

## 5G 之路

# 下一代蜂窝通信的主要特点和所需的主要技术

作者： **David Maidment, Mobile Segment Marketing, ARM**  
**Neil Wermuller, Senior Product Marketing Manager, ARM**

## 导言



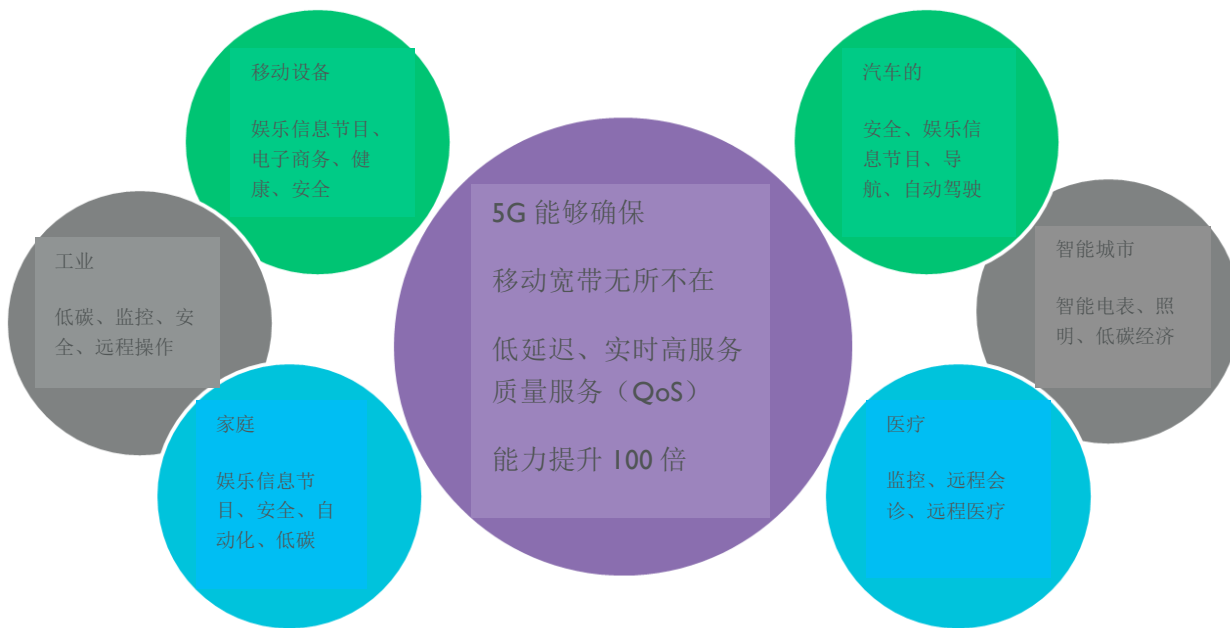
在过去的 20 年中，手机已实现了爆炸式增长，成为我们日常生活中的一个重要部分。至始至终，ARM®都是手机的核心部分，在支持日益复杂功能的同时一直致力于通过行业领先的低功耗来延长电池寿命。

智能手机的复杂性尚未得到充分的认识，通常而言，智能手机都拥有 10 个以上基于 ARM 的处理器，负责处理触屏、感应处理器、定位、照相、图形、应用程序等功能以及不断增长的大量连接功能，如 Wi-Fi、蓝牙和 LTE。

随着无线通信行业为下一代移动宽带设备的标准化而升级，即实现所谓的“5G”，本白皮书将探讨这对于技术、挑战和使用案例来说意味着什么。我们将重点关注基于 ARM Cortex®-R8 的实时处理器将如何为我们带来多兆比特（multi-Gigabit）的新产品，同时仍以低功耗作为设计核心。

## 快速移动宽带革命

随着移动宽带的持续变革，我们看到新的使用案例正不断涌现。5G 的出现将继续推动一直处于联网状态且相互连接的世界，同时反过来改变人类同世界交互的方式。同多兆比特服务一样，5G 也承诺支持低吞吐量、能量受限的设备或所谓的“Massive Machine-Type Communications” (mMTC)。我们看到如今 LTE 中出现了 MTC，其标准包括 LTE Cat-0 和 NB-IOT，这两个标准都保证为 5G 奠定基础。



谈及 5G，人们脑海中首先想到的就是移动设备。如今智能手机的体验已经够复杂的了，那么随着 5G 的来临，手机又有什么不一样的地方呢？如今讨论 5G 标准的一些提议大多围绕网络效率，主要关注如何处理移动数据的绝对值和需求。千兆位级服务将允许消费者在近乎瞬间内完成数字化内容下载，而超低延迟连接可使诸如 VR 和 AR 服务、新型的汽车应用皆成为可能。

在传统手机之外，我们将 5G 视为一个重要技术，能够促成更多的额外服务。5G 将让远程医疗变成现实，允许内科医生和医疗保健工作者通过连接 5G 的设备远程管理病人，这是普及医疗保健和身心健康的真正机会。

低碳经济可能是未来十年内实现发达世界的最大挑战之一。高效可靠无线互联网的广泛利用将有助于实现低碳经济，因为这可以保证效率并促成更高层次的控制和融合。从管理智能街道照明、远程排放监控、公共交通到公共信息，5G 将为我们的日常生活带来无限可能。就连 5G 网络体系结构本身也要求降低功耗，这同时可为移动运营商降低运营成本，并极大地降低碳排放。

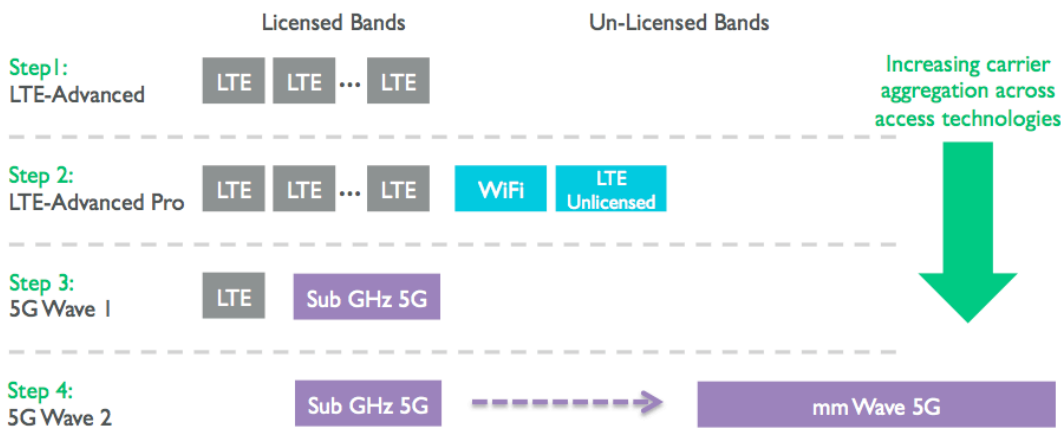
5G 不仅仅能够在家里家外，还能在开车时为我们带来全新体验。5G 被视为“超越移动互联网”的技术。其高性能和低延迟的特点，使其能够以传统 4G/WiFi 服务难以企及的方式进行推广。互联汽车或自动驾驶被视为非常需要高可靠、低延迟无线连接的重要领域，用于例如安全和防碰撞。

## 使下一代设备成为可能

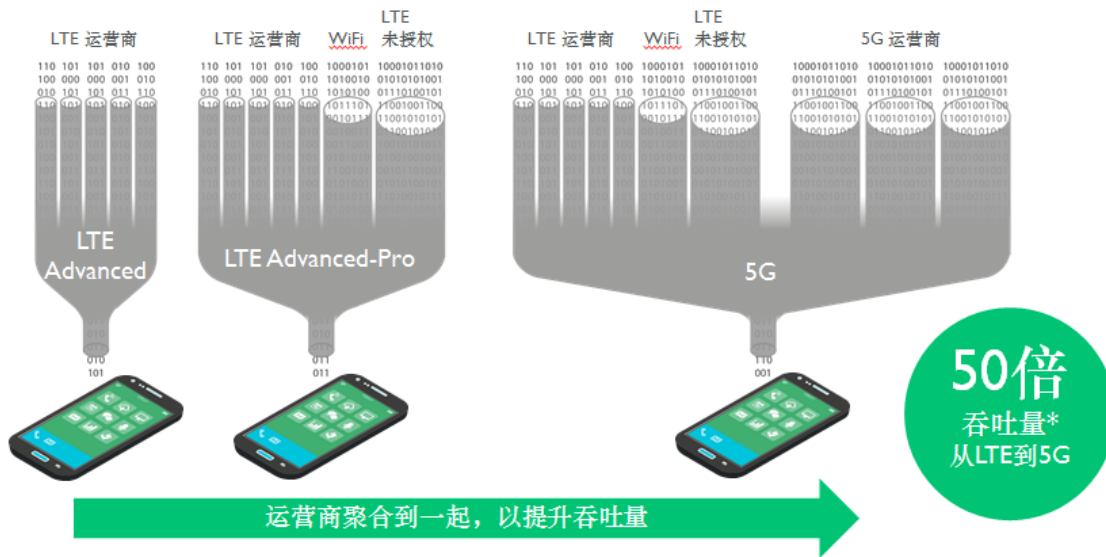
频谱是一个宝贵的资源，而过去十年间随着移动业务需求量的激增，对无线电频谱的需求也随之增长。以前我们认为无线电频谱分为“块”或“媒介物”，可以应用于不同领域，例如电视、Wi-Fi、蓝牙或手机。监管者，例如美国的联邦通信委员会（FCC）和英国的通信管理局（OFCOM）按区域分配频谱以用于不同领域。

在手机出现的早期就相对简单，分配几块频谱（通常以拍卖的方式进行）以提供主要以语音为基础的服务，这从其本质上而言只会消耗很少量的频谱。在过去十年内，随着智能手机的出现，这一情形不复存在，而且频谱越来越多地被用于移动宽带业务。一般而言，提供给用户的吞吐量越高，为此服务而使用的频谱也越多。如果你也将这一数字乘以用户数，你很快就会发现移动数据供不应求，而传统意义上的频谱分配没有跟上这一变化。

认识到这一点之后，我们整个行业要如何跟上变化、提供移动宽带体验，而这对未来十年的手机技术挑战又意味着什么呢？

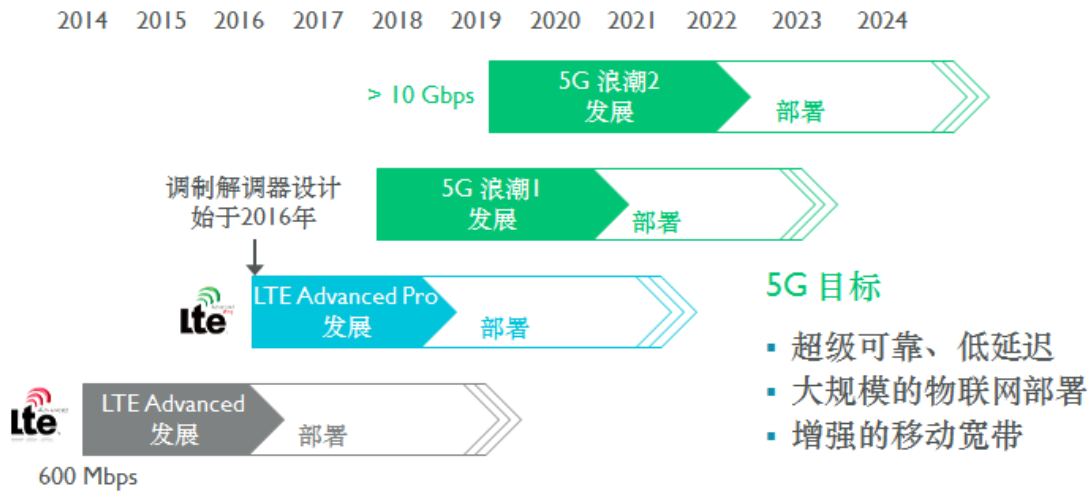


外加先进无线技术的载波聚合（称为 MIMO）被用于帮助缓解压力并提供更高效的服务。从 3G 系统到 LTE，我们看到数据速率不断增加，尽管这部分成果来源于更复杂的调制和 MIMO 技术，但是吞吐量的增加主要受益于载波聚合的进步，使得更高效利用碎片式频谱成为现实。



授权频段是频谱的一部分，其使用也存在特定的局限性；例如：某块频谱可能仅限于手机业务使用并分配给某个特定的手机运营商。授权频段的优势在于运营商可以完全控制该部分的频谱，这样就可以管理服务质量并提供相应的服务。授权频段的局限性在于其是一种始终宝贵的资源，无法满足移动数据不断增长的需求，无法满足快速增长的用户群体的要求。为了克服这个局限性，运营商越来越关注他们如何将未授权频段和既有的授权频段服务结合起来。我们越来越多地看到将未授权频段纳入到载波聚合，这样设备可以同时使用授权频段（通常作为一个控制通道）和未授权卸载，如：用于诸如 Wi-Fi 和新兴的 LTE 未授权技术。第三代合作伙伴项目(3GPP)内许多 LTE 标准所剩的优势集中关注这些未授权卸载技术的管理。

5G 拥有良好的前景，但是其标准尚未确立。正如我们在前一节所看到的，如果处理得当，那么 5G 将开启未来 20 年数字化服务的发展，为我们的日常生活带来全新，并且更强大的用例。



5G 的核心将带来全新的调制算法和日益复杂的 MIMO 技术，从而最大化宝贵频谱资源的使用效率并提供较早期 LTE 性能 50 倍的吞吐量。5G 概念也包括一个很宽波段的频带，远远超出我们如今在 LTE 中看到的频带，原因在于使各频段间的接入技术实现和谐，并且在努力增加下一代服务的容量的同时实现效率的最大化。从提供广域服务的 sub GHz 频段到如今 Wi-Fi 广泛使用的区域性 GHz 频段，我们将看到 5G 应用于范围广泛的部署情景。进一步来讲，5G 能够支持 30Hz 以上的至今未充分利用的 mm 波段。这些波段能够提供与 5G 相关的数千兆比特每秒（multi-Gbps）吞吐量。mm 波段的缺点之一包括：我们只可以期待设备在“视线”和基站几十米之内工作，这在本质上将为部署带来挑战。

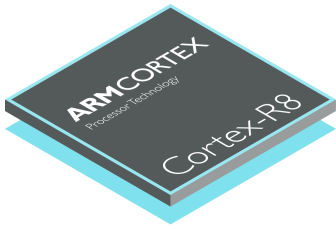
所以，这一切对智能手机的未来都意味着什么呢？尤其是对调制解调器基带加工的未来意味着什么呢？回顾这些趋势，我们注意到，SoC 设计者在满足以下新要求时也面临这三个主题：

- 数据速率持续上升，我们有望看到在不久的将来以 LTE 为基础的多兆比特服务，5G 的吞吐量可能可以高达 10 至 20Gbps。
- 载波聚合的大量增加。吞吐量和网络容量最终由日益复杂的载波聚合提供。该聚合让手机调制解调器处理器具有高运算复杂度，因为其为多个并联无线接入承载服务。该主题将持续成为 LTE 技术（LTE 高级 Pro）和 5G 技术进化的关键。
- 为持续推动功效和手机电池寿命的最大化。由于引进了新的接入技术，新的技术无法就用户体验做出妥协，因为这样的手机调制解调器需要将功效作为其设计的关键。

正如我们将在本白皮书下文内容看到的一样，**ARM Cortex-R8** 有助于设计者能够满足以上需求，在兼顾上一代诸如 **3G** 和 **LTE** 等技术的反向兼容性和传统支持的同时，继续成为当前多模设备的必须。

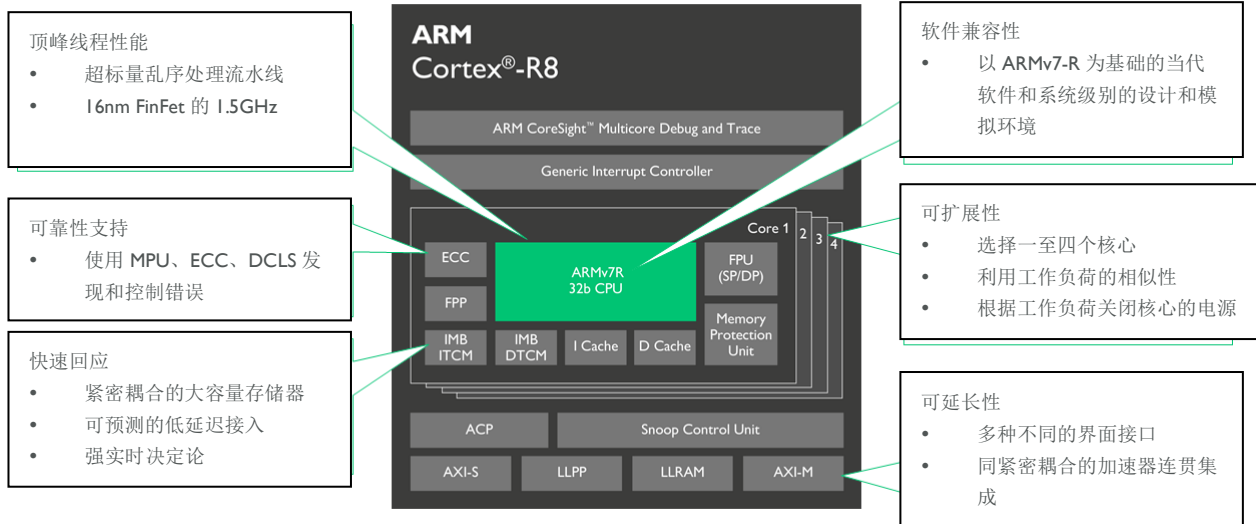


## 介绍 Cortex-R8，下一代移动宽带的關鍵



Cortex-R8 处理器是自 ARM 以来最高性能嵌入式实时处理器。该处理器采用成熟技术，但是将性能表现提升到新高峰。处理器流水线采用了许多 ARM 技术，用以开发最高性能的应用处理器，并使这些处理器提供最高性能的同时，满足强实时（hard real-time）的要求。

强实时（hard real-time）是指处理器在已知最坏（决定性的）情况延迟下，可以非常快速地切换以解决一件新的重要事件。该最坏情况延迟通常都只有几纳秒，使来自系统其他部分的中断能够得到发现并迅速采取行动解决。第一层 LTE 高级 Pro 和 5G 调制解调器的任务控制将处理多载波和很高的数据速率。因此，处理器必须以很高的时钟脉冲频率运行，并能够在很多任务之间很快速地切换并处理外来事件。诸如 Wi-Fi 的未授权载波提供的数据和数据包速率比 LTE 更高，将这些不同的载波结合和控制需要一个专门的处理器。带有 11 级流水线的 Cortex-R8 可以被快速计时，以提供所需的性能。流水线是“乱序的”，这意味着就算有些指令在等待来自较慢外部存储系统的数据时，也可以继续处理，这在很大程度上减少了流水线的“故障”，并提供尽可能最好的性能。



Cortex-R8 也加强了紧密耦合存储（TCM），允许快速存储中存在更多的代码和数据，这样在访问重要程序和数据时不会存在延迟。不同于高速缓存是由处理器管理的，紧密耦合存储是由开发人员管理的，这样重要的指令和数据结构都始终能够立即获得。在调制解调器内有一些非常关键的实时程序，而其他程序不是那么重要，可以在后台运行。

Copyright © 2016 ARM Limited or its affiliates. All rights reserved.  
 ARM is a registered trademark of ARM Limited in the EU and/or elsewhere. All rights reserved.  
 All other trademarks are the property of their respective owners and are acknowledged.

**Cortex-R8** 使多达 4 个处理器能够集成到一个单一致的集群。就调制解调器而言，这些处理器通常是以不对称的处理模式运行的，以获得最佳效率。它能够在手机处于空闲模式时关闭处理器电源，并只有当吞吐量上升时才接通额外处理器的电源，这样可以极大地延长电池寿命。这一可配置性也使得如今的开发商能够创建不同的调制解调器，通过对软件的单一投资和可扩展的性能，满足不同 LTE 类型的需求。

**Cortex-R8** 可在诸多的界面接口中灵活选择，从而转向其他调制解调器系统。用于控制外部硬件和加速器的专用接口的控制延时最低，以确保在复杂系统中尽可能地实现最佳性能。

但是，**Cortex-R8** 并不仅仅用于调制解调器设计。它提供的行业领先性能也适用于企业存储产品，包括 HDD 和 SSD 及其他要求可扩展性的嵌入式实时平台。**Cortex-R8** 实施新的错误检测、更正和控制方案，以尽可能地确保可靠性。

## 提供下一代移动宽带体验

和 5G 全新优化及高效率的空中接口一样，支撑 5G 基础设施要求的改进型网络必须能够简化管理、并创建管理工具协调层（orchestration layer），这个协调层的作用是简化下层硬件和软件的复杂性。

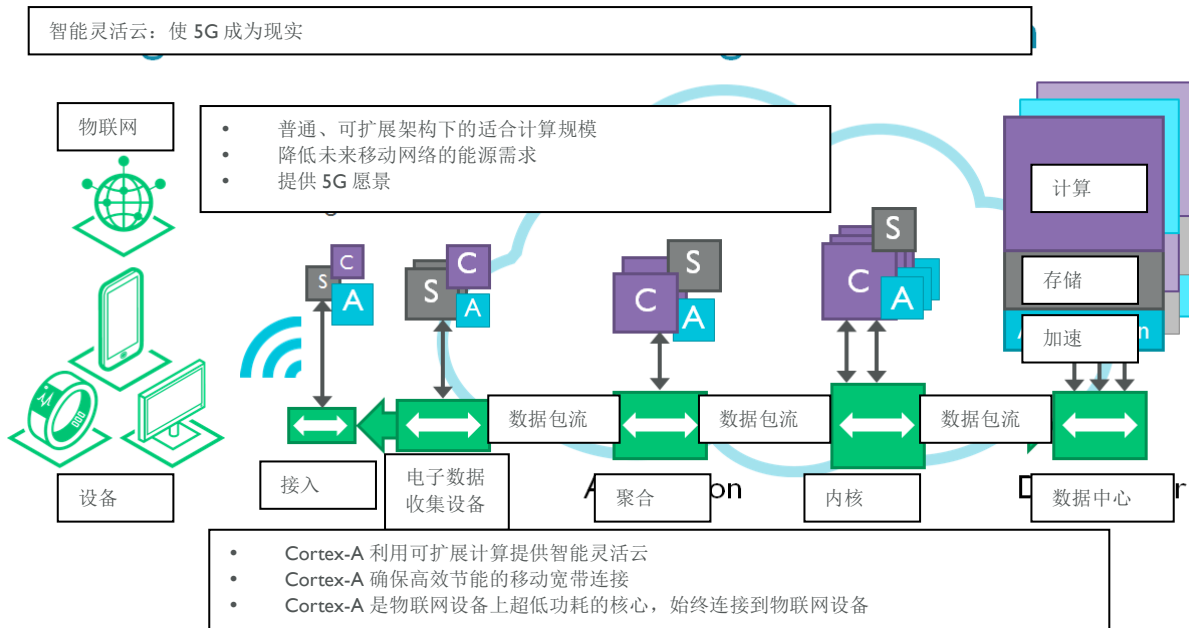
全新 5G 基础设施的成功部署需要将不同设备组合。根据地理条件，有可能需要诸如云端无线接入网（Cloud RAN）、分散式内容分发、可扩展性控制网络和自适应天线阵列等技术。以云端无线接入网为例，该新技术颠覆力非常巨大，当多个基站单元和相关的控制网络共同整合到“云端”时，可以提供云端无线接入网。

为了满足云端无线接入网、分散式内容分发和可扩展性控制网络中这些全新平台的需求，我们已经通过使用一些重要的新兴技术取得了重要的进步：

- **软件定义网络（SDN）** 是一种提供网络可扩展性连接和简化旧的传统网络的新方式。SDN 是由开放网络基金会（Open Networking Foundation）初步开发的一套标准，该标准通过将控制平面和数据平面分开提供网络功能的抽象层。网络管理和运营可以集中进行，而不是分散到不同的网络层和网络箱。通过简化的抽象软件层进行集中控制带来了诸多益处，如降低了运营成本、提高了自动化、控制、灵活性、敏捷性和应用创新。SDN 将会改变设备连接到网络基础设施的方式，而且接入节点同聚合节点之间的连接方式也会相应地发生改变。
- **网络功能虚拟化（NFV）** 允许传统功能从所有权硬件防火墙转移到更标准化的服务器、交换器和存储元件。当这些新功能应用于软件，它们可以轻易地应用于数据中心、网络节点或用户端的平台，以充分利用全球网络效率。因此，NFV 的益处包括通过更少的依赖所有权和专用硬件来降低资本支出（CapEx）和运营成本（OpEx）。由于更快的配置、测试和整合，使用 NFV 可以加速市场实时服务。为了支撑诸多延时敏感的 5G 功能和终端使用案例，NFV 的执行必须与优化网络卸载能力配对，也须同诸如移动电子数据收集设备计算(Mobile Edge Compute)技术相配对，这些技术将这些虚拟化的网络功能尽可能贴近接入网络的电子数据收集设备，以避免网络基础设施的过度转变。
- **分布式智能。** 通过支持网络内更多的分布式智能，可以通过云端已经调部署的可用资源分布基本的决策点。使用工作负荷优化的硬件和软件来确保网络内各布点的网络、存储和计算功能的实现。工作负荷优化硬件以高度集成的 SoCs 为基础，具有异构处理能力，这使得该硬件在网络内可以变得智能，即使是缩减到最高功率和形状因数强迫区位。普通的软件平台能够允许开发者和 IT 用户更快地调配服务。
- **存储。** 随着 5G 网络和服务的发展，我们也会看到存储直接融合到基础设施网络之内。然而通常我们将“云端”存储融合到数据中心内，我们会逐渐看到存储迁移到网络内所有节点。我们认为 5G 设备的核心在于高带宽和低延时服务。这些要求不仅影响空中接口无线方面，也会推进整个网络。分布存储和提高电子数据收集设备的智能程度都有利于通过使回路延时最小化并提供所需的服务和智能以实现这些目标。

这些技术标准和架构是下一代基础设施网络或“智能灵活云”（Intelligent Flexible Cloud）的基础之一。云端之所以灵活是因为其可以快速满足不同的网络要求并且增加 5G 空中接口的具体挑战。云端之所以智能是因为其利用业务、顾客和网络数据来加强既有的服务，并且其是创建高度创新和竞争性的新服务的基础。

ARM 及其合作伙伴提供基于 ARM 的通用处理平台，以满足实现 5G 方式的不同需求。



为什么在网络基础设施中使用 ARM Cortex-A 系列的处理器？

ARM 正在提供处理器和相互连接的 IP 来满足网络基础设施的需求，未来的需求直接推进了 ARM 路线图。要提供这样的服务，关键在于各种各样的 Cortex A 处理器内核和高速缓存一致性互联，例如 Cortex-A72, Cortex-A53 和互联产品的 CCN 家族。

新的 SoC 平台将提供一系列多核异构 CPU、DSP 和功能特定的加速器内核，对于满足吞吐要求、5G 部署延时和灵活性要求至关重要。越来越多的功能将被融合到单个 SoC 中，这通常将处理多种流量类型，包括数据通道有效负荷、控制平面流量、前端处理和用户调度。

伴随着发展集成与更高性能 SoC 的趋势，将会出现一些处理部件通过处理器内核和智能信号处理部件，来支持突发性高速流量有效负荷和时延敏感流量的情况。

网络基础设施应用混合了 3 个不同功能的不同层面：控制面板处理、数据包或回程处理、及在任一特定 SoC 设备上可获得的几个内核簇之间事件或流量调度。

5G 基站设备同 5G 核心设备相比具有完全不同的功能。设计者必须要确定处理器功能的最佳混合以应对所需的处理，从可获得的技术选项中做出选择，在规定的时间内提供自己的设计以抓住市场机遇。

**控制面板：**控制面板的功能要求每个数据包处理量最大化，尤其是每个数据包所涉及的数以万计的指令，通常是以“从运行到完成”的模式分配。乱序和多级流水线可以得到非常有效的利用。

具备虚拟化功能的高性能内核可以满足控制面板、内容发布网络和其他要求高单线程性能功能的需求。在控制面板运营的应用包括 NFV、用于云端和边缘网络的 CDN 和要求更多性能的潜在新兴远程访问技术（例如：5G）。

**数据平面：**

网络的优势在于能够看到几百 Mbps 或也许 Gbps 范围内的数据速率；访问或云端部分感受到 1 至 10 Gbps 的数据；内核处理 20 至几百 Gbps 的数据。和控制面板不同的是，此处的挑战在于处理回程流量的爆发、处理数据头并将数据置于缓冲存储器内而不丢失任何数据包。

这包括处理的完全不同方式。许多数据平面设计使用专用的数字信号处理系统，该设计通过 ARM AMBA<sup>®</sup> 互联将数据层面处理器连接到 SoC。DSP 提供一个专用最优指令组用于数据平面处理，并且将 CPU 从高耗电和计算密集型功能卸载。

除了用于控制处理的每个数据包数以万计的指令，数据包处理可能仅仅使用几百个指令/数据包。访问高速缓冲存储器（指令、数据、L2 和 L3）和外部存储器对数据包处理来说也是不同的。

数据和控制处理之间存在一个重要的区别。ARM 使用“无状态”（stateless）和“有状态”（statful）的术语来区别这两个概念。无状态处理使用海量的小内核来处理进入 SoC 数据包的数据流。每个内核以“从运行到完成的模式”运行，以给数据头分类，并将数据包纳入存储器。每个数据包单独的处理；内核只知悉之前的任何数据包。内核的数量和互联的尺寸仅仅根据界面速度变化。相反，有状态处理适用于更高水平的决策，数据包的历史在这样的情形下很重要。流量和会议可以得到管理，尤其是控制平面。

**调度：**

5G 系统的另一个挑战在于与前两个正交。对于用户访问调度，如果需要按照可获得的空中接口带宽调度用户，延时是关键。以 LTE 为例，空中接口可能有几百个用户将被调度到他们自己的时隙。所有这一切都需要按照 5G 标准的时间限制通过潜在几个内核计算：可能小于 0.5ms。这涉及很多优先计算、接收和传输任务的调度、及从 DSPs、处理器和存储器接收和向 DSPs、处理器和存储器发送信号。因此，具备在异构架构下使用多个内核并且在多个内核间切换的能力至关重要。

**技术要求：**

随着智能连接设备上的数据消费的急速增长，受到新的空中接口技术（如 5G）的推动，系统设计人员利用相同的功率和设备位置来提供更佳性能的任务带来新设计。ARM 一直在开发 IP 来支持更高的性



能、多核处理器。连贯连接线、最佳性能增强物理和逻辑 IP 都支持这些非常灵活的异构结构，异构结构对于确保满足 5G 性能要求至关重要。新的 ARM 内核，如 Cortex-A72 和 Cortex-A53，已经使得性能/瓦特和性能可扩展性目标能够在下一代 SoC 设计上实现。此外，在研发预算受到挑战的当下，具备良好支持的软件和工具生态系统的行业标准指令集合结构（ISA）使得 SoC 设计经理能够更快地将产品投入市场，节约研发资金，开发具有附加值和差异化专用的特点。

## 小结

在过去 20 年内，ARM 已然成为移动变革的核心。从早期的 2G 手机到 3G 再到 LTE，已经有超过 200 亿手机采用了 ARM 技术，ARM 是蜂窝式调制解调器的核心。以 ARM 为基础的调制解调器使得我们日常生活中不可缺少的智能手机变成现实。

随着 LTE 日益成熟，我们已经把连接数字化生活的方方面面变为现实。在诸如电子邮件、新闻和社交媒体等信息化服务之外，我们看到现在人们倾向于更复杂的使用案例，覆盖到日常生活的方方面面，如健康、福利、医疗等等。就算是这些设备的形状因数已经开始改变并打破传统智能手机的限制；新的应用，如可穿戴，已经与我们的日常生活无缝衔接。

展望手机发展的下一个十年，我们可以有哪些期待呢？对服务的更多需求给服务我们的网络提出了更大容量的要求。更有效地利用无线频谱是至关重要的，这将行业研究催化推进到 5G 无线通信系统。增加移动网络的容量，可以让移动网络不仅服务更多的用户，并且随着世界在物联网的这把大伞下相互连接，也服务更多的“事件”或物体。通过更高效地使用和监控资源实现低碳经济、通过远程医疗实现普遍医疗保健或实现汽车联网，这次都只是持续移动变革所带来的诸多益处中的其中几个。

正如我们为了实现这些益处而建立了这些访问技术一样，对于下一代移动设备，我们也需要提供先进的处理能力。ARM Cortex-R8 具备高效节能、实时处理的特点，能够很好地实现这一承诺，让设备供应商和原始设备制造商能够开发 5G 的潜能。