

5G 技术

ICANN 首席技术官办公室

阿兰·杜朗德 (Alain Durand)

OCTO-004

2020-01-23



目录

1 执行摘要	3
2 简介	4
3 延迟：DNS 在 5G 低延迟环境中是否可行？	4
3.1 背景	4
3.2 讨论	5
3.3 ICANN 立场	5
4 网络切片：互联网的唯一标识符系统是否存在碎片化风险？	6
4.1 背景	6
4.2 讨论	6
4.3 ICANN 立场	7
5 在 5G 中，是否仍需使用电话号码？5G 是否会引入新的标识符集？如果引入，这些标识符是否会在 DNS 中使用？	7
5.1 背景	7
5.2 讨论	8
5.3 ICANN 立场	8
6 ITU-T NETWORK 2030 焦点组	9
6.1 背景	9
6.2 讨论	9
6.3 ICANN 立场	10
7 在 5G 的边缘领域，非 IP 解决方案是否有机会？	10
7.1 背景	10
7.2 讨论：能否在 5G 中部署非 IP 解决方案？	10
7.3 讨论：IP 能否在受限设备上工作？	11
7.4 讨论：如何在 TCP/IP 中考虑延迟敏感应用程序？	12
7.5 ICANN 立场	12

本文档是 OCTO 文档系列的一部分。要查看 OCTO 系列文档，请参阅 <https://www.icann.org/resources/pages/octo-publications-2019-05-24-en>。关于这些文档，如果您有任何问题或建议，请发送至 octo@icann.org。

1 执行摘要

移动互联网正在蓬勃发展。下一代互联网连接设备将不再局限于需要人类面对屏幕的电脑或智能手机，物联网 (IoT) 设备之间的机器对机器通信也将囊括其中。鉴于这两大发展趋势，我们引入了 5G 技术（第五代蜂窝网络无线通信技术）。这项技术不仅对整个互联网至关重要，对 ICANN 更是如此。

对于引入 5G 技术所带来的一些基本问题总结如下：当前的互联网模型（称为传输控制协议/互联网协议 (TCP/IP) 协议族）在 5G 世界中是否仍然适用？对于 ICANN 而言，这个问题可以转化为以下两个问题：

- ⦿ DNS 在 5G 世界中是否仍可运行（尤其对延迟敏感的应用程序）？
- ⦿ ICANN 帮助协调的唯一标识符集是否仍然有用？5G 是否需要使用其他标识符集？

多年来，我们开展了多项学术研究，旨在重新定义“未来互联网”模型。更重要的是，任何取代 TCP/IP 的新尝试都应考虑这个过程需要几十年的时间，并且新模型所带来的任何所谓的优势要超过此类转换的复杂性和成本。此外，ICANN 还指出，为使 IP 能够在受限环境（例如，电池供电设备，极低功耗/极低带宽网络）下正常运行，互联网工程任务组 (IETF) 成立了 6lowpan（IPv6 over Low power Wireless Personal Area Network，基于 IPv6 的低速无线个域网）工作组和后继 6lo 工作组，开展了大量的工作。不仅如此，IETF 还开展了其他一些工作，例如，QUIC 工作组改进了传输层协议，以便提供流多路复用和低延迟连接建立等功能。

对于使用 5G 的面向用户的传统应用程序，在使用新标识符系统方面似乎没有明确的需求。但对于物联网却并非如此。开发新全球标识符，尤其开发可以更好地处理隐私的标识符，有助于物联网的发展。这些标识符可以直接在 DNS 中实施。

DNS 解析延迟和缓存是一个网络操作/优化问题，而不是一个架构问题。为此，ICANN 就 5G 网络提出了以下建议：

- ⦿ 对延迟敏感的 5G 应用程序，应尽可能在本地实施 DNS 缓存，并为它们配置主动预提取功能。
- ⦿ 分布式缓存系统可能有助于最大程度地提高整个 DNS 解析系统的效率。
- ⦿ 对于希望将 DNS 延迟的影响降至最低的物联网应用程序开发人员，他们可能希望在建立连接之前，研究如何调整其应用程序以便查询 DNS 数据。

ICANN 认为，基于全球唯一标识符系统的单一互联网模型是能够将互联网利益最大化的最佳方法。但是存在这样一个风险：一些主流平台可能最后仍会使用它们自己的专有标识符系统来利用 5G 网络切片。如果出现这种情况，互联网将会崩溃，并且将只有部分鲜为人知的应用程序会继续使用互联网全球唯一标识符系统。

2 简介

这份备忘录将从技术角度审视 5G（第五代蜂窝网络无线通信技术），并提出了以下问题：5G 对互联网架构和协议（如 TCP/IP）是否会有影响？如果有，会有怎样的影响？ICANN 帮助协调的唯一标识符系统，特别是域名系统 (DNS) 会受到哪些影响？

3 延迟：DNS 在 5G 低延迟环境中是否可行？

3.1 背景

运营商和供应商之间经常就移动架构的框架展开相关讨论。运营商提出需求，供应商负责创造合适的技术来满足这些需求。运营商希望引入新成员进入供应商市场作为潜在供应商，而现有的供应商则倾向于维持（和增加）他们的市场份额。移动通信技术每更新一次，便会产生一个全新的架构（或改变现有架构），同时带来一系列新服务和商机。这些新技术被标榜为助力新成员（供应商、运营商或第三方）扰乱市场的通道。

在 5G 中，现有的供应商将会提高无线资源的利用率，但同时仍会保留集中式架构。自 5G 概念提出以来，新成员一直主推边缘计算架构，大力推广软件定义网络 (SDN) 和网络功能虚拟化 (NFV)。（边缘计算是一种通过将所需资源移动到离需要资源的系统更近的位置来减少带宽和延迟的设计。）关于这一架构的使用，人们众说纷纭，争论不休。争论点主要集中在以下方面：这个架构能否降低成本，能否带来新的服务，是否能够以较低的成本提供按需服务？这些新服务可以为无人驾驶汽车、车联网 (V2X) 和增强现实 (AR)/虚拟现实 (VR) 应用程序提供超可靠低延迟通信 (URLLC) 功能，即延迟时间低于 5 毫秒或低于 10 毫秒。

NFV 概念诞生于 5G 技术出现之前的 2012 年，当时欧洲电信标准协会 (ETSI) 成立了 NFV 行业规范工作组 (ISG)。自那时起，NFV 技术日益成熟。如今，一些现有企业也将其产品组合中的一部分产品以虚拟网络功能 (VNF) 的形式提供。边缘云的概念来自于运营商社群，它有着各种不同的定义。在标准化（如 ETSI 多接入边缘计算 (MEC)）领域和开源社群内制定了不同的边缘云计划。例如，Linux 基金会边缘基金会 (LF Edge)¹ 为实现以下目标提供了支持：“为独立于硬件、硅片、云或操作系统的边缘计算建立一个可互操作的开放式框架”。

最近，部分新供应商发表了一些文章^{2,3}，提出传统的 DNS 与 5G 超低延迟应用程序（即 URLLC）不兼容的观点。他们的主要理由是，到“区域”数据中心的往返时间增加了延迟时间，这是不可接受的。因此，他们提出了一个解决方案：在边缘计算平台上放置 DNS 解析器，而不是在国家或地区数据中心集中进行 DNS 解析。

¹ 请参阅 <https://www.lfedge.org>

² 请参阅 <https://www.open-xchange.com/about-ox/ox-blog/article/dns-latency-in-a-5g-network/>

³ 请参阅 <https://www.infoblox.com/wp-content/uploads/infoblox-solution-note-infoblox-dns-for-5g.pdf>

3.2 讨论

5G 无线链路是实现任何通信的第一站。5G 的目标之一是减少无线延迟时间，使往返时间 (RTT) 下降到 5 毫秒或 10 毫秒以下。然后，将通信信号从无线电发射塔传输（回传）到数据中心。假设一个区域数据中心距离边缘设施 1000 公里，两者之间通过光纤连接，对于这种情况，往返时间将会增加 10 毫秒。因为在这个示例中，我们不仅需要考虑解析器处理 DNS 查询所需的时间，同时还需要考虑边缘解析器进行计算所需的时间。但是，如果在进行 DNS 解析后建立 TCP 或 UDP 连接的目标主机位于边缘数据中心范围之外，则增加的 10 毫秒延迟时间（仅在连接建立时出现一次）可以忽略不计。然而，如果目标主机位于边缘数据中心内（例如，VNF 间通信）或通过 5G（例如，矿井中的无人驾驶卡车）连接到该数据中心，则需要计算延迟。在这种情况下，可能需要在边缘数据中心托管 DNS 解析器。或者，也可以将应用程序配置为启动时预提取 DNS 数据，从而减少连接时出现任何延迟。这个方法在工业环境中是可行的。在工业环境中，我们会提前知道设备将要连接到的目标。对于常规的互联网连接，DNS 延迟似乎不成为问题。

将通用 DNS 解析器置于更靠近边缘数据中心用户的位置会降低解析器 DNS 缓存的命中率。这种影响可以通过安装分布式缓存系统（例如区域和国家/地区缓存层次结构）或部署某种形式的 DNS 记录预提取^{4,5}来缓解。此外，还需要考虑 5G 移动性对 DNS 缓存产生的另一方面影响。如果移动设备正在移动，那么它可能需要不时被重定向到更靠近的其他边缘数据中心，以将时间延迟保持在 10 毫秒以内。可以通过移动感知应用程序调用 DNS 来实现这种重定向操作。在这种情况下，将根据移动设备的新地理位置来计算 DNS 响应时间。目前多个内容分发网络 (Content Delivery Network, CDN) 所实施的基于 DNS 的负载平衡之间存在差异，导致这样差异的原因在于，移动设备已经缓存响应。这是标准的 DNS 工程实践，在这类实践中，某些 DNS 记录的存活时间 (Time to Live, TTL) 设置为 0。

3.3 ICANN 立场

DNS 解析延迟和缓存是一个网络操作/优化问题，而不是一个架构问题。因此，ICANN 认为可以在 5G 低延迟环境中运行 DNS。对此，ICANN 提出了以下建议：

- ⊙ 对延迟敏感的 5G 应用程序，应尽可能在本地实施 DNS 缓存，并为它们配置主动预提取功能。
- ⊙ 分布式缓存系统可能有助于最大程度地提高整个 DNS 解析系统的效率。
- ⊙ 对于希望将 DNS 延迟的影响降至最低的物联网应用程序开发人员，他们可能希望在建立连接之前，研究如何调整其应用程序以便查询 DNS 数据。

⁴ 要查看 DNS 预提取的示例，请访问

https://www.researchgate.net/publication/270571591_PREFETCHing_to_optimize_DNSSEC_deployment_over_large_Resolver_Platforms

⁵ 已经在许多解析器实施中实施了预提取技术。

4 网络切片：互联网的唯一标识符系统是否存在碎片化风险？

4.1 背景

5G 将网络切片的概念推广到抽象网络资源和网络功能。借助网络切片，运营商可以构建一个物理网络，并将这种网络应用于多种不同用例场景：高带宽应用程序（例如，流式传输）、具有低延迟要求的低带宽应用程序（例如，连接物联网设备）、企业外联网等。网络切片是一个基于旧概念的新术语。从 2G 开始，移动网络便已具备所谓的“分组数据协议 (PDP) 上下文/分组数据网络 (PDN) 连接”功能，可以根据接入点名称 (APN) 选择这些功能。企业客户现已广泛使用 APN 及其底层 PDP/PDN 基础设施，为其内部网络提供直接连接。而 5G 的功能远不止如此，它允许运营商设置服务质量 (QoS) 参数。运营商能够根据客户的 QoS 要求预留带宽，以便提供可在单一物理基础设施之上运行的网络切片。目前，网络切片的主要用例之一是“工业 4.0”。“工业 4.0”是一个术语，描述了运营商实际上可以为工厂或其他行业提供“自有网络”的场景。在这些场景中，运营商既可以保证带宽稳定性，又可以确定时间延迟。总而言之，网络切片将允许各行各业从专用有线基础设施转向更灵活的无线网络技术。

4.2 讨论

5G 技术是在 3GPP (3rd Generation Partnership Project, 第三代合作伙伴计划) 中定义的。3GPP 服务和系统层面架构工作组 (SA2) 已经定义了网络切片实例 (NSI)，其中每个 NSI 包含几个网络切片实例 (NSSI)。5G 系统技术规范的 3GPP 系统架构部分 (TS 23.501) 定义了网络切片选择辅助信息 (NSSAI)，该信息用于在网络切片选择和服务切片类型 (SST) 中为用户设备 (UE) 提供支持。为网络切片制定标准这项工作仍处于早期阶段。静态配置的网络切片现已比较成熟，可投入使用，但是要在 SDN 类型方法中启用动态配置的网络切片，还需要进行更多的工作。

对运营商来说，为特定网络提供专用带宽并非良策，因为这种方法会占用公共池的可用资源。它基于这种理念：预留给目标客户的频谱所产生的收入将足以抵消常规客户可用频谱相应下降所损失的收入。关于蜂窝网络运营商将如何实施网络切片以及如何对其定价，尚不得而知。我们现在面临的一些技术和业务挑战不禁让人回想起 20 世纪 90 年代末提供的三个 ATM 网络服务：恒定比特率 (CBR)、可用比特率 (ABR) 和可变比特率 (VBR)。当时，运营商对提供这些 QoS 服务很感兴趣，但由于担心会超额配置网络，他们不愿意让客户动态配置这些服务。

除了“工业 4.0”之外，网络切片还可以用于隔离多个“服务/应用程序”。有这样一种可能性，即，将专用应用程序与 5G 网络切片和传统的虚拟专用网络 (VPN)/虚拟路由转发 (VRF) 技术相结合，创建大型外联网，将独立于通用互联网的用户连接到 Facebook、Netflix 和 Amazon 等知名服务。这种做法与现在的做法大相径庭。在今天，用户可以通过单一网络访问所有这些服务。而用户应用程序则可以访问“Facebook”切片、“Netflix”切片或“Amazon”切片，以便在访问这些服务时获得更好的服务。这可能是由当前模型演变而来的。在当前模型下，顶级参与者已经在互联网服务提供商 (ISP) 网络中部署了 CDN 缓存，这一点着实引人注目。以这种方式部署的网络切片将提供设置了受限 QoS 参数的专用网络连接，而不再提供“尽力而为的”连接，这样手机

便可直接连接到顶级参与者的网络。换句话说，手机将不再通过互联网连接到 Facebook、Netflix 和 Amazon，而会成为各自网络的一部分。

此类部署，除了保持完全中立的特点之外，更为重要的是，这种按应用程序划分的网络切片的倍增将从根本上与互联网的一个关键概念背道而驰：一个网络可连接多个应用程序。在这个模型中，每个应用程序可以连接到多个专用网络。切片可以使用 ICANN 协调的全球唯一标识符系统的域名和地址，但这不是一个硬性技术要求。根据应用程序所有者的请求，可以使用所有者的专用标识符集、地址空间和域名空间来部署这样的切片。这种情况将进一步加剧互联网碎片化风险。

无论在最初的 5G 推广计划还是在后续的 5G 推广计划中，这种情况都是始料未及的。另外，运营商可以选择使用全球唯一标识符来部署网络切片。因此，目前来看，网络切片造成互联网碎片化的概率较低。除非像 Facebook 这样的内容提供商说服 5G 运营商（Facebook 重量级客户群）按照自己的要求创建一个网络切片，然后将该切片连接到他们的私人内容分发网络，否则不会出现上述情况。是否会出现这种情况，主要取决于互联网服务提供商和顶级参与者之间的总体力量平衡。早在本世纪前十年后半段，类似情况就已存在。当时，内容提供商希望在 ISP 网络内部部署缓存引擎。ISP 必须保留专用带宽，以便直接通过内容提供商提供缓存。但出现了几个问题：一，谁为带宽买单？二，在内容提供商和 ISP 之中，谁能从这种博人眼球的做法中获益？由于长途带宽成本的下降和内容提供商实力的提升，内容提供商终于如愿以偿，能够在 ISP 网络内部部署缓存。创建专用网络切片不过是老调重弹。

4.3 ICANN 立场

ICANN 认为，基于全球唯一标识符系统的单一互联网模型是能够将互联网利益最大化的最佳方法。但是这存在一个风险：一些主流平台可能最后会使用它们自己的标识符系统来利用网络切片。如果出现这种情况，互联网将会崩溃，并且将只有部分鲜为人知的应用程序会继续使用互联网全球唯一标识符系统。

5 在 5G 中，是否仍需使用电话号码？5G 是否会引入新的标识符集？如果引入，这些标识符是否会在 DNS 中使用？

5.1 背景

首先，基础语音服务依赖于 Voice over LTE (VoLTE)，并且 WhatsApp、Telegram、Facetime 等服务占市场主导地位，结合两者来看，电话号码或许将成为过去。

其次，物联网通信还可能需要使用其他类型的标识符，尤其需要与隐私安全要求相关联的标识符，无论这些标识符是短暂的还是持久的。

但问题是：在 5G 中，需要使用哪些新的标识符（如果有）？这些标识符是否基于 DNS？是否仍需使用 IPv4 或 IPv6？

5.2 讨论

在蜂窝网络中，E.164⁶ 号码仅用于识别终端用户设备。在北美地区，自 2G 以来，蜂窝网络一直使用另一个标识符 - 国际移动用户识别码 (IMSI) - 来路由通话。同样，WhatsApp 和其他类似应用程序使用 E.164 电话号码来识别用户，但使用 IP 来移动数据和拨打电话。因此，E.164 以最终用户身份存在。

Enum⁷ 尚未利用电话号码的可移植性进行广泛部署。

各种即时消息 (IM) 系统和社交媒体平台之间没有建立通信桥梁。由于这些平台之间相互竞争，因此，看不到互用性的价值。例如，如果 WhatsApp 用户想要与 Telegram 用户通信，那么必须至少其中一方注册了另一方的服务并下载适当的应用程序。因此，引入一组映射到特定即时消息系统或社交媒体平台的新标识符的通用目录系统将毫无用处。

如今，物联网设备制造商通常使用他们自己的专有系统来识别和连接这些设备。制造商可以从多种方案中进行选择：设备的序列号、IMEI⁸ 号、MAC 地址、DOA 标识符或完全专有的内容。这些标识符大多与硬件相关联，并且本质上可供持久使用。如果可以将持久标识符映射到设备所有者/用户，那么这种持久性可能会引发隐私问题。要解决这个问题，可能需要引入一组全新的与隐私相关的临时标识符。ICANN CTO 办公室已经围绕能否使用 DNS 中托管的这些临时或持久标识符进行了研究，并开发了相关原型。他们在 2017 年 11 月召开的 ICANN 阿布扎比会议上展示了这些原型，以证明将 DNS 用于物联网标识符的可行性。

与 4G 和之前的迭代类似，5G 大量利用了 IPv4 地址、IPv6 地址和域名。引入新标识符系统的好处必须大于开发和部署这类新系统的复杂性和成本，同时这些新标识符还必须保持与现有域名/IP 地址的互用性。

5.3 ICANN 立场

对于使用 5G 的面向用户的传统应用程序，在使用新标识符系统方面似乎没有明确的需求。但对于物联网却并非如此。开发新全球标识符，尤其开发可以更好地处理隐私的标识符，有助于物联网的发展。这些标识符可以直接在 DNS 中实施。

⁶ E.164 是 ITU-T 提出的一项建议，它定义了全球公共交换电话网 (PSTN) 的国际编号计划。

⁷ Enum 是一种映射，通过 DNS 将 E.164 电话号码映射到 URI。有关 Enum 的定义，请参阅 <https://tools.ietf.org/html/rfc6116> 和 <https://tools.ietf.org/html/rfc6117>。

⁸ IMSI（国际移动用户识别码）是一个代码，蜂窝网络运营商使用这个代码来识别移动网络上的 SIM 卡。IMEI（国际移动设备标识码）是设备本身的国际“序列号”。

6 ITU-T Network 2030 焦点组

6.1 背景

ITU-T 成立了新的 Network 2030 焦点组⁹，并且已经着手开展一项新的工作，这项工作与 5G 并无直接关系。他们设立了一个明确目标，即定义新的第 3 层网络协议（取代 IP）。2019 年，该小组发布了一份白皮书¹⁰和一份技术报告¹¹，声明 TCP/IP 不适合未来的应用，如全息通信和机器对机器通信。Network 2030 焦点组强调了一个关键要素，即，开发一个访问控制机制，以便超越“尽力而为的”服务，并确保延迟和抖动的稳定性。这个目标要求使用应用程序编程接口 (API)，确保应用程序在开始通信之前能够直接对网络进行编程，而不是测量网络传播特性并对其进行调整。焦点组还强调了另一个设计要素，即，将通信流分组，以便在拥塞的情况下它们可以拥有相同的流量。焦点组强调的最后一个要素是，允许网络层元素在拥塞的情况下“降级”一些流量。

Network 2030 焦点组的目标不是创建泛在网络，而是为特定的垂直行业创建量身定制的网络。正常情况下，一个网络设备可以连接到“多个”专用网络，而不是只是一个网络。

注：Network 2030 焦点组的目标是，能够基于有线线路基础设施，使用“超越 5G/6G 架构”的无线网络。

6.2 讨论

认为 TCP/IP 不适合某些类型的新兴应用程序的观点层出不穷。事实上，每当出现新的网络接入技术，如数字用户线路 (DSL)、光纤到家 (FTTH)、3G、4G、5G 等，这类观点就会重新出现。运营商为改进 TCP 传输控制协议进行了跟踪记录，结果表明，大多数运营商最终认识到 TCP 仍是最佳方法。不过，这种情况在未来可能会发生改变，例如，如果要与航天器、行星和其他遥远物体进行连接，这种方法或许将不再可行。尽管如此，这并不意味着我们只需使用 TCP 即可，不需要使用新的传输协议；IETF 正在努力为 QUIC¹² 传输协议制定相关标准，该协议提供了流多路复用和低延迟连接建立等功能。

自网络出现以来，关于是否需要制定准入控制机制来保证 QoS 的争论一直持续不断。在过去的几十年里，人们给出的答案始终是“需要更多的带宽”，而不是像 Network 2030 焦点组提倡的那样，回到面向连接的网络模型，如传统的电话网络。

有人认为，将流合并并提供一个新 API 便可允许应用程序更好地向底层网络传达需求，而无需新的层协议。IETF 在这些方面已经做了很多努力。但我们需要考虑一个问题：这么多年来，如何在视频内容分发网络中使用应用层中继实施流带宽自适应？

⁹ 请参阅 <https://www.itu.int/en/ITU-T/focusgroups/net2030/Pages/default.aspx>

¹⁰ 请参阅 https://www.itu.int/en/ITU-T/focusgroups/net2030/Documents/White_Paper.pdf

¹¹ 请参阅 https://www.itu.int/en/ITU-T/focusgroups/net2030/Documents/Deliverable_NET2030.pdf

¹² 请参阅 <https://datatracker.ietf.org/doc/draft-ietf-quic-transport/>

Network 2030 焦点组文档主要谈论了机器对机器通信，这种通信要求往返时间 (RTT) 低于 10 毫秒，或者甚至低于 1 毫秒。正如 ITU-T FG2030 发表的技术论文所指出的那样，这个要求取决于光速，不可控。RTT 为 10 毫秒表示经过的距离大约是 1000 公里，RTT 为 1 毫秒则表示经过的距离为 100 公里。因此，我们现在讨论的网络为本地（或最好是区域）网络。在这些网络中，可以部署专门的技术和工程实践来满足特定的需求，而不会影响全球互联网的发展。

将设备连接到“多个”专用互联网的想法与本文前面讨论的想法一样，存在一些相同问题。

需要注意的是，**Network 2030** 焦点组提出的要求和用例并不十分详细，也没有为创建实际所需的新网络协议族奠定坚实的技术基础。因此，在人们看来，这项计划还不成熟，其中提出的许多想法都是来源于科幻小说（如全息通信），而不是基于当前和实际的网络问题。除此之外，我们还应该注意一点，这个焦点组似乎并不能作为整个行业的代表。

Network 2030 焦点组本应在 2019 年 11 月完成工作，但却获准延期一年。

最后，还需要记住的一点是，从 IPv4 过渡到 IPv6 经历了重重困难。自从 20 多年前第一次标准化 IPv6 以来，IPv6 的应用仍未能普及。可想而知，取代 TCP/IP 的过程必然也是前路坎坷，长路漫漫。

6.3 ICANN 立场

多年来，我们开展了多项学术研究，旨在重新定义“未来互联网”模型。然而，从传统上来讲，网络和传输层协议（如 TCP/IP 协议族）的开发和标准化属于 IETF 的范畴，而不属于 ITU-T 的范畴。更为重要的是，在尝试取代 TCP/IP 之前，我们应该考虑所需付出的时间成本。只有当带来的好处大于过渡的复杂性和所需的一切成本时，取代才有价值。

7 在 5G 的边缘领域，非 IP 解决方案是否有机会？

7.1 背景

人们已经提出使用 5G 边缘的非 IP 解决方案来解决 IP 模型中的感知延迟或限制，从而支持诸如电池供电设备或低能量/低带宽网络之类的受限环境，或适当地支持延迟敏感的应用程序。

7.2 讨论：能否在 5G 中部署非 IP 解决方案？

这个问题可以转换为以下问题：

连接到同一边缘的两台 5G 设备能否进行直接通信？或者能否在第 3 层协议使用非 IP 解决方案？

是的，现在可以。3GPP 版本 15¹³ 提出了以太网分组数据单元 (PDU) 这个定义，因此两个以这种方式连接的设备可以通过以太网在 L2 直接相互通信，也可以实施它们选择的任何第 3 层协议（不一定是 IP）进行相互通信。这类设备必须实施专门的协议栈。这种解决方案在垂直市场中切实可行，例如工业 4.0 环境中的机器对机器 (M2M) 通信。

连接到同一边缘的两个 5G 设备能否直接通信？或者能否使用一些新的第 2 层扩展？

在不久的将来或许可以。3GPP 正在考虑定义一个配置文件来支持 3GPP 版本 16¹⁴ 的 IEEE 802.11¹⁵ 标准中提到的时间敏感网络 (TSN) 扩展¹⁶。如前所述，这些设备必须实施一个专门的协议栈。这种方法在垂直市场中切实可行，例如工业 4.0 环境中的机器对机器 (M2M) 通信。

5G 设备能否使用非 IP 技术与边缘数据中心内的服务器进行通信？

可以。该服务器必须实施一个专门的协议栈。

请注意，上述情况仅适用于满足两个条件的设备之间的私有通信：受同类型的（或相关）管理控制；设备之间的地理位置相对较近。如果两个端点相距很远，那么由于光速的限制，替换 IP 的所有重要延迟优势都会消失。如果通信涉及受不同类型的管理控制的实体，则在不同实体之间建立技术连接和适当业务关系将会非常复杂，进而加大了实现这类通信的难度。

7.3 讨论：IP 能否在受限设备上工作？

互联网工程任务组 (IETF) 一直非常积极使 IP 能够在受限网络上正常运作。6lowpan 工作组¹⁷ 及后继 6Lo 工作组¹⁸ 已经定义了相关扩展，以在资源受限的设备（例如使用电池供电的设备或使用极低带宽无线电的设备）上启用 IP。

在支持的链路层技术中，我们会运用以下标准和功能：RFC4944¹⁹ 中支持的 IEEE 802.15.4²⁰；RFC7428²¹ 中支持的 ITU-T G.9959²² (Zwave)；RFC7668²³ 中支持的低功耗蓝牙²⁴ (BLE)；RFC8105²⁵ 中支持的数字增强无绳通信/超低能耗²⁶ (DECT-ULE)；RFC8163²⁷ 中支持的主从令

¹³ 请参阅 <https://www.3gpp.org/release-15>

¹⁴ 请参阅 <https://www.3gpp.org/release-16>

¹⁵ 请参阅 <https://1.ieee802.org>

¹⁶ 请参阅 <https://1.ieee802.org/tsn/>

¹⁷ 请参阅 <https://datatracker.ietf.org/wg/6lowpan/about/>

¹⁸ 请参阅 <https://datatracker.ietf.org/wg/6lo/about/>

¹⁹ 请参阅 <https://tools.ietf.org/html/rfc4944>

²⁰ 请参阅 <http://www.ieee802.org/15/pub/TG4.html>

²¹ 请参阅 <https://tools.ietf.org/html/rfc7428>

²² 请参阅 <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.9959>

²³ 请参阅 <https://tools.ietf.org/html/rfc7668>

²⁴ 请参阅 <https://www.bluetooth.com/learn-about-bluetooth/bluetooth-technology/radio-versions/>

²⁵ 请参阅 <https://tools.ietf.org/html/rfc8105>

²⁶ 请参阅 <https://www.ulealliance.org>

²⁷ 请参阅 <https://tools.ietf.org/html/rfc8163>

牌传递²⁸ (MS/TP); draft-ietf-6lo-nfc²⁹ 中支持的近场通信³⁰ (NFC); draft-ietf-6lo-plc³¹ 中支持的电力线通信³² (PLC)。我们应用了各种技术, 包括报头压缩 RFC3095³³, RFC6282³⁴, RFC7400³⁵, 链路层碎片化, 并通过适配层 RFC4944³⁶, 协议优化 (例如, IPv6 邻居发现协议优化 RFC6775³⁷, 受限网络中的路由协议优化 RFC6550³⁸) 进行重组。IETF 文档 draft-ietf-6lo-use-cases 中介绍了描述在这些受限环境中使用 IP 的用例³⁹。

7.4 讨论: 如何在 TCP/IP 中考虑延迟敏感应用程序?

电气电子工程师学会 (IEEE) 正在定义 IEEE 802.1⁴⁰ 标准的时间敏感网络 (TSN) 扩展⁴¹。IETF 与 IEEE 802.1 携手合作, 共同成立了确定性网络 (DETNET) 工作组。该工作组的宗旨是致力于开发“在第 2 层桥接和第 3 层路由分段上运行的确定性数据路径, 以便对延迟、丢失和数据包延迟差异 (抖动) 设定限制, 并提供高可靠性”。

IETF 在该领域还开展了另一项工作, 即, 开发 QUIC⁴² 传输协议, 这个协议提供了流多路复用和低延迟连接建立等功能。

7.5 ICANN 立场

使用专用 5G 网络或公共 5G 网络的网络切片的特定垂直市场只是专用网络的一个特例。在专用网络中, 人们可以自由利用特定的非基于 IP 的技术, 而不会对全球互联网的发展产生任何影响。

ICANN 指出, 为使 IP 能够在受限环境 (例如使用电池供电的设备, 极低功耗/极低带宽网络) 下正常运行, IETF 成立了 6lowpan 工作组和后继 6lo 工作组, 开展了大量的工作。不仅如此, IETF 还与 IEEE 时间敏感网络小组合作, 为 DETNET 工作组开发的延迟敏感应用程序提供支持。IETF 为延迟敏感环境开展的另一项工作是开发 QUIC 传输协议, 它提供了流多路复用和低延迟连接建立等功能。

²⁸ BACNET (ANSI 标准 135-2016) 是一种用于构建自动化和控制网络的数据通信协议。

²⁹ 请参阅 <https://datatracker.ietf.org/doc/draft-ietf-6lo-nfc/>

³⁰ 请参阅 <https://www.iso.org/standard/56692.html>

³¹ 请参阅 <https://tools.ietf.org/html/draft-ietf-6lo-plc-01>

³² 请参阅 <https://standards.ieee.org/standard/1901-2010.html>

³³ 请参阅 <https://tools.ietf.org/html/rfc3095>

³⁴ 请参阅 <https://tools.ietf.org/html/rfc6282>

³⁵ 请参阅 <https://tools.ietf.org/html/rfc7400>

³⁶ 请参阅 <https://tools.ietf.org/html/rfc4944>

³⁷ 请参阅 <https://tools.ietf.org/html/rfc6775>

³⁸ 请参阅 <https://tools.ietf.org/html/rfc6550>

³⁹ 请参阅 <https://datatracker.ietf.org/doc/draft-ietf-6lo-use-cases/>

⁴⁰ 请参阅 <https://1.ieee802.org>

⁴¹ 请参阅 <https://1.ieee802.org/tsn/>

⁴² 请参阅 <https://datatracker.ietf.org/doc/draft-ietf-quic-transport/>