行地将消息处理负载分配给不同的处理器内核有助于提高整体处理速度。
5. 将 HTTP 服务器线程和消息处理应用线程作为不同的应用, 能够带来更高的灵活性。对于高效的“请求/响应”消息交换而言, 应用程序 (HTTP 服务器和消息处理器) 之间的共享内存技术可用于避免进程间的数据/消息复制, 也可以使用大页面内存技术在进程之间实现数据包内存共享。

## 总结

一般而言, 构建 5G 核心网中的 SBA 架构有集成式或分布式多种方法, 并可在基于 NFV 架构的虚拟机或容器中进行部署。本文所述的测试结果表明, 集成式 SBA 架构以其高事务吞吐率和低延迟的特性, 相比其他方案有着更优秀的性能表现; 同时, 该方案还可带来更为全面的互操作性。但是, 集成式限制了灵活性, 所以从长远演进来看, 我们可以考虑采用分布式方法, 并通过一些优化措施来提高性能, 同时保持灵活性。

### 联合编写单位及作者 (作者按姓氏笔画排序):

#### 中国移动研究院网络与 IT 技术研究所

孙滔 刘超 陆璐

#### 英特尔

Khaled Qubaiah Balendu Burla 严峰 陈艳庆 贺楠

### 参考文献

- 1) 3GPP TS 23.501 – 5G 系统架构
- 2) 3GPP TS 23.502 – 5G 系统流程
- 3) 3GPP TS 29.500 – 基于服务的架构的技术实现
- 4) NGINX HTTP 服务器 -- <https://nginx.org/en/docs/>
- 5) RapidJSON -- <http://rapidjson.org/>
- 6) OpenAPI – <https://www.openapis.org/>



英特尔技术特性和优势取决于系统配置, 并可能需要支持的硬件、软件或服务才能激活。没有计算机系统是绝对安全的。更多信息, 请见 Intel.com, 或从原始设备制造商或零售商处获得更多信息。描述的成本降低情景均旨在特定情况和配置中举例说明特定英特尔产品如何影响未来成本并提供成本节约。情况均不同。英特尔不保证任何成本或成本降低。

英特尔、Intel, 至强是英特尔公司在美国和其他国家的商标。英特尔商标或商标及品牌名称资料库的全部名单请见 intel.com 上的商标。

\*其他的名称和品牌可能是其他所有者的资产。0618/SHA/OGI/XX/PDF

# OTII 服务器技术方案及行动计划书

面向下一代网络的深度定制服务器

## 联合编写单位

中国移动

英特尔

## 1 概述

网络转型是运营商发展的必由之路。从内生原因来看, 随着运营商网络流量激增、业务多样化加快, 传统网络设施架构越来越无法满足业务发展的需要, 业务需求的多样化与个性化要求网络更加灵活和弹性; 从外部原因来看, 长期以来互联网成功探索了低成本、高效率技术路线, 例如开源软件、开放硬件, 以及软件定义和云化架构等, 这些正在冲击着运营商的网络价值和利润空间。

为应对这一挑战, 三大运营商分别提出下一代网络发展愿景, 包括中国移动的 NovoNet、中国电信 CNet2025 和中国联通 CUBE-Net2.0, 以降低网络成本、实现业务敏捷高效。随着运营商网络转型与重构的逐步推进, 打造一个适应网络转型、满足未来电信应用需求的硬件架构平台尤为重要, 从而以满足运营商愈加凸显的核心网与接入网网络云化、以及新型 MEC (Multi-Access Edge Computing, 多接入边缘计算) 的业务需求。

为此, 2017 年 11 月, 中国移动联合中国电信、中国联通、中国信通院、英特尔等公司, 在 ODCC (Open Data Center Committee, 开放数据中心委员会) 共同发起了面向电信应用的开放 IT 基础设施项目——OTII (Open Telecom IT Infrastructure), 首要目标就是形成运营商行业面向电信应用的深度定制、开放标准、统一规范的服务器技术方案及原型产品。

OTII 项目得到了产业界的广泛关注, 迄今为止已经得到传统电信设备、服务器、部件、固件和管理系统等领域的超过 20 家主流供应商的积极支持。OTII 项目组联合业界合作伙伴, 开启了针对下一代网络业务的定制化服务器技术方案与产业生态的探索。

## 2 需求及挑战

运营商的机房分集团级、省级、地市、区县、接入（包括汇聚机房、综合接入机房、基站等）等众多层次，每个层次承载不同的网络及边缘业务。例如核心网用户面网元多部署在地市机房，无线接入网 RAN-CU 功能虚拟化优先选择在区县边缘机房，MEC 业务覆盖区县、接入等各类机房。

### 2.1 业务需求

不同的上层业务由于负载特征不同，对底层硬件平台提出不同的技术需求，具体包括：

- 服务器性能需求。不同网元的性能关注点有所差异，例如转发面网元对于网络带宽、转发时延和性能稳定性要求极高；
- 时钟与同步精度要求。对于部分涉及计费功能的网元应用，服务器需要具有较高的时钟精度，对于无线接入网元应用，服务器还需同时具有较高的时间同步精度；
- 异构计算要求。大量网元的虚拟化部署，如核心网和 RAN 的 CU/DU 虚拟化等，需要通过配置基于 FPGA、ARM 等的网卡或其它硬件加速方案卸载部分 CPU 功能，以节约 CPU 资源并提高处理效率。

此外，在开放的网络及边缘产业链中，底层硬件平台应尽量采用统一的设计和部件选型，以减少上层多个 VIM 平台和 VNF 业务的适配工作。

### 2.2 边缘机房环境挑战

边缘机房与核心数据中心相比条件较为特殊，很多方面无法满足常规通用服务器的部署及运行要求，给边缘服务器带来如下挑战：

- 机架空间限制。传输及接入机房机架多为 600mm 深，少部分达到 800mm，远小于数据中心 1200mm 的机架深度，常规通用服务器无法部署；
- 环境温度稳定性。由于边缘机房的制冷系统的稳定性无法有效保证，在制冷系统故障时，机房温度可能会达到 45°C 以上，因此服务器最好具备原电信设备的温度适应能力；

- 机房承重限制。众多边缘机房普遍低于数据中心承重标准，对服务器的部署密度造成影响。

此外，部署于边缘机房的服务器还将面临抗震要求较高、机房空气质量欠佳等诸多挑战。

边缘机房相对大型数据中心条件差异巨大、数量众多，导致改造成本高，边缘的业务特点又限制了选址新建机房的灵活性。因此，以改造机房来适应现有服务器难度较大，对服务器进行定制设计是更为可取的方案。

### 2.3 运维管理需求

OTII 边缘服务器承载网络及边缘业务，并分散部署在大量的边缘机房，所以需要有强大管理运维能力保障：

- 统一管理接口。服务器需要有统一完善的管理接口要求，统一是因为多样化的管理接口将给 VIM/PIM 对接带来大量适配工作，完善是为了更加有效的管理服务器；
- 运维高效。边缘服务器应尽量降低对运维人员水平的要求，使运维操作尽量简单，例如统一清晰的故障指示和热插拔操作等，提高运维效率。
- 故障诊断及自愈。建议服务器 BMC 具备基本故障诊断及上报能力，并提供硬件平台自愈方案。

## 3 技术方案

针对以上需求及挑战，OTII 项目结合运营业务需求和面临的挑战，联合行业合作伙伴进行了一系列前期调研分析，确定了初步的技术方案。

### 3.1 配置规格及关键部件

在配置规格方面，核心网控制面网元对 CPU、内存需求较高，同时机房环境相对较好，宜采用主流两路服务器；对于用户面网元、RAN 侧网元、MEC 等下沉到边缘的应用，负载以网络流量转发为主，从功耗、空间和性能需求等多方面考虑，倾向于单路低功耗方案，例如采用英特尔至强 D 等 SoC 方案。同时，考虑到电

信业务多网络平面、网络加速和边缘异构计算等要求，也需要预留一定的扩展插槽。

在主板设计方面，对于两路 CPU 的配置，将采用 NUMA Balance 设计，以满足多 PCIe 设备应用场景下的性能及稳定性。

在部件规格方面，一是对网卡的性能、兼容性等有较高要求，可能需要推动 25G、100G 网卡的应用以及生态的不断完善，同时加强对部件的选型要求或者形成比较严格的认证部件列表；二是对于网卡加速功能要求比较迫切，需将部分功能卸载至网卡，以提高网络处理速度并降低 CPU 负载，具体功能包括网络转发、IPSec、DPI 和 HQoS 等。

### 3.2 物理形态、供电及环境适应性

OTII 边缘服务器不但需要适应边缘机房的环境，还需要满足各类边缘业务在边缘机房的交付、部署与本地运维需求。具体包括：

- 为适应边缘数据中心空间限制和机架深度，服务器深度推荐不超过 470mm，最多不超过 500mm；
- 开关、指示灯、硬盘、线缆等采用前维护，以提高维护效率，减少对机架后方空间的要求；
- 风扇能够支持热插拔，保证在线清理或更换；
- 部分边缘应用场景，可能需要支持在更宽的温度范围（例如 -5 度 - 45 度）内运行，并可能需要满足 B 级 EMC、抗震等需求；
- 边缘数据中心功率和承重能力有限，对服务器密度要求不高，一般计算型服务器 2U 高度即可，存储型服务器可进一步放宽；但考虑边缘业务未来交付方便，可能会考虑“机框 + 多节点”的整体设计形态。

### 3.3 BIOS、BMC 及硬件管理

OTII 项目将与服务器、BMC 及 FW 厂商合作，开发统一的服务器硬件监控、远程管理功能，使上层管理平台能够无差别的与不同供应商、不同配置规格的服务器对接。

## 4 阶段性成果

OTII 项目成立以来，三家运营商持续在内部收集、分析业务需求，合作伙伴也提供了大量技术方案建议。经过多次的沟通讨论，已经在配置规格、核心部件选型、主板设计和硬件形态等方面达成了许多共识，多项技术研究、开发和测试验证工作正按计划逐步推进。

在这些前期工作的基础上，现已推出首款 OTII 深度定制服务器参考设计原型机。此原型机总体上反映了 OTII 在配置规格、硬件设计和管理维护等方面的技术要求 470mm (D) x 434mm (W) x 87mm (H) 的机箱尺寸，适应边缘机房的空間、供电条件，并满足高达 45 摄氏度的恶劣边缘环境要求。在配置方面也具备较强的可扩展性，以单路设计为例，原型机最多可支持 18 核的处理器，512G 内存，具备 8 个 2.5 寸盘位，并预留 3 个 PCIe 插槽。

下表是该原型机与通用机架式服务器的主要区别：

	机架式服务器 (一般情况)	OTII 边缘服务器原型机
深度	> 700mm	≤ 470mm
功耗	> 250W	< 150W
运维方式	前后维护	前维护（除风扇、电源）
风扇设计	机箱中部	机箱后部、热插拔
适应温度	10°C - 35°C	长期 5°C - 40°C 短期 -5°C - 45°C

原型机已初步具备运行能力，后续将在此基础上，进一步完善和验证软硬件兼容能力、硬件管理能力等，并将结合实际 5G、MEC 等业务测试，进一步明确后续的配置规格和部件选型。

## 5 未来行动计划

5G 是运营商网络转型和新业务发展的重要契机，核心网、接入网的云化和边缘计算的兴起，都对以 IT 化为标志的新一代网络基础设施提出了新的要求，也创造了新的市场空间。

OTII 服务器技术方案及行动计划书

中国运营商在全球 5G 引领中发挥着重要作用，从标准、技术、产业等方面多点发力，全面突破。目前，5G、MEC 和 NFV 等应用已经在开展试点，取得了不少成果与进步，当然在诸多问题上还有待进行攻关突破。

为此，OTII 项目联合产业界制定了未来行动计划：

- 2018 年 6 月，推出 OTII 服务器原型设计方案，推动结合实际 NFV、MEC 等业务进一步开展测试验证、优化现有方案；
- 2018 年 10 月份，在 ODC 峰会向产业界发布 OTII 服务器阶段性技术研究和测试成果；
- 2019 年，基于英特尔新一代平台和前期配置规格、部件选型和硬件管理等研究成果，正式启动 OTII 主板和硬件设计；
- 2020 年，实现 OTII 服务器规模应用，支撑 5G 业务发展。

OTII 项目组希望与产业链一起，在面向电信应用的 IT 基础设施方面形成普遍共识与开放标准，打造能够更好满足未来电信应用需求、高效率低成本的通用硬件产品，为中国乃至全球运营商的网络转型提供范例、做出贡献。

### OTII 项目得到产业链支持

联合发起单位



目前参与单位



## 物联网用例要求将满足您的 5G 需求

如何衡量 5G 的准备情况及其对您的网络战略的影响

作者：Michele Pelino、Andre Kindness 和 Dan Bieler  
2018 年 2 月 9 日

### 阅读本报告的原因

供应商和媒体受到 5G 网络所承诺的能够让企业部署支持物联网 (IoT) 的用例 (需要高带宽、超低延迟和差异化服务特征) 的前景的极大鼓舞。5G 网络标准仍处于开发中，预计到 2019 年才会在选定的大城市开始广泛商业部署。本报告就 5G 网络可以在物联网举措中的何处发挥作用以及如何为 5G 网络投入使用做准备等问题向基础设施和运营 (I&O) 利益相关者提供见解。

### 要点

- 全球 5G 标准正在开发中**  
第三代合作伙伴计划 (3GPP) 正在快速跟进全球 5G 网络标准的发展。网络运营商和设备制造商正在部署 5G 试验和概念验证 (POC)。
- 5G 网络支持特定的物联网用例**  
支持 5G 的物联网用例包括与支持传感器的智能互联设备进行大规模连接，支持关键型任务通信要求，以及在移动设备上提供高品质增强宽带体验。

### 目录

- 5G 网络蓄势待发 — 但什么时候到来？
- 5G 网络具有高带宽和低延迟等任务关键型优势
- 聚焦用例来确定 5G 网络的影响
- 收集观点并基于 3GPP 和电信发展建立您对 5G 上市时间的期望

### 建议

评估 5G 网络演进对您的物联网战略的影响

补充材料

### 相关研究文献

- [Adapt Your Network Strategy To Thrive In A Shifting Ecosystem](#)
- [Implementation Timelines Will Drive Your IoT Low-Power Wireless WAN Technology Decision](#)
- [Pick The Right IoT Network Strategy](#)

与同事分享报告。通过分享研究提升您的会员资格。

## 5G 网络蓄势待发 — 但什么时候到来?

从企业利益相关者到无线网络运营商再到设备制造商等，大家都在期待着 5G 网络带来的新机遇、商业模式和应用。伴随机遇而来的是等待和疑惑。它什么时候准备好？我怎么利用它的潜力？新兴的 5G 网络不会取代目前的无线网络技术，它们将与包括 LTE-A、NB-IoT 和专有低功率广域网 (LPWAN) 技术在内的现有无线网络共存。<sup>1</sup> 每种网络都有特定的带宽能力和网络特征，可以满足具有多样化连接要求的众多用例的需求（见图 1）。<sup>2</sup>

图 1 5G 网络将与当前的网络技术共存

网络技术	安全性提升	低延迟	电池寿命长	服务质量	远程传输	高带宽
5G	●	●	●	●		●
NB-IoT	●		●	●	●	
LoRa	●		●	●	●	
LTE-A	●	●		●		●
Sigfox	●		●	●	●	

### 5G 网络具有高带宽和低延迟等任务关键型优势

为什么企业利益相关者期待 5G 网络推出？因为标准化的 5G 网络承诺将 2G、3G、4G/LTE、有线技术和 Wi-Fi 的优势组合到一个平台上，来提供高密度、高速度、可靠、低功耗的网络连接。具体来说，它们承诺：

- 通过增强的带宽支持视频密集型应用和服务。5G 网络提供更宽的频谱和 10,000 Mbps 的理论带宽来支持复杂的应用。诸如增强现实 (AR)、虚拟现实 (VR)、增强型实时视频和多媒体应用等新兴的视频密集型应用都正在推动对数据的需求。<sup>3</sup> 2017 年美国 AT&T 的移动网络上的数据流量比 2007 年高 2,500 倍。<sup>4</sup> 2016 年，移动视频流量占有所有移动数据流量的 60%。预计到 2021 年年底，北美地区对数据流量的需求将达到每部活跃智能手机每月 6.9 千兆字节。<sup>5</sup>
- 根据特定的服务特征分配网络资源。5G 网络使无线网络运营商能够将物理网络分割成多个虚拟网络。提供差异化按需服务的企业可以根据特定的物联网用例、用户细分或地理位置对其流量进行细分。例如，一个网络“切片”可以以指定的延迟、数据速率和安全级别为智能电表提供连接。另一个网络切片可以在紧急情况下为关键型任务服务提供即时网络容量。德国电信、爱立信和韩国电信演示了一个洲际 5G 试验网络，在该网络中，德国电信和韩国电信网络切片在其他运营商的网络中可用。<sup>6</sup>
- 为实时物联网传感器和设备通信提供超低延迟。彼此通信并且几乎瞬间处理信息的支持物联网的智能机器和设备需要极低的延迟。5G 网络将支持低至 1 毫秒的延迟级别。需要极低的延迟才能支持关键型应用，例如依赖全球即时数据馈送的高频交易应用。<sup>7</sup> 需要超低延迟的物联网用例的其他例子还包括公共安全、远程医疗和工业制造。无缝的 AR 和 VR 应用也需要超低延迟以实现最佳用户体验。

- 支持需要特定功率和环境特征的连接。像互联农业系统和风力涡轮机等预期寿命为 7 到 10 年或更长时间的用例需要覆盖范围大、电池寿命长的低功耗传感器。为了抓住这些 5G 应用商机，威瑞森和其他电信运营商通过 Wi-Fi 在体育场馆和会议中心内增强了他们的蜂窝网络服务，以支持小范围内的高密度设备。5G 降低了在 Wi-Fi 和蜂窝技术之间推拉设备的复杂性和难度，能确保移动设备保持连接。

### 聚焦用例来确定 5G 网络的影响

为了确定能从 5G 获得什么利益，企业利益相关者必须针对 5G 网络的差异化特征评估其具体的用例要求。5G 网络差异化的初始焦点通常突出高数据传输速度和低端到端延迟（见图 2）。但评估 5G 网络满足与电池寿命、安全性和服务质量 (QoS) 期望有关的应用要求的能力也很重要（见图 3）。根据对整个供应商和移动网络运营商价值链中的利益相关者的访谈，我们将以下物联网用例和市场确定为 5G 解决方案的初始焦点：<sup>8</sup>

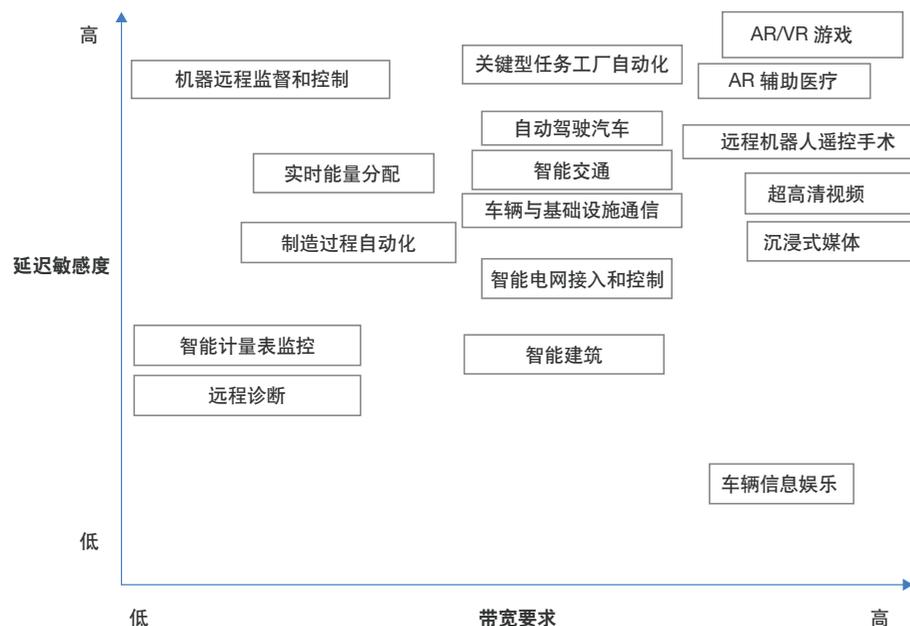
- 互联车辆应用。虽然自主车辆系统并不是什么新事物，但 5G 提供了诸如在 SAE 自动驾驶级别 4 和 5 上部署自动驾驶应用的新机会。<sup>9</sup> 这些驾驶级别上的用例包括在任何道路上、任何状况下无人参与的车辆数据传输和远程自主车辆控制。这些用例需要 5G 网络特征（包括覆盖范围广、数据吞吐量高、超低延迟和核心网络切片）来实现优先服务配置。
- 智能工业制造。智能工厂使用支持物联网的互联机器和设备来提高生产线效率、降低能耗以及对关键时间敏感的操作进行过程控制。<sup>10</sup> 将电线连接到工厂的每个角落可能需要昂贵的安装和维护费用，而 5G 提供了一个低成本替代方案。5G 还可以在无法运行有线网络的地方提供连接性，例如放热室等高温地点，或穿越大面积区域的管道等结构处。在关键型任务制造环境中使用无线网络需要保证无线连接的可靠性和容量与有线环境相似。5G 网络可以通过提供堪比现有有线解决方案的低延迟、高可靠性和大容量能力的无线连接来提供这些保证。
- 增强的企业移动设备接入能力。垂直市场的企业可以使用支持 5G 的移动宽带解决方案来满足带宽和延迟敏感的应用的要求。增强型移动宽带解决方案通过蜂窝网络提供极高的（千兆位/秒范围内）数据速率。这些带宽能力将满足日益增长的对现有 3D 视频、流式音频和视频服务的需求以及新兴 AR、VR 和超高清 (UHD) 视频 (4K/8K) 应用的性能要求。公司可以通过在大型开放区域（如水处理厂和油田）增加安全摄像头数量，来减少执行安全巡查的车辆和人手，从而增加安全性和降低成本。
- 面向媒体和娱乐领域的无处不在的多媒体内容。数字媒体和娱乐公司正在通过整合广播电视、数字媒体和越来越多由用户生成的内容来加深与客户的关系。他们也在考虑为多种类型的最终用户设备（包括智能手机、平板电脑、电视、手表和 VR 设备）提供内容。通过提供高分辨率媒体和娱乐体验、为高质量视频服务增加带宽、连接并行用户以及为媒体和娱乐内容提供严格的 QoS，5G 网络可帮助这些公司实现其目标。
- 在线和远程医疗保健。医疗保健提供商可以利用 5G 解决方案来提高患者护理和医疗服务的质量。快速的数据流和有保障的服务水平将使医生能够使用 UHD 数据链接来远程监测患者状态，使患者在家中就能接受实时诊断评估。<sup>11</sup> 外科医生可以在手术中远程操控依赖超快速、低延迟 5G 网络的机器人和设备。超低延迟还能实现手术室环境下的 AR 体验。

面向基础设施和运营专业人员  
**物联网用例要求将满足您的 5G 需求**  
 如何衡量 5G 的准备情况及其对您的网络战略的影响

2018 年 2 月 9 日

，**智能城市和公用事业**。城市治理者面临着降低成本和提高服务的巨大压力。通过远程读取计量表而不是派人到现场获取数据，公用事业部门可以减少开销。内华达州的交通部门已经制定了综合运用摄像头、灯光、传感器和监视器等手段的战略，以减少交通拥堵、加快事故响应时间和提高安全性。<sup>12</sup>

图 2 延迟敏感度和数据速率要求因 5G 用例而异



面向基础设施和运营专业人员  
**物联网用例要求将满足您的 5G 需求**  
 如何衡量 5G 的准备情况及其对您的网络战略的影响

2018 年 2 月 9 日

图 3 延迟和数据速率要求因物联网用例而异

用例	5G 用例	重要要求
汽车	<ul style="list-style-type: none"> <li>自动驾驶汽车</li> <li>车辆与基础设施通信</li> <li>车辆信息娱乐应用</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>远程传输</li> <li>高带宽</li> <li>低延迟</li> <li>服务质量</li> </ul>
工业制造	<ul style="list-style-type: none"> <li>关键型任务工厂自动化</li> <li>远程机器监督和控制</li> <li>制造过程自动化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>低延迟</li> <li>电池寿命长</li> <li>服务质量</li> </ul>
医疗保健	<ul style="list-style-type: none"> <li>远程机器人遥控手术</li> <li>远程患者监护</li> <li>增强现实辅助医疗</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>远程传输</li> <li>低延迟</li> <li>服务质量</li> </ul>
媒体和娱乐	<ul style="list-style-type: none"> <li>超高清视频 (4K/8K)</li> <li>沉浸式媒体应用</li> <li>增强现实/虚拟现实游戏</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>高带宽</li> <li>低延迟</li> <li>服务质量</li> </ul>
智能城市和公用事业	<ul style="list-style-type: none"> <li>智能建筑</li> <li>智能交通</li> <li>智能电表监控</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>带宽消耗取决于用例</li> <li>电池寿命长</li> </ul>

**收集观点并基于 3GPP 和电信发展建立您对 5G 上市时间的期望**

2017 年，开发全球 5G 标准的国际标准组织 3GPP 回应了成员要求加速 5G 网络标准开发的呼声。随着大量的 LPWAN 选项推出，基础设施和运营专业人员不能仅根据 5G 的技术方面，还要根据其时间表来确定 5G 的适用性。<sup>13</sup>他们需要：

- ，**监督 3GPP 在完成标准方面的进展**。3GPP 同意将支持增强型移动宽带用例的非独立 5G 新无线标准的目标发布日期提前到 2017 年 12 月，而预计完成时间是 2018 年 3 月。<sup>14</sup>但是，在 2018 年 9 月前，预计不会推出核心网络架构标准。<sup>15</sup>
- ，**关注 5G 时间表并与您的路线图进行比较**。一旦最终的 5G 标准推出，OEM、硅芯片组以及网络基础设施制造商（如爱立信、华为、英特尔、高通和三星等）将开发符合标准的传感器、设施和设备。根据 3GPP 提出的标准发布时间表，我们预计 2019 年将进行 5G 网络初步部署，2020 年将扩大网络部署范围和 5G 设备可用性。Forrester 估计，到 2025 年，企业客户和消费者才能看到 50% 的全球覆盖率，尽管某些国家 / 地区实现全覆盖可能会提早一些。<sup>16</sup>

面向基础设施和运营专业人员

物联网用例要求将满足您的 5G 需求

如何衡量 5G 的准备情况及其对您的网络战略的影响

2018 年 2 月 9 日

，跟踪演示 5G 功能和准备情况的试验和 POC。在最终的 3GPP 5G 网络标准发布之前，一些先行一步的无线网络运营商正在进行广泛的测试，并参与了支持软件的无线 5G 现场测试，以模拟 5G 用例和部署场景（见图 4）。

图 4 全球电信运营商和供应商正在进行大量试验来为 5G 网络部署做准备

电信服务提供商	5G 试验说明	技术供应商合作伙伴
AT&T	<ul style="list-style-type: none"> <li>在德克萨斯州奥斯汀和韦科、密歇根州卡拉马祖以及印第安纳州的南本德进行 5G 固定无线试验</li> <li>测试了毫米波技术</li> <li>企业用例集中在互联网接入、VPN、统一通信和 4K 视频流</li> <li>了解树叶、建筑材料、设备位置和天气如何影响系统</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>爱立信</li> <li>英特尔</li> <li>诺基亚</li> <li>三星</li> </ul>
德国电信	<ul style="list-style-type: none"> <li>在其位于柏林市中心的商业网络上演示了速度超过 2 Gbps、延迟时间为 3 毫秒的 5G 新无线技术。</li> <li>采用最新版本的 3GPP 非独立新无线标准，计划于 2017 年 12 月完成</li> <li>演示了端到端网络切片，包括位于德国波恩德国电信 5G:haus 实验室的无线接入、传输和核心网络</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>华为</li> </ul>
Orange	<ul style="list-style-type: none"> <li>与 Orange、爱立信和 PSA 集团合作，开展包括车与车、车与万物架构在内的 5G 汽车应用试点，以实现智能交通系统</li> <li>在马德里的一条道路上进行平均连接速度为 15 Gbps 的 5G 试验；结果表明，在此速度下，1 秒内可以下载四部高清电影</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>爱立信</li> <li>PSA 集团（一级汽车制造商）</li> </ul>
韩国电信	<ul style="list-style-type: none"> <li>为平昌 2018 年冬奥会部署 5G 网络</li> <li>冬奥会与会者在江陵奥林匹克公园、首尔光化门和其他奥运场馆可以接入千兆位速度的无线宽带低延迟视频和现场直播内容</li> <li>韩国电信计划提供 35,000 条有线线路；一个可以同时托管 250,000 台设备的无线网络；5,000 个无线接入点；一个额外数据中心</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>英特尔</li> </ul>

面向基础设施和运营专业人员

物联网用例要求将满足您的 5G 需求

如何衡量 5G 的准备情况及其对您的网络战略的影响

2018 年 2 月 9 日

图 4 全球电信运营商和供应商正在进行大量试验来为 5G 网络部署做准备（续）

电信服务提供商	5G 试验说明	技术供应商合作伙伴
西班牙电信	<ul style="list-style-type: none"> <li>与诺基亚签署协议开展诺基亚 4.5G、4.5G Pro 和 4.9G 技术试验</li> <li>专注于大规模多输入 / 多输出 (MIMO) 和网络切片等技术</li> <li>与中兴和华为签署了 5G 开发协议</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>华为</li> <li>诺基亚</li> <li>中兴</li> </ul>
澳洲电讯	<ul style="list-style-type: none"> <li>与爱立信一道使用 26 GHz 毫米波频谱完成了 5G 数据呼叫</li> <li>在黄金海岸测试中心测试 3GPP 技术，包括具有自适应波束成形和波束追踪技术的 MIMO 天线</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>爱立信</li> </ul>
泰勒斯	<ul style="list-style-type: none"> <li>与华为一道在温哥华的 5G Living Lab 使用 3GPP 标准平台完成 5G 无线连接</li> <li>建立试点网络，以反映商业中心办公设备和传输网络上的现实世界点对点连接</li> <li>网络基于 3GPP 5G 基础技术在 28 GHz 连接上利用设备</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>华为</li> </ul>
威瑞森	<ul style="list-style-type: none"> <li>在美国 11 个地形、社区布局和人口密度不同的市场开展了 5G 固定无线商用和住宅试验</li> <li>利用 28 GHz 频谱和先进的波束成形技术</li> <li>计划 2018 年在三到五个美国市场推出 5G 固定无线住宅服务</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>爱立信</li> <li>英特尔</li> <li>三星</li> <li>高通</li> </ul>

建议

评估 5G 网络演进对您的物联网战略的影响

虽然无线网络运营商、设备制造商、标准组织和 OEM 正致力于制定标准并演示 5G 网络优势，但基础设施和运营利益相关者必须：

- ，认识到 5G 网络和设备可用性将局限于特定地区。每个无线网络运营商都在为 5G 网络部署制定自己的战略路线图和时间表。Forrester 预计 5G 网络首先将在大城市推行。移动运营商将根据预期的企业和消费者愿望，在特定的城市或地区确定其 5G 网络升级时间（也可选择继续实施 3G 或 4G 网络），以支持 5G 连接和服务、设备可用性、商业案例场景（如智能电表或远程自主车辆控制）（前者更适合有覆盖的城市，后者需要无处不在的连接覆盖）。
- ，根据物联网用例需求，权衡是使用 5G 还是其他选项。为了优化您的网络投资决策，需要识别哪些物联网设备和用例需要 3G、4G、新兴的 5G 网络功能，或其他 LPWAN 技术，如 LoRa 或 NB-IoT。调查能否通过当前可用的网络替代方案启用您的智能互联物联网设备和流程。无线网络运营商正在现有 LTE 网络上部署新标准化的 3GPP LPWAN 技术，例如 Cat-M1 和 NB-IoT；这些网络选项可以通过为各种低成本物联网设备提供大规模覆盖和支持服务来满足当前众多物联网用例的要求。<sup>17</sup>

面向基础设施和运营专业人员

物联网用例要求将满足您的 5G 需求

如何衡量 5G 的准备情况及其对您的网络战略的影响

2018 年 2 月 9 日

- 确定影响客户体验的启用新网络的 KPI。无线网络运营商正在超越传统关键绩效指标 (KPI) 将网络性能监测功能扩展到反映企业用户不断变化的应用和使用要求的新服务 KPI。例如，网页浏览和视频流内容发布时间对物联网购买行为和最终用户如何感知其网络具有显著影响。<sup>18</sup> 这些以网络为中心的 KPI 直接针对用户体验，并强调网络在提供无缝最终用户体验方面的重要性。
- 预计新的合作伙伴生态系统将在 5G 价值链参与者中出现。Forrester 预计合作伙伴生态系统和战略关系会在无线网络运营商、基础设施和设备提供商、内容提供商和应用开发人员中形成，因为他们都试图货币化 5G 网络支持的内容、服务和连接性。识别与您的不断演进的 5G 物联网服务具有系统相关性的生态系统参与者。

### 与分析师接洽

通过与 Forrester 思想领袖合作，将我们的研究成果运用于您的特定业务和技术计划中，让您对自己的决策更有信心。

#### 分析师垂询

为了帮助您将研究付诸实践，请与分析师联系，在 30 分钟的电话会谈中讨论您的问题，您也可以选择让我们通过电子邮件给予回复。

了解详情。

#### 分析师咨询

以量身定制的战略会议、研讨会或演讲的形式，在具体问题上与分析师合作，将研究成果转化为行动。

了解详情。

#### 网络研讨会

加入我们的在线会议，了解影响您的业务的最新研究成果。每个电话都包括分析师问答和幻灯片，并可按需提供。

了解详情。



#### Forrester 针对 iOS 和 Android 的研究应用。

无论您身在何处，始终在竞争中保持领先。

面向基础设施和运营专业人员

物联网用例要求将满足您的 5G 需求

如何衡量 5G 的准备情况及其对您的网络战略的影响

2018 年 2 月 9 日

### 补充材料

#### 为撰写此报告而采访的公司

非常感谢来自以下公司的人员为我们完成本报告贡献宝贵时间。

博世	Orange
德国电信	高通
迪士尼	三星集团
通用电气	西门子公司
HCL 技术公司	Sigfox
华为技术公司	塔塔通讯
英特尔	西班牙电信
诺基亚	澳洲电讯

### 尾注

- <sup>1</sup> LTE 代表“长期演进” (long-term evolution)；NB-IoT 代表“窄带物联网” (narrowband internet of things)。
- <sup>2</sup> 查看 Forrester 报告“Implementation Timelines Will Drive Your IoT Low-Power Wireless WAN Technology Decision”。
- <sup>3</sup> 查看 Forrester 报告“Implementation Timelines Will Drive Your IoT Low-Power Wireless WAN Technology Decision”。
- <sup>4</sup> 资料来源：“AT&T Launches 5G Trial with DIRECTV NOW in Austin”，AT & T 新闻稿，2017 年 6 月 27 日 ([http://about.att.com/story/att\\_launches\\_5g\\_trial\\_with\\_directv\\_now\\_in\\_austin.html](http://about.att.com/story/att_launches_5g_trial_with_directv_now_in_austin.html))。
- <sup>5</sup> 资料来源：思科 (<https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/mobile-white-paper-c11-520862.html>)。
- <sup>6</sup> 德国电信、爱立信联合构建并演示了洲际 5G 试验网络。德国电信和韩国电信网络切片在其他运营商的网络中可用。资料来源：“World’s first 5G federated network slicing grants global reach”，爱立信新闻稿，2017 年 2 月 15 日 (<https://www.ericsson.com/en/press-releases/2017/2/worlds-first-5g-federated-network-slicing-grants-global-reach>)。
- <sup>7</sup> 资料来源：Diego Asturias，“Low latency networks for financial and trading applications”，Router Freak，2017 年 5 月 16 日 (<http://www.routerfreak.com/low-latency-networks-financial-trading-applications/>)。
- <sup>8</sup> 资料来源：5G Americas ([http://www.5gamericas.org/files/9615/1217/2471/5G\\_Service\\_and\\_Use\\_Cases\\_FINAL.pdf](http://www.5gamericas.org/files/9615/1217/2471/5G_Service_and_Use_Cases_FINAL.pdf))。
- <sup>9</sup> 查看 Forrester 报告“Autonomous Vehicles Will Reshape The Global Economy”。
- <sup>10</sup> 资料来源：Rick Burke、Adam Mussomeli、Stephen Laaper、Martin Hartigan 和 Brenna Sniderman，“The smart factory”，Deloitte Insights，2017 年 8 月 31 日 (<https://www2.deloitte.com/insights/us/en/focus/industry-4-0/smart-factory-connected-manufacturing.html>)。
- <sup>11</sup> 资料来源：Kelly Turner，“New meaning to home for the holidays”，HME 新闻博客，2017 年 12 月 18 日 (<http://www.hmenews.com/blog/new-meaning-home-holidays>)。

面向基础设施和运营专业人员

物联网用例要求将满足您的 5G 需求

如何衡量 5G 的准备情况及其对您的网络战略的影响

2018 年 2 月 9 日

<sup>12</sup> 资料来源：Larry Brown, “Collaborating to create smart communities”, American City and County, 2017 年 12 月 6 日 (<http://americacityandcounty.com/smart-cities/collaborating-create-smart-communities>)。

<sup>13</sup> 查看 Forrester 报告 “[Implementation Timelines Will Drive Your IoT Low-Power Wireless WAN Technology Decision](#)”。

<sup>14</sup> 在非独立模式下,连接固定在 LTE 中,同时使用 5G 新无线接入技术载波提高数据速率和减少延迟。资料来源:3GPP ([http://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1836-5g\\_nr\\_workplan](http://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1836-5g_nr_workplan))。

<sup>15</sup> 资料来源：3GPP ([http://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1836-5g\\_nr\\_workplan](http://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1836-5g_nr_workplan))。

<sup>16</sup> 资料来源：Michael Potuck, “T-Mobile announces nationwide plan for 5G coverage, calls out AT&T and Verizon over misleading claims”, 9to5Mac, 2017 年 5 月 2 日 (<https://9to5mac.com/2017/05/02/t-mobile-nationwide-5g-plans/>)。

<sup>17</sup> 查看 Forrester 报告 “[Implementation Timelines Will Drive Your IoT Low-Power Wireless WAN Technology Decision](#)”。

<sup>18</sup> 资料来源：Jia Wertz, “How To Compete For Consumers Online While Attention Spans Diminish”, Forbes, 2017 年 3 月 17 日 (<https://www.forbes.com/sites/jiawertz/2017/03/17/how-to-compete-for-consumers-online-while-attention-spans-diminish/#171231d26667>)。



## 我们与业务和技术负责人合作，以制定能够助推企业发展的以客户为中心的战略。

### 产品和服务

- › 核心研究和工具
- › 数据和分析
- › 同行协作
- › 分析师参与
- › 咨询
- › 活动

## Forrester 的研究和见解针对您的角色和关键业务举措量身定制。

### 我们服务的角色

#### 营销和战略专业人员

- CMO
- B2B 营销
- B2C 营销
- 客户体验
- 客户见解
- 电子商务和渠道战略

#### 技术管理专业人员

- CIO
- 应用开发和交付
- 企业架构
- › 基础设施和运营
- 安全与风险
- 采购和供应商管理

#### 技术行业专业人员

- 分析师关系

### 客户支持

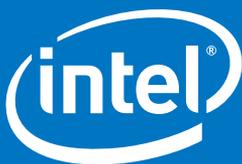
有关硬拷贝或电子副本的信息，请与客户支持联系，电话是：+1 866-367-7378 或 +1 617-613-5730，也可通过电子邮件联系，地址为：[clientsupport@forrester.com](mailto:clientsupport@forrester.com)。我们为学术性和非营利性机构提供批量折扣和特别优惠。

Forrester Research (纳斯达克代码：FORR) 是世界上最具有影响力的研究和咨询公司之一。我们与业务和技术负责人合作，以制定能够助推企业发展的以客户为中心的战略。Forrester 提供拥有自主知识产权的研究、数据、定制咨询以及独家高层同行团队研讨和活动，所有这些都瞄准了一个非凡而明确的目的：挑战客户的思维方式，帮助他们领导企业变革。如需了解更多信息，请访问 [forrester.com](http://forrester.com)。

136549

如欲了解更多关于英特尔® 技术助力5G创新的细节，请访问：  
<https://www.intel.cn/content/www/cn/zh/wireless-network/5g-technology-overview.html>

如欲了解更多关于英特尔助力通信服务提供商网络转型的细节，请访问：  
<https://www.intel.cn/content/www/cn/zh/communications/network-transformation.html>



© 2018 英特尔公司版权所有

英特尔、Intel 标识、至强、凌动、傲腾、Altera、英特尔 Go 是英特尔公司在美国和 / 或其他国家或地区的商标。英特尔商标或商标及品牌名称资料库的全部名单请见 INTEL.COM 上的商标。

\* 其他的名称和品牌可能是其他所有者的资产。