

6G : AI 化 + 极简多能, 成为普惠智能 与元宇宙的基础设施

AI-zation and versatility with minimized kernel:
A 6G as an infrastructure for inclusive
intelligence and metaverse

OPPO 6G 白皮书 2023 版

oppo

1.0 6G 系统总体概念

| | | |
|-----|-----------------------|----|
| 1.1 | 6G 在移动通信发展中的历史使命 | 04 |
| 1.2 | 6G 应成为普惠智能与元宇宙的基础设施 | 05 |
| 1.3 | 基于 6G 的移动 AI 是普惠智能的基础 | 07 |
| 1.4 | 基于 6G 的移动元宇宙是构建元宇宙的基础 | 09 |
| 1.5 | “AI 化”是实现移动 AI 的可行之路 | 11 |
| 1.6 | “极简多能”是实现移动元宇宙的必由之路 | 15 |

2.0 6G 极简核心

| | | |
|-------|------------------|----|
| 2.1 | 6G 极简核心之内生智能 | 21 |
| 2.1.1 | 基于内生智能的 6G 网络 | 22 |
| 2.1.2 | 基于大模型的智能按需组网 | 24 |
| 2.1.3 | 基于 6G 内生智能的智能化替代 | 25 |
| 2.2 | 6G 极简核心之安全 | 27 |
| 2.2.1 | 6G 时代的变化及安全趋势 | 27 |
| 2.2.2 | 6G 时代关键安全技术 | 28 |
| 2.2.3 | 6G 时代安全零信任安全架构 | 29 |
| 2.3 | 6G 极简核心之灵活频谱共享 | 30 |
| 2.4 | 6G 极简核心之“最小处理核” | 32 |

3.0 6G 宽带蜂窝子系统

| | | |
|-----|------------------|----|
| 3.1 | 6G 宽带蜂窝 KPI 指标要求 | 35 |
| 3.2 | 6G 宽带蜂窝关键技术与系统设计 | 36 |
| 3.3 | 6G 空口的 AI 化替代 | 38 |

4.0 6G D2D 子系统

| | | |
|-----|------------------|----|
| 4.1 | 6G D2D KPI 指标要求 | 43 |
| 4.2 | 6G D2D 关键技术与系统设计 | 44 |

5.0 6G 低时延高可靠子系统

| | | |
|-----|--------------------|----|
| 5.1 | 6G 低时延高可靠 KPI 指标要求 | 49 |
| 5.2 | 6G 低时延高可靠关键技术与系统设计 | 50 |

6.0 6G 感知子系统

| | | |
|-------|----------------|----|
| 6.1 | 6G 感知 KPI 指标要求 | 53 |
| 6.2 | 6G 感知关键技术与系统设计 | 54 |
| 6.2.1 | 6G 感知子系统的两种模式 | 54 |
| 6.2.2 | 通信感知融合系统的关键技术 | 55 |
| 6.2.3 | 独立感知模式关键技术 | 58 |

7.0 6G 超大规模 IoT 子系统

| | | |
|-------|-----------------------|----|
| 7.1 | 6G 超大规模 IoT 技术需求 | 60 |
| 7.1.1 | 技术需求 | 60 |
| 7.1.2 | KPI 指标要求 | 61 |
| 7.2 | 6G 超大规模 IoT 关键技术与系统设计 | 62 |

8.0 6G 空天通信子系统

| | | |
|-----|------------------|----|
| 8.1 | 6G 空天通信 KPI 指标要求 | 66 |
| 8.2 | 6G 空天通信关键技术与系统设计 | 67 |

9.0 总结

71

| | |
|------|----|
| 参考文献 | 74 |
|------|----|

1.0 6G 系统 总体概念

- 6G 在移动通信发展中的历史使命
- 6G 应成为普惠智能与元宇宙的基础设施
- 基于 6G 的移动 AI 是普惠智能的基础
- 基于 6G 的移动元宇宙是构建元宇宙的基础
- “AI 化”是实现移动 AI 的可行之路
- “极简多能”是实现移动元宇宙的必由之路

6G 在移动通信 发展中的历史使命

1.1

移动通信技术十年一代，都需要担当相应的历史角色。那么，在经历了五代发展之后，第六代移动通信技术（6G）又将在移动通信发展进程中承担何种历史使命呢？我们首先需要探讨这个问题。

通信是一门应用学科，与基础科学研究不同，其最终目标不仅是“探索、解释自然定律”，更重要的是满足人和社会的信息化需求，同时获得合理的市场回报，推动信息产业和信息社会的持续健康发展。因此，以需求驱动确定每一代的创新方向，移动通信技术演进才能不断取得成功。

回顾从1G到5G的发展历程，可以看到，移动通信实际上并不是通过一代技术实现一次产业升级，而是每两代技术实现一个大的产业升级目标：

- 1G 和 2G 实现了“移动话音”，即无所不在的话音接入；
- 3G 和 4G 实现了“移动数据与移动视频”，即无所不在的互联网接入；
- 5G 和 6G 的目标是实现“移动 AI 与移动元宇宙”，即成为普惠智能与元宇宙的基础设施。

历史上的两次大的产业升级都能激活一个新兴的“十亿级”用户市场。1G、2G使移动电话在数十亿人口中普及，3G、4G又将这几十亿用户转化为移动数据和移动多媒体。2G、4G相对1G、3G更成功的原因，是作为一个大的升级阶梯的“后半步”，针对1G、3G在“前半步”暴露出来的问题和差距，有针对性的驱动技术革新，最终完整实现了产业升级目标。

5G和6G致力于一个非常宏大的产业升级目标，但在10年前定义5G的顶层设计的时候，产业对人工智能和元宇宙的理解还比较初步，只着重实现了从“互联”到“物联”的突破，没有充分注意到，要想成为AI和元宇宙的基础设施，移动通信系统不可能仍停留在“管道”这一单纯角色上，而需要具备更丰富的系统能力。因此，6G的历史使命，是基于5G的经验教训，彻底实现“成为普惠智能与元宇宙的基础设施”这一产业升级目标。

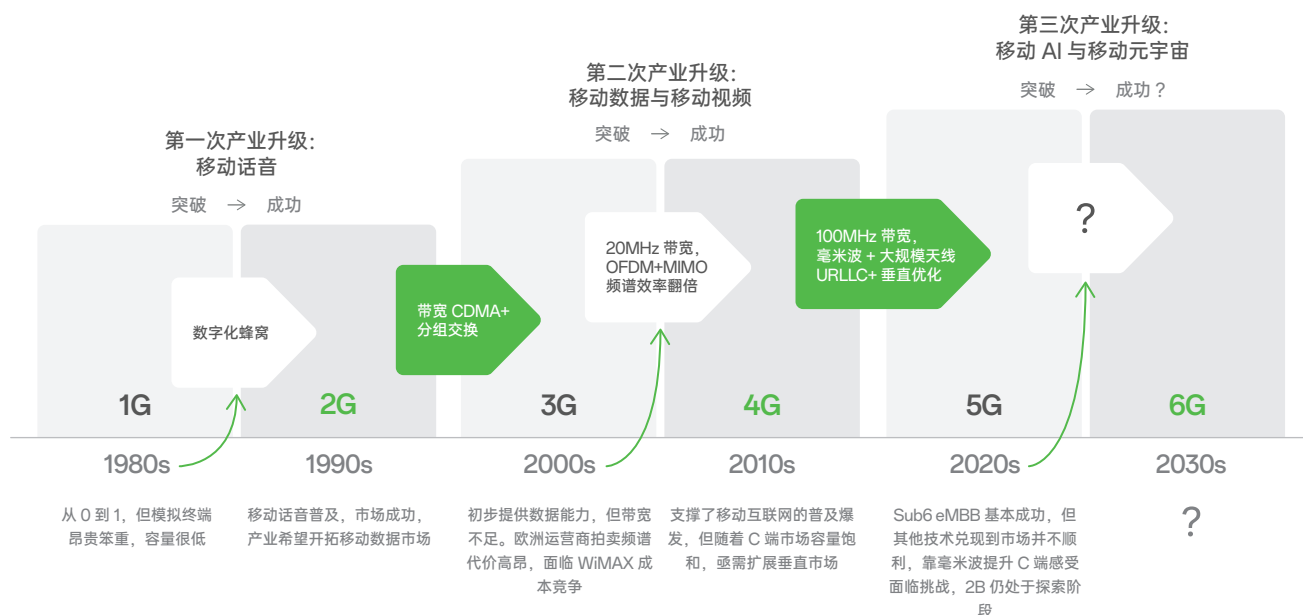


图 1-1: 移动通信的代际演进历程

6G 应成为普惠智能 与元宇宙的基础设施

近两年来，业界在“应该设计一个什么样的 6G 系统”方面持续探索。2023 年 7 月，国际电信联盟（ITU-R）完成了《IMT 面向 2030 及未来发展的框架和总体目标建议书》，业内对 6G 愿景和总体概念已形成初步共识。

ITU-R 面向 IMT-2030 (6G) 的愿景中定义了六大场景。如图 1-2 所示，在 IMT-2020 (5G) 三大场景基础上往外延伸，形成了 6G 的六大场景，包括沉浸式通信、超大规模连接、超可靠低时延通信、AI 与通信一体化、感知与通信一体化和泛在连接。

移动通信产业是非常依赖规模效应的产业，前两次大的升级都为产业带来了“十亿用户级”的新兴市场，无论 2G 时代的数字移动电话，还是 4G 时代的移动互联网，都在全球数十亿人口中得到普及，为移动通信产业带来了巨大的经济和社会效益。当然，我们今天也有理由期望，通过 5G、6G 完成的第三次产业升级，能再次带来“十亿用户级”的新兴市场。从目前形成的 IMT-2030 (6G) 的发展框架看，6G 有望带来两个“十亿用户级”的新兴市场：移动 AI 与移动元宇宙。

在 IMT-2030 (6G) 发展框架提出的六大应用场景中，AI 与通信一体化（AI and Communication）可望推动移动 AI 计算的普及，通过 AI 算力网络和算力终端实现普惠智能（inclusive intelligence），激活第一个新的“十亿用户级”市场；其他五大场景可望推动构建一个移动的虚拟数字环境，通过实现消费元宇宙和工业元宇宙，实现虚实两个世界的互通互融，激活另一个新的“十亿用户级”市场。

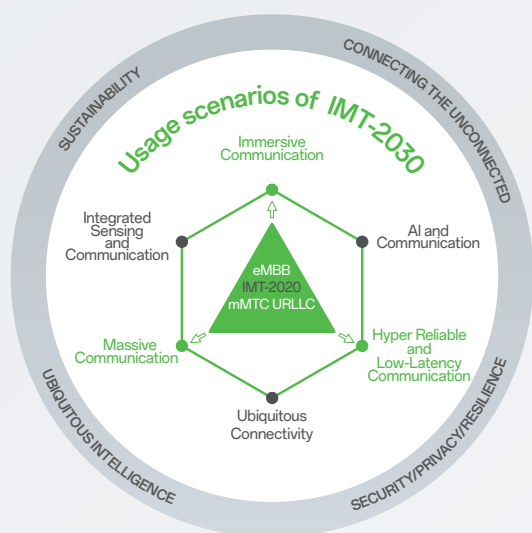


图 1-2: IMT-2030 (6G) 的愿景中定义的六大应用场景

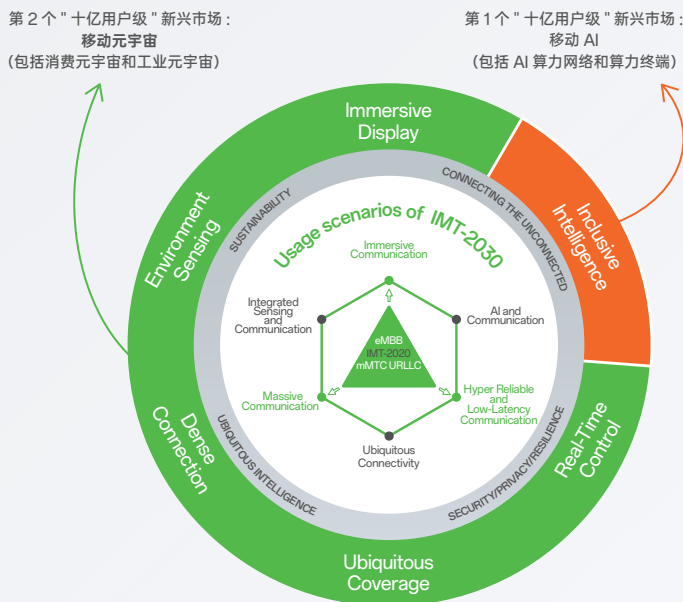


图 1-3: 6G 可望激活的两个“十亿用户级”新兴市场

而这两个“十亿用户级”市场又是相互赋能、相互促进的：移动 AI 计算可以看作移动元宇宙的大脑，为构建元宇宙所需的环境感知、实时控制、沉浸式显示等提供了必要的处理和计算能力，没有无处不在的分布式 AI 计算，移动元宇宙的终端和业务很难真正得到普及；移动元宇宙可以看作 AI 计算的躯体，为普惠智能广泛的提供采集数据的感官、反馈效果的神经和执行动作的肢体。

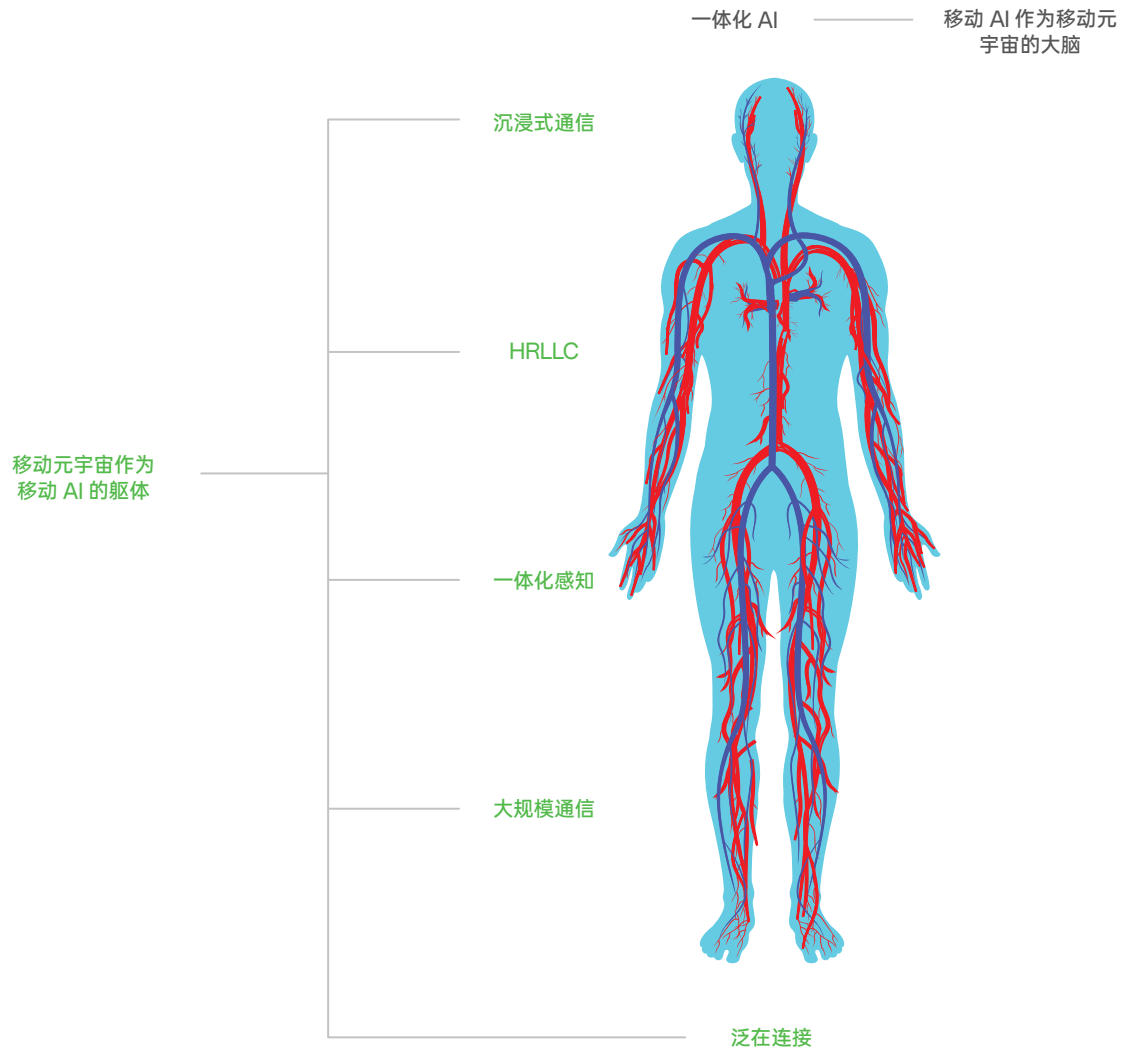


图 1-4: 移动 AI 与移动元宇宙的关系

基于 6G 的移动 AI 是普惠智能的基础

1.3

近年来，基于网络大模型的生成式 AI 业务快速发展，展现出巨大的创新潜力，将带来整个信息产业和信息社会的深远变革。但在 5G 时代，完全集中在网络侧的 AI 计算架构也引发了一些潜在的问题与担忧。如图 1-5 所示，集中式 AI 计算主要依赖在云端运行的 AI/ML 模型进行 AI 训练和推理，终端仅仅是为云端 AI/ML 模型提供训练数据、执行云端 AI/ML 推理结果的非 AI 设备，而 5G 系统仅仅是上传 AI 训练数据、下发 AI 推理结果的管道。

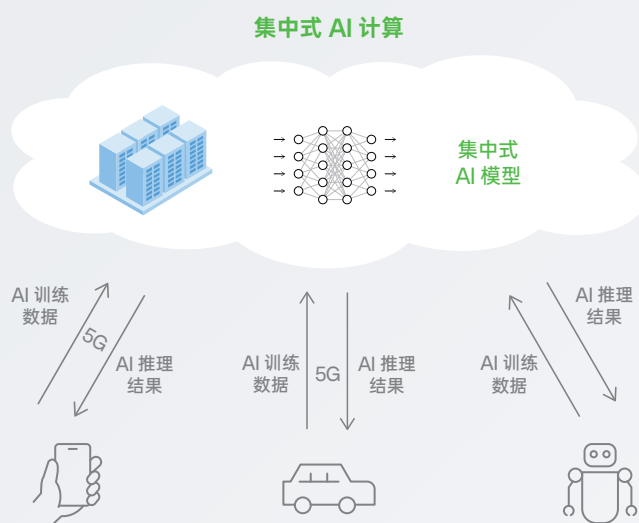


图 1-5: 5G 时代采用的集中式 AI 计算架构

这种集中式 AI 计算架构的潜在问题包括：

AI 算力与知识的垄断： AI 计算过度集中于网络数据中心，可能造成 AI 算力垄断和 AI 知识垄断，普通用户不得不依赖于 AI 服务提供商的网络算力，对与自身工作生活直接相关的 AI 算力也无法控制。

AI 智能对人类智能的替代： 人类几百万年演进的历史，是人类普适智能与个体智能共同发展、良性互动的历史。个体智能的普适部分凝聚为人类公认的普适智能，但同时多样性的个体智能仍然蓬勃发展，与普适智能保持一定的差异，并不断推动普适智能的修正与演进。但当前集中式 AI 依托强大算力和海量数据，总是能给出“最优”的答案，给人“一个超强的 AI 大脑，可以替代人类个体思考”的错觉，诱导人类放弃自身的思考，完全依赖 AI 解决所有问题。这种依赖有可能造成人类智能的趋同和去个性化，进而导致人类智能的退化与中止演进，最终被 AI 智能替代。

个人信息安全问题： 在集中式 AI 架构中，终端用户的数据全部上报用于网络侧 AI 模型的训练与推理，终端用户自己不能对自身数据进行初步训练和推理，可能沦为 AI 数据的单纯提供者，存在个人数据安全和隐私泄露的风险。

基于上述原因，集中式 AI 计算架构虽然也能支撑 AI 业务的快速发展，但却可能造成人类智能发展的集中化、同质化，难以实现每个用户自主可控的 AI 计算，难以保证每个人的个性化智能发展的权力，也难以确保用户的隐私安全。

一个更合理的 AI 计算架构，是基于 6G 的移动 AI 计算。如图 1-6 所示，每个终端都有轻量化的 AI/ML 模型，可以基于用户自己的数据进行个性化的 AI 训练和推理，同时又可以充分利用网络侧的大型通用 AI/ML 模型进行高复杂度的通用 AI 训练和推理。这样，网络侧模型和终端侧模型可以配合进行“分割式”训练与推理，共同完成用户所需的 AI 计算任务。这种移动 AI 计算架构具有如下优点：

- 用户自主可控的 AI 计算：虽然仍采用网络侧的庞大算力进行高复杂度的通用 AI 训练与推理，但个性化的训练、推理在终端侧完成，使用户可以对与自身直接相关的 AI 计算实现自主可控，不完全依赖网络侧的算力。
- 用户自主可控的智能演进：终端侧的轻量级 AI 模型（如生成式 AI，AIGC）可以体现用户自身的思想特色和个人智慧，虽然需要借助网络侧 AIGC 进行普适的智能推理，但仍可与普适智能保持差异性，保证用户自主可控的智能演进方向，避免与其他用户的智能形成“同质化”发展，有利于人类智能的健康、多样化演进，防止人类智能逐步被一个“超强 AI 大脑”取代。
- 保护个人隐私数据安全：与用户直接相关的数据在终端侧本地的轻量级 AI 模型处理，仅将 AI 训练、推理的中间数据传输到网络，可以避免用户数据离开终端设备，直接暴露给网络，从而可以实现对终端数据的保护和脱敏。

在这个移动 AI 计算架构中，6G 的“AI 与通信一体化”应用场景，可以有效的实现分割式 AI/ML 推理与训练，从而使 6G 成为移动 AI 计算这个“十亿用户级”新兴市场的核心基础设施，在推动普惠智能的同时，实现通信产业的第三次升级和市场回报。

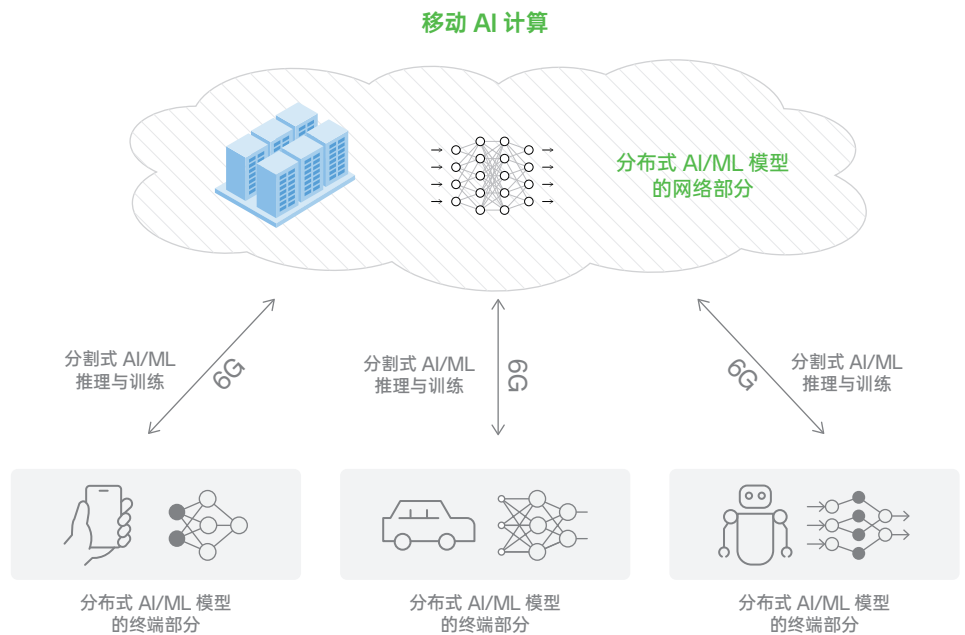


图 1-6: 基于 6G 的移动 AI 计算架构

基于 6G 的移动元宇宙 是构建元宇宙的基础

1.4

为什么与“移动 AI”这个大脑相配合的躯体必须是“移动元宇宙”呢？

首先，经过过去十年的探索，业界已经认识到，仅靠 5G 将大量无智能的机和物连接起来，并不能实现真正的信息化世界，因为人的感官能力和人脑的处理能力是有限的，少量人脑难以管理、控制海量机器完成工作。在少量人脑和海量的机和物之间，还必须有大量的非人类智能体来作为“中间管理者”，少量人脑授权大量智能体管理海量的机与物，大量智能体通过学习和训练成为人类控制信息化世界的媒介。



图 1-7: 5G 时代与 6G 时代对信息化世界的不同理解

通过 AI 智能体来控制信息化世界，不仅可以将人脑从“数据爆炸”的负担中解脱出来，还可以把信息化世界管理的更好。近些年来，AI 在图像、语音识别、大数据分析管理方面获得的巨大成功，就是人脑通过 AI 智能体控制信息化世界的成功范例。

而 5G 在直接连接少量人脑和海量机和物时碰到的“数据率、时延、可靠性”瓶颈，也可望在 6G 时代得到缓解，因为人脑与 AI 智能体之间的交互虽然需要很高数据率，但未必需要“随时随地”；而 AI 智能体与海量机和物之间的交互虽然需要海量的链接，但未必需要极低的时延和超高的可靠性。

但是，5G 的“万物互联”仍然只是将原有的数据采集终端连接起来，能够利用的数据远远不足以“喂饱”AI 大模型。在 6G 时代，如果人类将通过 AI 智能体对信息化世界进行控制与管理，则需要构建一个更完整、与物理世界对应性更好的虚拟世界，通过在虚拟世界的孪生镜像控制海量机和物的镜像，进而控制物理世界的机和物。而构建元宇宙，是实现这个虚拟世界的一个可行方法。近几年来，元宇宙之所以得到广泛关注，除了可以带给人类逼真的沉浸式多媒体娱乐体验，更重要的是描述了一种“通过虚拟世界管理物理世界、通过经营虚拟世界创造更美好的物理世界”的广阔前景。

而6G的其他5个应用场景，分别可以实现“感知物理世界，构建虚拟世界”、“从虚拟世界控制物理世界”、“向用户展示虚实两个世界”这构建元宇宙的三大步骤，同时提供“大规模通信”、“泛在连接”这两个基础能力，从而使6G成为移动元宇宙这个“十万用户级”新兴市场的核心基础设施，实现通信产业的第三次升级和市场回报。

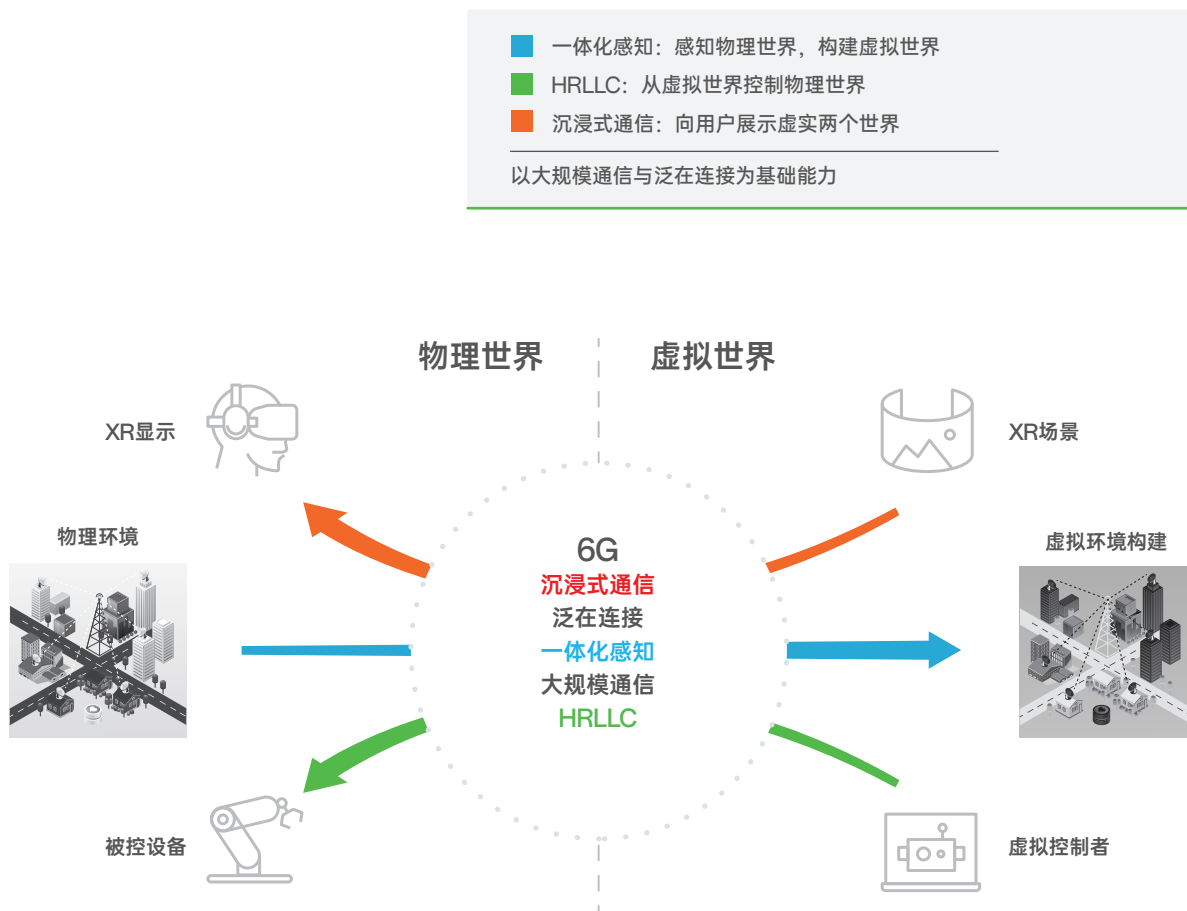


图 1-8: 6G 的五大应用场景，提供了服务于移动元宇宙的基本能力

“AI 化”是实现移动 AI 的可行之路

移动 AI 作为 6G 第一个“十亿用户级”市场，在 6G 系统设计上带来一个挑战：如何在网络和终端实现一套可同时满足 6G 通信和 AI 计算的高效且成本可控的软硬件设计？在今天的 5G 系统中，“5G for AI”和“AI for 5G”是分开设计，分开实现的，因此无法共享软硬件资源，注定成本较高。在 6G 时代，“AI 化”（AI-zation）是一条可行之路。

系统设计挑战：

如何在网络和终端实现一套可同时满足 6G 通信和 AI 计算的高效且成本可控的软硬件设计？

第 1 个“十亿用户级”新兴市场：
移动 AI（包括 AI 算力网络和算力终端）

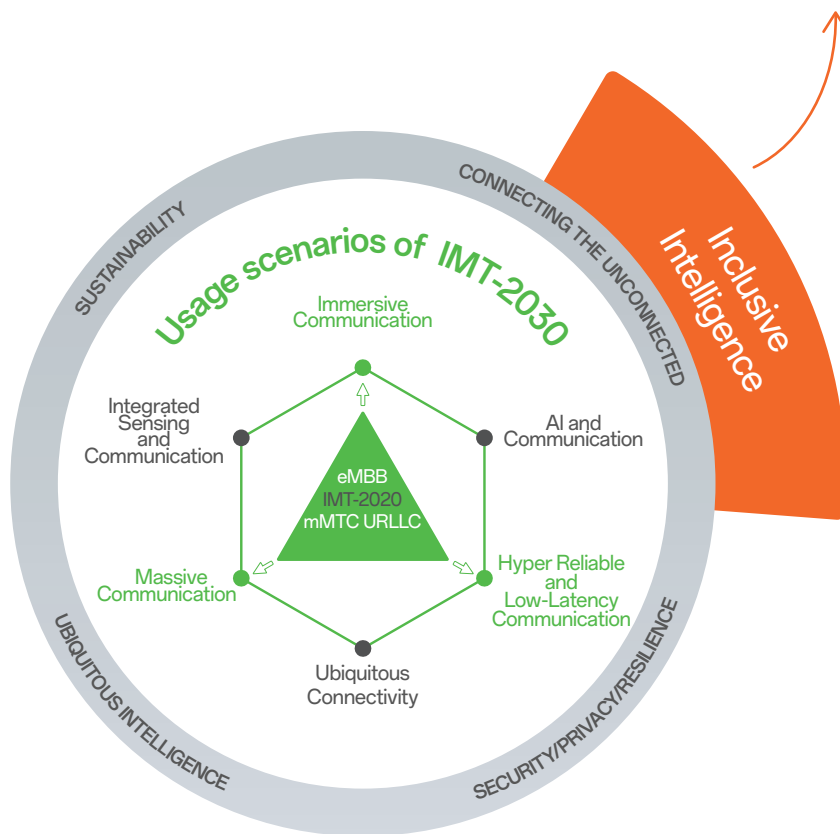


图 1-9：移动 AI 给 6G 系统设计带来的挑战

在如何在 6G 系统中引入 AI 技术的问题上，可以考虑两种思路：“基于 use case 的 AI 增强”和“AI 化”。

**第一种思路：
基于 use case 的 AI 增强**

在 5G 标准化中，采用了基于 use case 的 AI/ML 增强，即仅针对 5G 系统中的每个部分，分别考虑是否引入 AI/ML 算法。在 Rel-18、Rel-19 版本中可能对 CSI 反馈、波束管理、定位、移动性管理等 4 个 use case 进行 AI/ML 增强，前提是 AI/ML 算法相对传统算法体现出显著增益。这种思路的优点是比较稳妥，可以避免在 5G-Advanced 阶段引入不必要的设备升级成本。但是将这种思路用在 6G 移动 AI 的系统设计上，则会带来明显的问题：

- 首先，将 6G 系统看作一系列孤立的部分，分别考虑是否引入 AI 算法，难以获得端到端 AI 化带来的系统级 AI 增益。要求每个孤立的 use case 必须实现 AI 性能增益，将造成整个 6G 系统的 AI 化比例过低。而很多 AI 算法，只有在相关部分均 AI 化以后，才能共享训练数据，进行联合训练，实现 AI 增益最大化。
- 其次，6G 系统的 AI 化将变成一个缓慢渐进的过程，即在 6G 的第一版本，只有少量的 use case 实现 AI 化，即使 6G 软硬件已经具有较强的 AI 计算能力，也只能实现有限的 use case 的 AI 算法。然后在 6G 后续版本（如 6G-Advanced）逐渐增加 AI use case。但这将造成“产品等标准”的不利局面。
- 最后，至少在 6G 第一版本无法实现“AI for 6G”与“6G for AI”的融合，难以实现真正的“原生 AI”（Native AI），也无法实现 AI 业务与通信处理之间的软硬件高度共享。

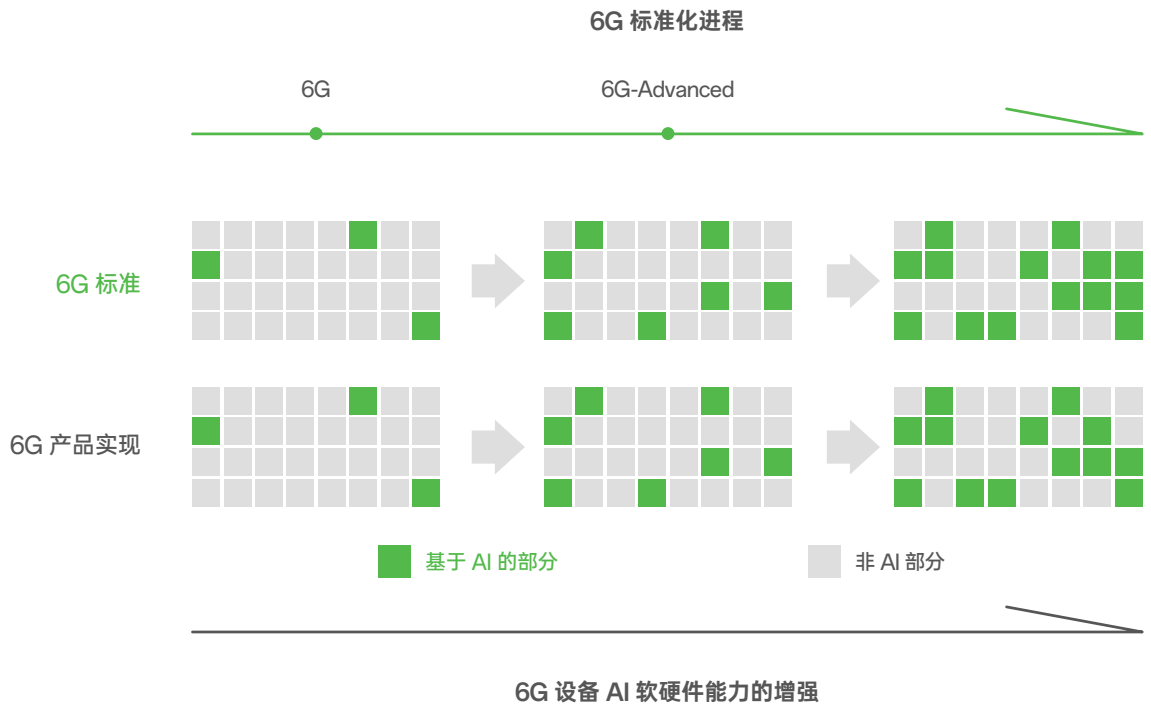


图1-10: 基于use case的渐进式AI增强思路

**第二种思路：
快速“AI 化”**

这种思路就是在 6G 标准化中，在尽可能多的设计环节采用 AI 算法，在各个系统部分都可以考虑基于 AI 的技术方案，最终对整个系统进行性能评估，满足 IMT-2030 的指标要求，不要求在每个单独的系统部分，AI 算法都必须获得相对非 AI 算法的性能增益。这种思路具有如下优势：

- 首先，可以在 6G 系统中实现尽可能大比例的 AI 化，从而多个相关部分均 AI 化以后，能够共享训练数据，进行联合训练，获得端到端 AI 化带来的系统级 AI 增益。
- 其次，能够在 6G 第一版本就实现快速的 AI 化，即在 6G 的第一版本就实现高比例的 AI 化，形成“标准等产品”的有利局面，使产业可以根据 6G AI 软硬件计算能力的逐步增强，自主的选择 6G 系统中采用 AI 算法的比例。
- 最后，可以尽快实现“AI for 6G”与“6G for AI”的融合，允许 6G 设备厂商研发 AI 业务与 6G 通信共用的软硬件，从而降低 6G 移动 AI 的软硬件成本，也能够从 6G 第一版本就实现真正的“原生 AI”。

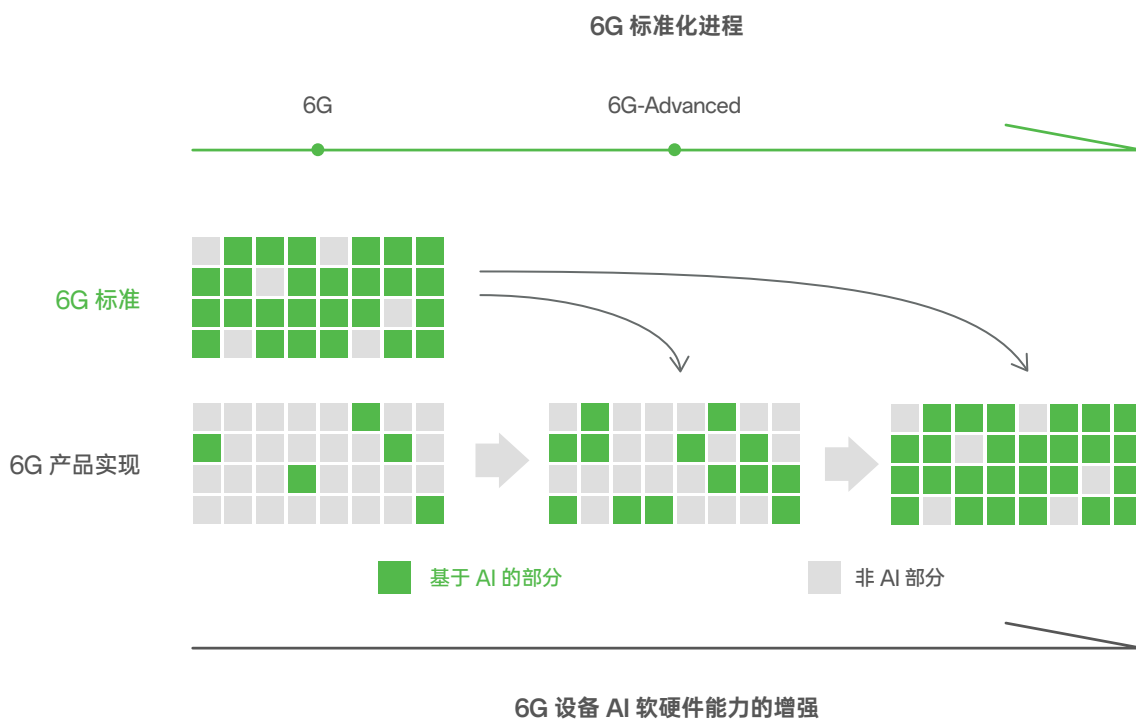


图 1-11: 快速“AI 化”思路

就目前来看，快速 AI 化是实现 6G 移动 AI 的更合理的路线。同时，AI 的工作机制也客观上提供了将 6G 系统快速 AI 化的可能。AI 算法的特点是黑箱化推理、数据驱动和模型训练，这一特点决定了，即使需要解决的技术问题形形色色，但 AI 的工作机制都是类似的，无非是数据收集、模型训练、模型管理、模型存储、模型推理等环节，这些环节被称为 AI 模型的生命周期管理（Life Cycle Management, LCM）。在 5G Rel-18 的研究中，形成了 AI/ML LCM 的初步结构，如图 1-12 所示。

虽然对 6G AI LCM 的设计还有待重新研究，但从 Rel-18 5G AI 的初步研究至少可以看到，不同 use case 的 LCM 机制都是相似的，只是具体的参数配置和过程细节可能有所差异。也就是说，预计可以用一个公共 LCM 机制来实现 6G 无线系统中的各个部分，这样就更不需要逐个 use case 的去确定是否需要支持 AI 算法，因为 6G AI 的标准化工作量并不会随着应用范围的变广而大幅增大。另一方面，我们可以发现，6G 无线系统采用的 AI LCM 机制其实与其他的 AI 应用领域的 AI LCM 也是类似的（实际上是通信领域的 LCM 设计借鉴了其他 AI 领域的经验），因此甚至可以尝试在“AI for 6G”与“6G for AI”之间共享一套公共 LCM 机制，以实现“AI for 6G”与“6G for AI”的融合设计，即一套 LCM 机制，既可以用于 6G 无线系统内部的 AI 数据收集、模型训练、模型管理、模型存储、模型推理，也可以用于对外 AI 服务的数据收集、模型训练、模型管理、模型存储和模型推理。这样，经过 AI 化的 6G 系统，就可实现 AI 业务与 AI 无线处理之间的软硬件资源共享，而不像在非 AI 的 6G 系统中，无线处理和 AI 应用只能分别使用独立的软硬件资源。

公共 AI/ML 生命周期管理 (LCM)

(以 5G Rel-18 研究进展为例)

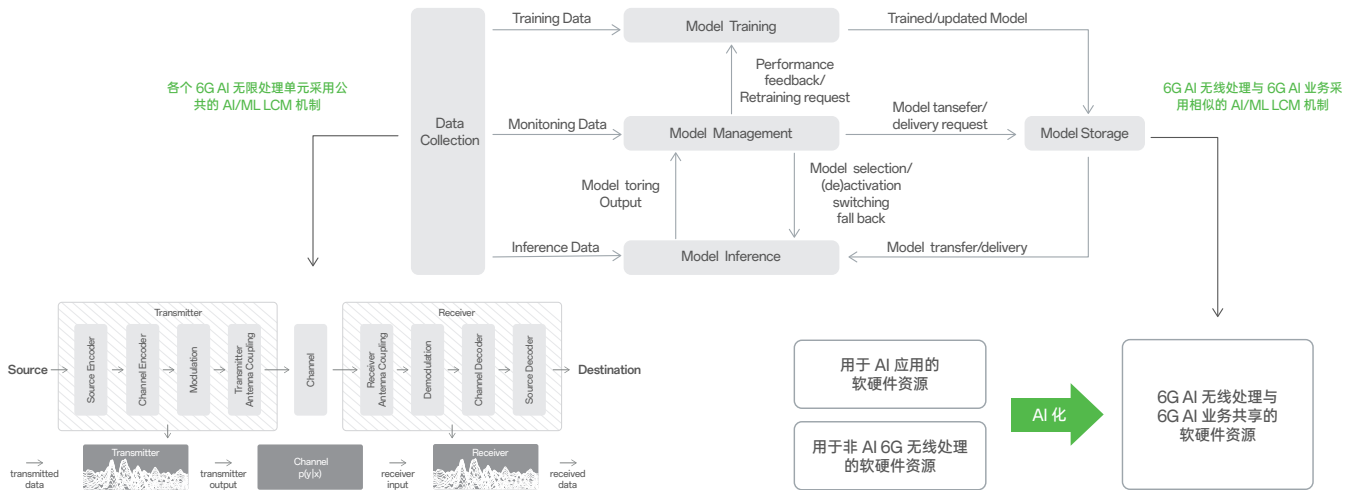


图 1-12: 公共 LCM 为快速 AI 化提供了可能

“极简多能”是实现移动元宇宙的必由之路

移动元宇宙作为 6G 另一个“十亿用户级”市场，对 6G 系统设计也会带来挑战：如何以一个成本可控的 6G 系统在 5 个需求迥异的应用场景的每个场景都具有市场竞争力？

系统设计挑战：

如何以一个成本可控的 6G 系统在 5 个需求迥异的应用场景的每个场景都具有市场竞争力？

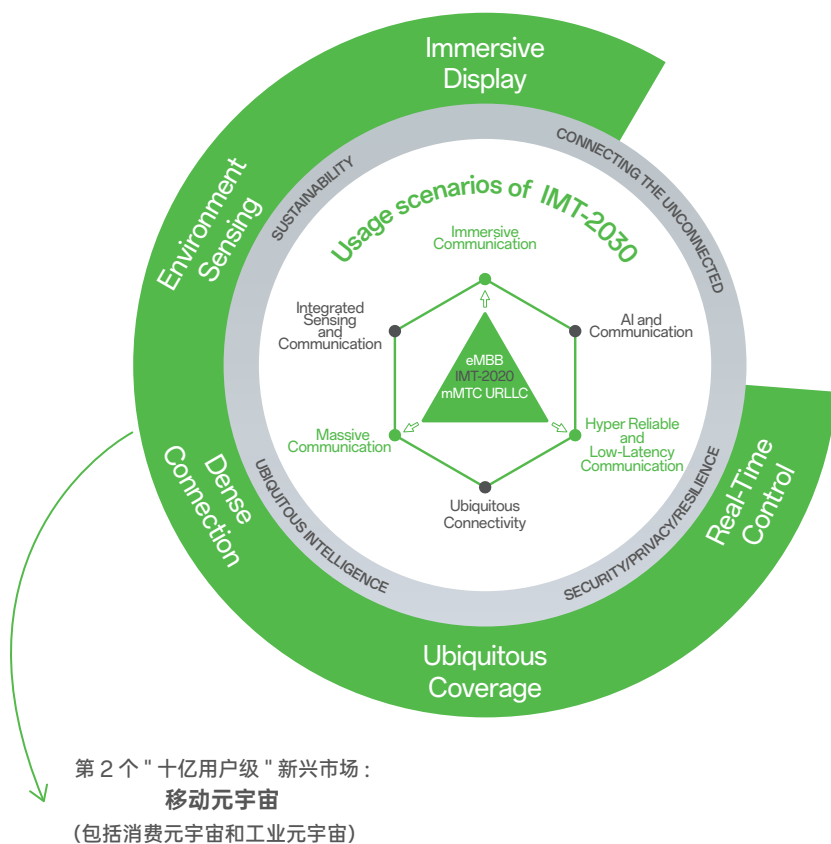


图 1-13：移动元宇宙给 6G 系统设计带来的挑战

实际上，5G 系统设计早已面对过这个挑战。5G 的设计定位与 4G 最大的不同，是要将移动通信系统从一个为人服务的“单一功能系统”扩展为一个“多能系统”（Versatile System），以覆盖人（即 eMBB）、机（即 URLLC）、物（即 mMTC）三大场景的云连接，实现物理世界的万物互联。

但在如何设计这个“多能系统”的问题上，5G 既有经验也有教训。

一方面，5G 没有盲目追求无线传输底层技术的“替代性变革”，大量继承了在 4G 中获得成功的 OFDM（正交频分复用）和 MIMO（即多天线传输）等核心技术，而将创新重心放在向各种业务场景、垂直应用的“横向扩展”上，着重在“低时延、高可靠、大容量”等方面进行了优化，总体设计目标是符合市场需求和产业发展趋势的。

但另一方面，5G 仍然基于“单一功能系统”的系统设计原则，面向一套“刚性管道指标”（即高速率+低时延高可靠），在技术上追求一体化设计，尝试通过“多参数集+网络切片”兼顾千行百业的细分业务

需求。但由于 5G 各垂直技术均以 eMBB 作为基线（baseline）和缺省设计，限制了技术创新空间，无法针对目标垂直领域做彻底优化，在很多垂直领域并未实现比较优势和可控成本。

- 首先，5G eMBB 通过引入毫米波传输，试图以高频段换取大带宽，实现更高传输速率。但毫米波信号只满足视距（Line-of-Sight, LOS）传输，造成覆盖范围、应用场景有限，对 5G eMBB 整体性能的提升贡献不多。5G eMBB 试图以大规模天线技术提高频谱效率，但过多的天线数量在很多部署场景中性能提升并不明显，却造成基站复杂度、能耗、工程难度的大幅上升。

- 随后，5G 继承了 eMBB 模式的核心设计，只是通过局部优化来提升时延、可靠性等性能指标，造成 URLLC 模式的复杂度在 eMBB 基础上叠加提升，对网络和终端的软硬件能力要求很高，成本控制面临很大挑战。

- 最后，针对 mMTC 应用场景，5G 也没有专门设计，而仅是在 eMBB 核心设计基础上做了一系列裁剪，形成“轻量化 5G”（RedCap）模式。但功耗、成本降低幅度有限，性价比相对 4G 系统并没有明显优势，难以实现真正的万物互联。

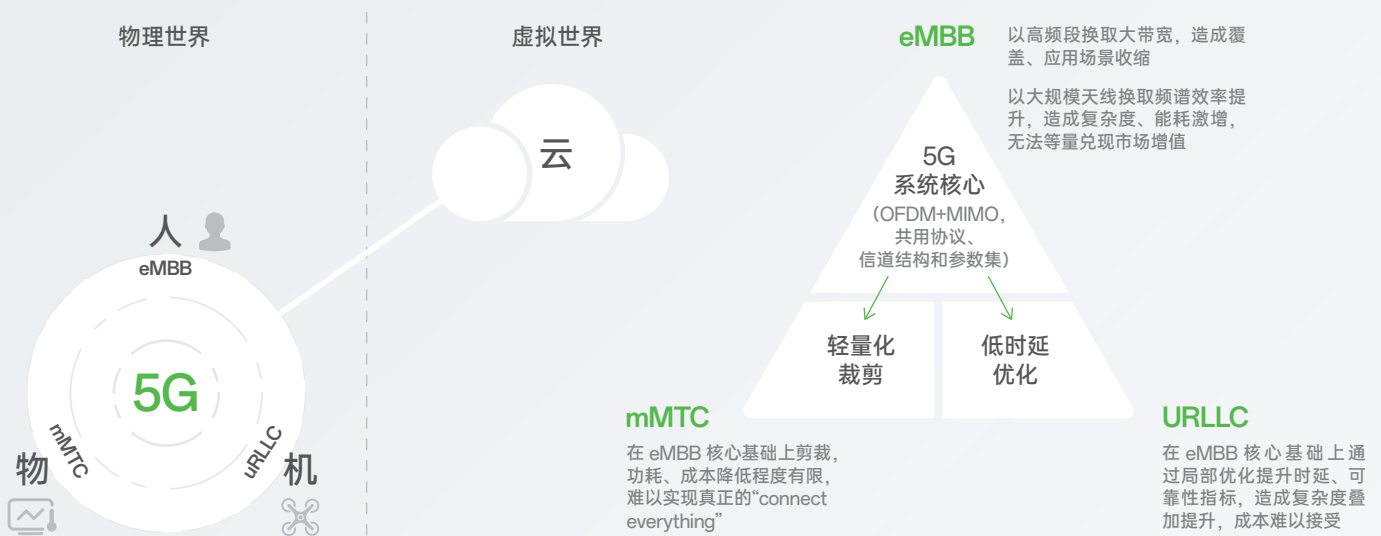


图 1-14: 5G 系统设计的经验教训

面向移动元宇宙这个新兴市场，6G 需要对物理世界的全面映射能力。因此除了具备 5G 已有的大带宽、低时延、高可靠的数据传输能力，还应扩展泛在连接和对物理环境的感知能力。这将是一个远比 5G 更加“多能”的移动通信系统。而完全基于单一功能设计理念的 5G 系统的有限“多能化”目标尚未完全在市场实现，物理世界“万物互联”的目标远未达到，沿既有发展路线，按一个“大号 5G 系统”来设计 6G，更难以实现“移动元宇宙”这一更宏大的愿景。

6G 要实现物理世界和虚拟世界的“互通互融”，真正实现“系统多能化”，进一步扩展到通感一体、泛在连接等应用场景，以可控的成本实现在各个维度上几倍的性能提升，有效支持“移动元宇宙”的实现，必须要采用新的设计思路。

而要成为构建移动元宇宙的基础设施，必须适应物理世界的存在形式与现实构成。在物理世界中，面对空天陆海的自然和城乡环境、由繁至简的各种终端形态、千行百业的多变业态，从来不曾存在一个单一化的基础设施可以以可控的成本普适于大千世界的，6G 也不应该例外。

在产业界对 6G 的愿景中，6G 系统一方面要在比 5G 更广泛的应用场景下实现比 5G 更高的系统性能，另一方面还要实现一个“极简”的系统，显著降低部署和运营成本，从而在千行百业真正实现落地普及。面对这一看似矛盾的设计目标，唯一可行的解决方案只能是：在一个极简的共性技术核心上，设计若干有限融合的子系统，容许各个场景的 6G 系统适度解绑、各自优化，实现一个“能力按需分配、功能灵活组合”的“极简多能”的 6G 系统。

在我们看来，6G 极简多能系统的设计主要包含如下要素：

- 由一个最小化的极简核心提供内生智能、安全、灵活频谱管理、最小处理核等共性能力；
- 针对四个不同能力方向做专门优化，包括：沉浸式通信与 AI（高数据率优化）、大规模通信与泛在连接（覆盖、功耗、成本优化）、HRLLC（低时延、高可靠优化）、感知（感知精度优化）。
- 在每个能力方向上设计一到两个子系统，可以根据应用场景、频谱、接口类型等独立选择关键技术，分别进行硬件系统设计。如可分为：宽带蜂窝、宽带 D2D、蜂窝 HRLLC、D2D HRLLC、空天通信、大规模 IoT、定位与感知等子系统。
- 各子系统根据各自的应用场景、频谱、拓扑结构，相对独立的进行关键技术选择，按需确定多大程度与宽带蜂窝子系统共用空口技术与硬件设计。
- 不同子系统可以按照不同的市场规律，采用不同的标准演进周期，不一定均采用 15-18 个月一个标准版本。也可以在相对独立的规范中进行标准化，使 6G 规范对垂直用户更加友好。
- 6G 系统通过在极简核心中的“最小处理核”与各子系统的“完整处理核”之间快速切换，可以灵活、低成本、低功耗的支持多个子系统。

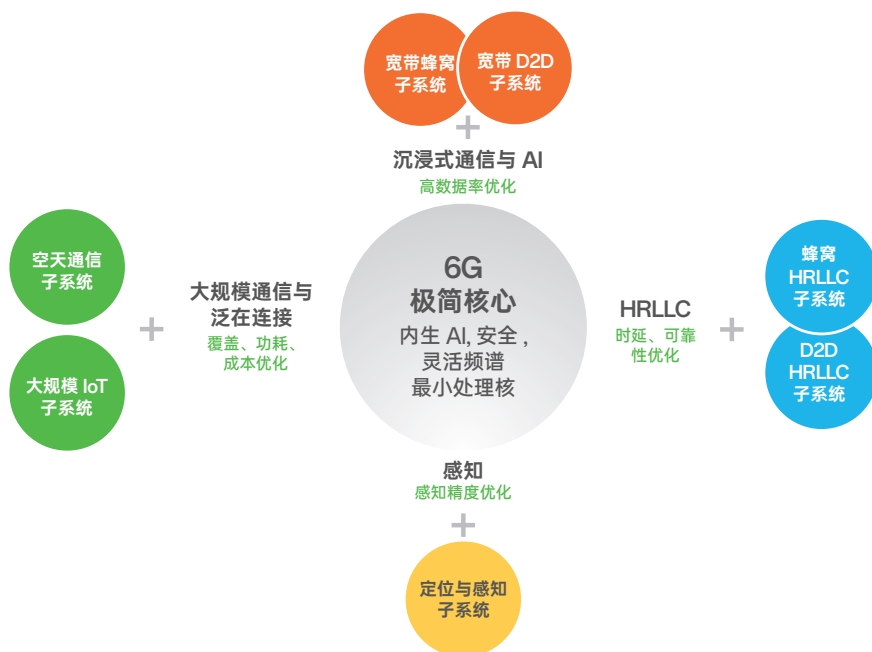


图 1-15: 6G=1 个极简核心 +N 个子系统

要说明的是，5G 系统也曾试图通过网络切片、网络虚拟化等技术实现多种场景和功能的灵活重配和资源组合。但由于其完全基于相同的底层传输技术，仅在参数、配置层面可以灵活重配，其对不同场景和垂直行业的适配是很有限的，反而由于兼顾不必要的 KPI 指标，使每个场景的切片都有“过设计”和成本过高的问题。5G-Advanced 技术虽然对各垂直行业进行了深度优化，但大部分情况会引入额外的复杂度，同时又无法对共性技术底座（即 eMBB 模式中的必选特性）做必要的“减法”，造成系统复杂度进一步增大。

因此在 6G 系统设计中，应从一开始就考虑各个场景的实际需求，选择适当的 KPI 子集，直接设计面向应用场景优化的子系统。在本白皮书的后续章节中，我们将分别介绍我们对 6G 极简核心及各个子系统的初步考虑。

对于需要支持多种应用场景的 6G 系统，可以通过“子系统聚合”来实现多个子系统的功能。这里我们以宽带 D2D 子系统和感知子系统的聚合来说明。

终端 A 发送感知信号，终端 B 接收感知信号是典型的终端协同感知场景，如果一个终端需要支持这一类型的感知，则需要同时具备感知子系统和 D2D 子系统的功能，因为在这一协同感知场景下，感知子系统需要依赖 D2D 子系统来实现连接建立、鉴权、感知相关配置、感知节点选择等高层过程以及实现同步、调度或资源选择、功控、干扰协调等物理层过程。可以看出，在这一协同感知场景下，感知子系统对 D2D 子系统有较强依赖，需要将两个子系统在同一个终端内部进行聚合，即在感知子系统中不需要支持同步、资源选择、控制和数据传输功能，而是重用 D2D 子系统的相应功能，感知子系统只需要实现感知信号处理功能即可。

具体而言，又可以分为部分聚合（如图 1-16 所示）和高度聚合（如图 1-17 所示）两种可能的方案：部分聚合下，感知子系统和 D2D 子系统之间仅进行资源共享，但感知信号处理和 D2D 数据传输是分开设计、独立工作的两个功能。而在高度聚合下，D2D 通信信号可以同时用于感知，因此 D2D 数据传输和感知信号处理应采用一体化设计。



图 1-16: D2D 子系统和感知子系统间的部分聚合



图 1-17: D2D 子系统和感知子系统间高度聚合

然而，为了以克服遮挡或保证感知的连续性，多条自发自收的感知链路之间也需要进行协同，如图 1-18 所示。在这一场景中，终端依然存在同时支持感知子系统和 D2D 子系统的必要性，因为感知子系统需要通过 D2D 子系统来获取感知节点的位置、状态，以及感知节点的感知范围等。这种情况下 D2D 子系统和感知子系统间可以进行较低程度的聚合，即两者之间相对独立，感知子系统也可以实现自主的同步和资源选择，只是在资源选择上与 D2D 子系统存在协调，如图 1-19 所示。

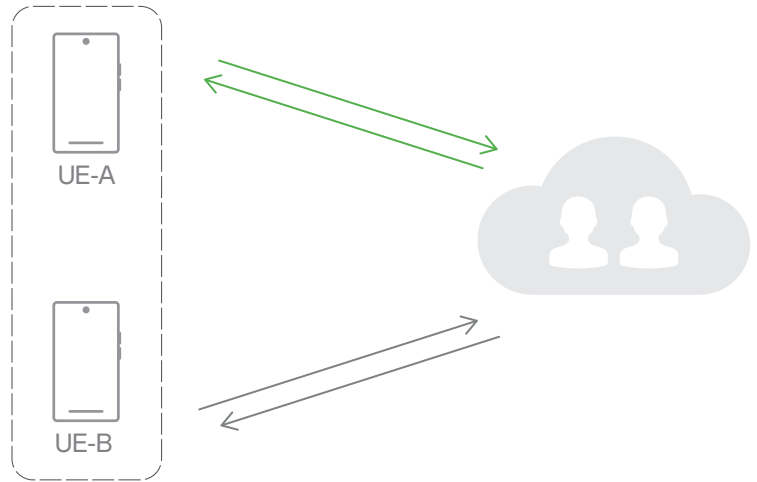


图 1-18: 多条自发自收感知链路协同感知

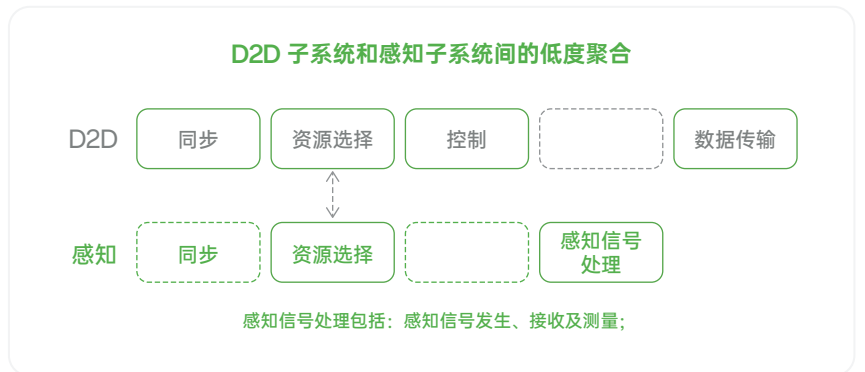


图 1-19: D2D 子系统与感知子系统间低度聚合

- 6G 极简核心之内生智能
- 6G 极简核心之安全
- 6G 极简核心之灵活频谱共享
- 6G 极简核心之“最小处理核”

2.0 6G 极简核心

6G 极简核心是实现 6G 极简多能系统的最关键的部分，每个子系统都或多或少需要使用极简核心提供的共性能力和资源，但为了有效降低每个 6G 子系统的复杂度和成本，这个极简核心应该只包含最小化的共性能力。在我们看来，它可以仅包含如下 4 个能力：内生智能、安全、灵活频谱管理、最小处理核心（Minimal Processing Kernel），在如下 4 个小节中分别介绍。

需要说明的是，6G 极简核心并不一定集中在 6G 核心网，其也可能有部分资源分布式部署在 6G 接入网节点（如 6G 基站、终端）中。

随着 AI 技术的日趋成熟^[1]，越来越多的关于 AI 赋能移动网络功能的研究和案例陆续出现^[2]，用 AI 赋能移动网络功能具有如下优势。

AI 赋能移动网络的优势

优势之一

AI 的精准决策能力

根据学习样本，归纳出输入和输出之间的一般性规律是 AI 推理的优势。

面对越来越繁杂的功能和场景，人为经验很难做出快速、准确的选择，使用 AI 技术对不同场景进行具体功能的匹配，能够很好的发挥 AI 的优势。

优势之二

AI 强大的推理能力

随着网络算力的不断提升，AI 推理能力越发强大，使其不输于甚至超越了人工设计出来的算法和功能。

优势之三

AI 的自演进能力

AI 的推理功能并非一成不变，可以随着时间的推移进行自演进，不断优化推理性能，实现对性能增益的极致追求。

优势之四

AI 的迁移学习能力

训练出来的 AI 模型可根据条件的变化进行学习和调整，已达到“触类旁通”的效果，从而能够最广泛地应用于不同场景，为在多元化网络中普及 AI 技术提供可能。

AI 技术应用在移动通信网络将经历一个过程，包含 For the AI, By the AI, Of the AI 三个阶段：For the AI 阶段，网络作为传输管道支撑应用层 AI 业务；By the AI 阶段，网络的部分功能（如 eMBB 和 URLLC）可以使用 AI 技术进行有限的增强；Of the AI 阶段，AI 作为重要组成部分深度嵌入网络中实现“万智互融”的目标。由于 5G 网络在设计之初并没有考虑 AI 赋能的问题，因此 5G/B5G 网络只能实现 For the AI 和 By the AI 阶段，而 6G 网络是实现 Of the AI 的良好契机，可以从一开始就为“万智互融”提供架构层面的支持。

2.1.1 基于内生智能的 6G 网络

AI 技术将是 6G 网络的重要组成部分，不同于控制面对应的灵活性维度和用户面对应的性能维度，AI 技术对应的智能维度将成为 6G 网络的一个新维度。之所以称智能维度是一个全新的维度，是因为 AI 维度上对应的数据特征、价值和作用与现有的控制面和用户面功能存在明显差异^[3]。

与传统的 AI 任务均上传至云端 OTT 执行相比，6G 内生智能可以充分调用跨域资源，包括 UE, RAN, CN, OAM, MNO Service enabler, OTT Server 等，资源除了连接外，还包括计算、数据和模型 / 算法。如图 2-2 所示，与 5G 主要提供连接服务不同，6G 网络将实现 QoAIS (Quality of AI Service)，包括连接 / Connection, 计算 / Computation, 数据 / Data 和模型 / Model 四要素的融合支持和管理，实现跨域、跨资源系统能力，打造 AlaaS (AI as a Service) 能力开放的全新平台和服务。

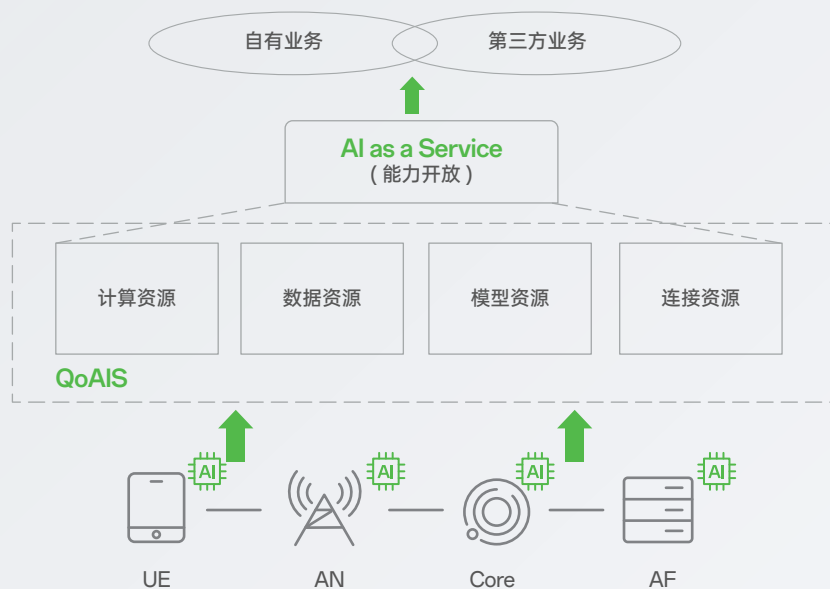


图 2-1: AlaaS 平台能力

针对 QoAIS 的四个要素的实现具体包括：

1. 连接

连接是 6G Native AI 的最基础特性，与 5G 时的连接能力不同，6G 系统的连接要考虑支持，包括：

- 差异化 AI 数据传输服务
- 以任务为中心的按需连接组网，打破常规的 5G PDU 会话的固定拓扑模式
- 内容可感知可处理

2. 计算

6G 网络支持发现、管理和分配跨域智能体的算力资源（UE、RAN、CN、AS），并按需分配给不同的 AI 任务，包括自有 AI 任务和第三方 AI 任务。在这一过程中，跨域计算资源的分配能够实现推理计算操作贴近数据源、任务源和终端用户，实现面向 AI 任务级的算力的测量、管理和分配。在此基础上，未来的端到端时延应包括每个 AI 任务下，各节点的计算时间与各节点间的传输时间的总和，而不是单一考虑端到端传输时延。

3. 数据

通信数据和感知数据并行产生是 6G 的显著特点，这一特点将导致数据源多样化（终端、基站、核心网、AF、OAM 等）、业务种类多样化（原数据、Sensing 数据、IoT 数据等）、内容格式多样化（中间结果、点云、匿名化 / 正则化 / 聚集化等）。

为了支撑内生智能系统中的数据特点，6G 系统需要具备如下方面的功能：

- 数据泛在 (Ubiquitous data):
集中化→分布化
- 数据协同 (collaborative data):
单域数据→跨域数据
- 数据资产 (Data as a asset):
明确数据产生主体与数据消费者
- 数据时效性 (Data timeliness):
扩展 AI 业务的关键驱动力

4. 模型

6G 网络的模型管理能够充分利用运营商网络的基础设施资源优势，6G 网络实现对模型的统一存储、管理、分配和共享是支持自有业务和第三方业务的重要体现形式，打造出“AI 模型商店 (AI model library)”的新能力。

模型训练需要海量的数据、算力和连接资源，为了实现 6G 内生智能工作效率最大化，AI 模型的开放与共享是提升 6G 业务效率的关键。AI 模型，在不同的业务和场景中，需要考虑如下多方面因素：

- 模型准确性：100% 准确度的模型是极难的，要付出极高代价，需要按需确定合理的模型准确度
- 模型兼容性：不同平台对于模型的兼容性是模型开放的重要挑战
- 模型泛化性：模型的按需调整至关重要，使用预训练微调方式提升模型训练效率
- 模型时效性：模型的训练与更新遵从时效性，实时场景下的模型对时效性要求较高

为了实现高效的 6G 网络架构，降低产品开发复杂度，有针对性的提升业务体验，实现“极简而又多能”的 6G 系统，极简核心内生智能应具备两大能力：按需组网和智能化替代。下面对这两大能力做简单介绍。

2.1.2 基于大模型的智能按需组网

如第 1 章所述，实现 6G 系统“极简而又多能”的“两全”设计目标的唯一途径，是设计多个面向应用场景的子系统。但由子系统集构成的 6G 系统的一个核心问题，是如何按需配置网络资源，真正为各个垂直行业部署“能力够用、成本可控”的 6G 子系统。由于千行百业的需求千变万化，这种按需组网难以靠人工方式实现，应该通过 AI 训练，采用智能化方式实现。

具备了智能按需组网能力，极简核心就可以只包含目标场景所需的 CP、UP 和 AI 面（AP: AI Plane）功能：

智能维度：按需组网引擎（按场景需求选择附加的 CP、UP、AP）

在极简核心的最基本功能基础上，结合场景特征，叠加额外的 CP、UP、AP 功能及技术指标 QoAIS [4]，用于某个实例化子网。CP 和 UP 功能具体指 3GPP 定义的功能，而 AP 功能具体指为了实现特定业务引入的 AI 推理模型及实现方式。

CP 维度：包含基本的注册操作连接管理

6G 网络中任何业务均需要注册和连接管理，其他附加功能按需增减，如 AIoT 设备不需要可达性连接管理能力、URLLC 设备不需要移动性能力

UP 维度：基本数据传输、基础 QoS 保障

建立连接是传递数据的最基础特征，按需附加 QoS 传输能力（如带宽、时延、可靠性等能力），以及 6G 应用业务处理能力（如应用业务数据处理能力）

由于前述的 QoAIS 四要素（即连接、数据、算力、模型）具有相互关联的关系，当一个要素改变时，往往会影响到其他要素随之改变。比如，当一个特定任务的子模型在节点 1 和节点 2 之间发生改变时，节点 1 和节点 2 的算力配置也需要进行重分配，同时连接传输的中间数据量也会发生改变进而影响传输 KPI 设定值也将改变。

为了合理分配 QoAIS 四要素资源，以 3GPP 上下文和策略的形式部署到 6G 系统中。对于一个特定任务，往往需要结合实际场景和网络情况综合考虑各要素资源的分配，达到任务级性能和全局性能的最优化，因此利用大模型实现场景需求到网络配置参数的合理映射是 6G 时代的一种值得考虑的实现方式。

具体来说，极简核心中包含的功能是标准化协议上基础必选功能，比如 3GPP 必须要标准化的内容和能力，然后根据场景特征映射成不同子网的个性化功能并实例化，就是“智能组网”达到的效果。在极简核心基础上，我们可以把极简核心应用到某个子系统（即“按需组网”）。如图 2-3 所示。其中，6G 网络按需组网中一大特点在于从场景到网络特征的映射关系，这里我们定义每一个场景下的任务由通信、感知和计算三大要素组成并进行定性或定量要求，大模型可以根据输入的场景任务的要求实现对网络特征相关参数的合理生成，再进一步实例化到 6G 网络。

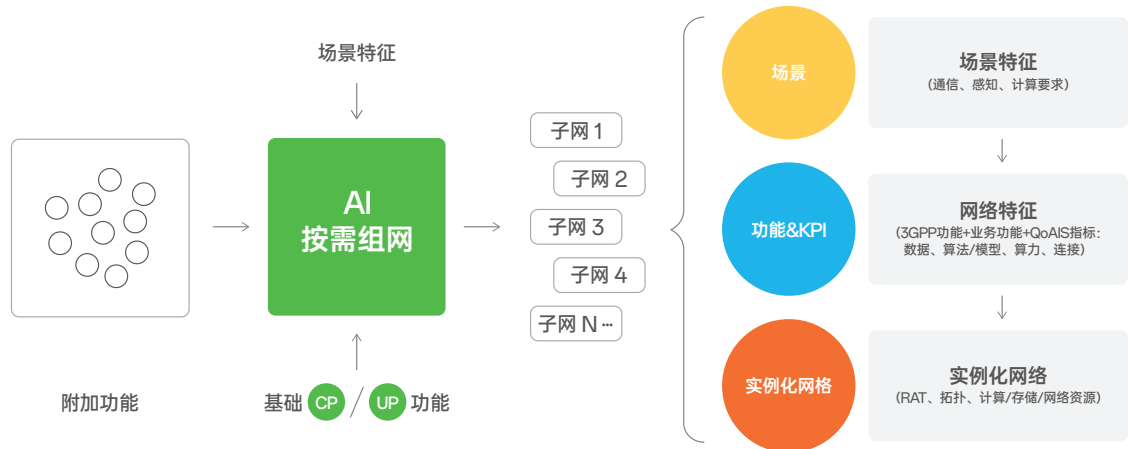


图 2-2: 基于极简核心内生智能的按需组网

2.1.3 基于 6G 内生智能的智能化替代

6G 部署场景比 5G 丰富得多，子系统数量也大幅增加，仅靠智能按需组网能力将现有的 CP/UP/AP 功能按照场景进行按需选择和组织，只能使 6G 网络复杂度不明显高于 5G。要想在 5G 基础上显著降低复杂度，必须依赖内生智能的另一个能力——智能化替代。

智能化替代即将相当一部分传统协议、传统算法替换为“黑箱化”的 AI 协议和 AI 算法。3GPP Rel-18 的 AI 相关研究项目的初步研究结果已经揭示出：各种 AI 应用例 (use case) 的标准化影响基本都是类似的，无非是要定义 AI 的生命周期管理 (Life Cycle Management, LCM)，包括 AI 数据采集、AI 模型的训练、部署、管理、传输、激活、选择、切换、配置及推理等。无论在哪个技术点上使用 AI 模型，相关协议无非是定义上述这些过程，虽然仍需定义不同的数据接口格式，但协议的差异性、特异性已经大幅降低。例如在 3GPP Rel-18“AI/ML for NR air interface”项目中，CSI 增强、波束管理、定位增强 3 个 use case 虽然需要定义不同的 AI 模型输入输出格式，但 AI 生命周期管理相关的协议是基本相同的，可以通用的。而在现有 5G 标准中，这三项技术的空口协议是截然不同的，且都是相当复杂。

本节主要介绍网络层协议的智能化替代，物理层技术的 AI 算法替代我们将在 3.3 节中介绍。

网络层智能化替代的目的，是在极简核心的 CP/UP 功能上，尽量少地定义新的 CP 和 UP 标准化功能，而是通过 AI 算法来替代标准化要求，以实现 6G 网络的轻量级协议。在深层次内生智能的 6G 极简核心中，AI 的智能优化可以帮助减少 CP 和 UP 面功能的数量和复杂度，这样原本所需的标准化定义的 CP 和 UP 功能就被大大减少，产品的开发复杂度和部署成本也可随之降低。

图 2-3 基于 AI-Cube 空间^[5]描述，以 6G 感知 (Sensing) 举例，原本需要实现的标准化 CP 和 UP 功能较多，使用智能优化后，CP 和 UP 维度的功能可以被减少，取而代之的是智能维度的提升。

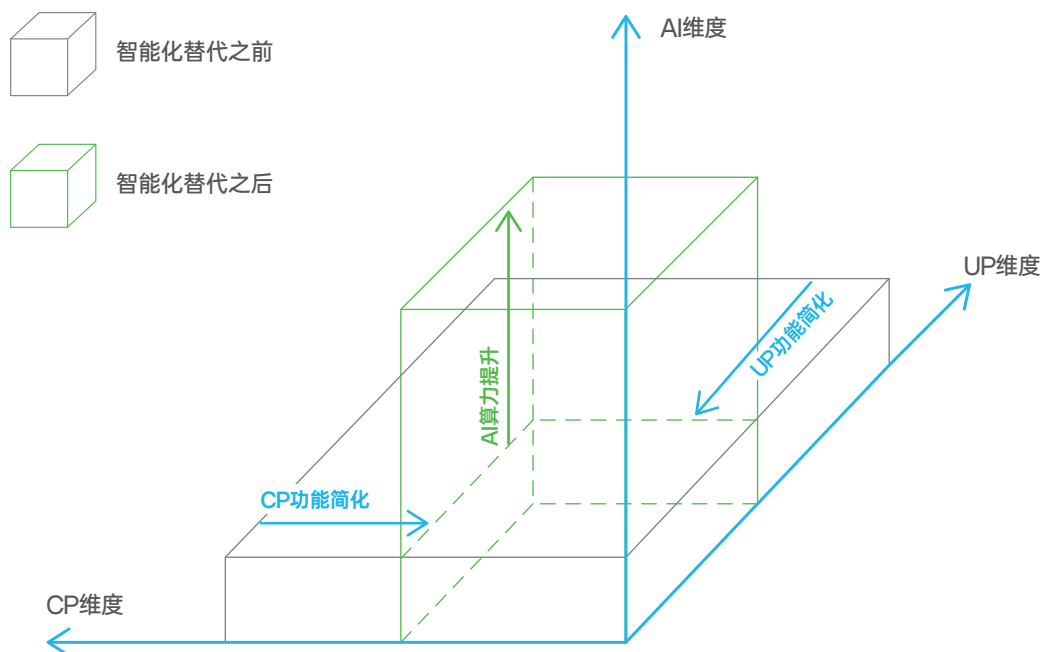


图 2-3: 基于极简核心智能优化的 Sensing 业务功能

具体而言，智能化替代包括决策类优化和非决策类优化两种方式。

决策类优化可以通过如下两类输入实现对CP功能的简化（如图2-4所示）：

- 第一大类输入是通用预测（包括业务预测、位置预测、负载预测和用户行为预测）。每个具体的 CP 功能都可以使用一种或几种通用预测作为输入判决的重要依据，实现对 CP 功能的简化。为了实现通用预测，需要收集和构建终端、网络和应用三方的数据集对 AI 模型进行训练。
- 第二大类输入是个性化数据。AI 赋能不同功能时会有不同的个性化输入参数，比如对于切换场景，RSRP、测量事件配置等是其个性化的输入参数。对于随机接入场景，小区干扰情况、历史随机接入数据等是其个性化输入参数。

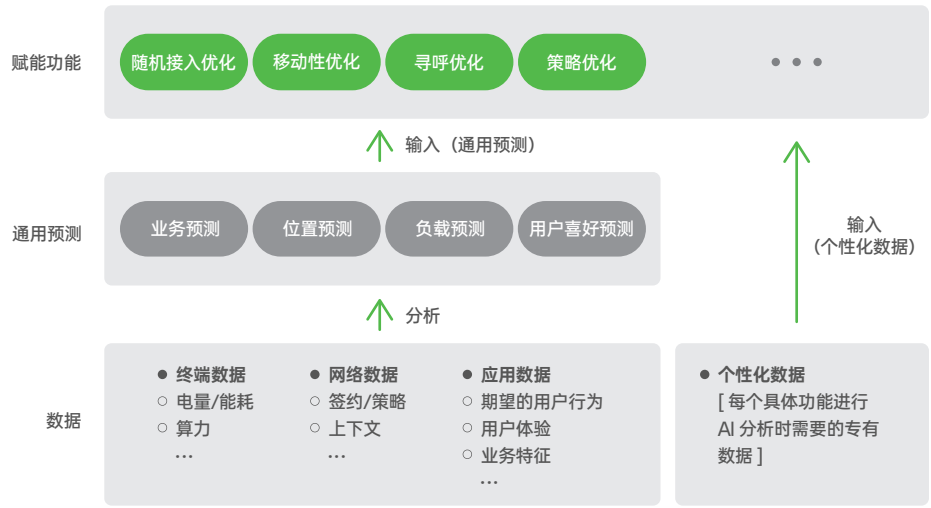


图 2-4: 通过智能替代实现 CP 功能的简化

非决策类优化可以用于UP功能的简化（如图2-5所示）。

AI 赋能的非决策类功能的具体形式，是将数据处理的部分或全部步骤替代为 AI 模型的推理过程。针对每个 UP 功能，AI 模型可以通过对限制因素和期望效果进行个性化定义，实现最佳的数据处理。通过 AI 赋能的方式，原本需要通过人为维护和迭代优化的数据处理过程，可以替换为 AI 算法的自学习和自演进过程，以实现性能的不断优化。

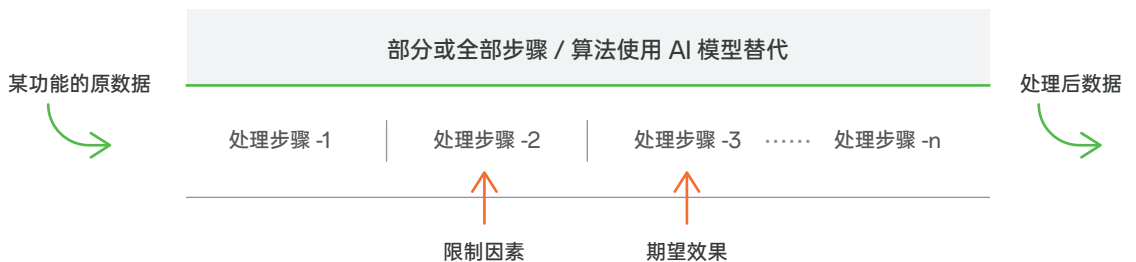


图 2-5: 通过智能替代实现 UP 功能的简化

2.2.1 6G 时代的变化及安全趋势

6G 时代万物互联，业务、连接方式、接入设备呈多样化发展，如工业互联网、智能家居、智慧物流等业务，这些行业用户通常会使用专属设备、需要机器与机器之间的数据流、使用 Sidelink 连接方式，这些需求会对当前以人与人为主的通信模式带来巨大改变。

对于 6G 安全架构来说，发生的关键变化体现为以下两点：

- 安全信任模型由双向信任变为多方信任，需要建立多方信任模型与内生安全
- 安全保护的業務数据由单一变为多元，需要建立多元的业务数据与智能安全

多方信任模型与内生安全

3GPP 5G 安全标准 TS 33.501^[5] 定义了双向信任的安全架构，即 UE (User Equipment 用户设备) 和运营商 HE (Home Environment 归属环境) 双方共享用户根密钥，作为双向信任的安全可信根。当用户设备接入运营商网络使用网络资源的时候，用户和运营商网络根据用户根密钥执行双向认证。并且，用户和运营商网络各自根据用户根密钥进行密钥衍生计算，得到一系列保护密钥，对双向传输的信令和数据进行加密保护和完整性保护。

6G 时代，如工业互联网、智能家居、智慧物流等业务的行业用户通常会使用专属的终端设备，当这些设备接入运营商网络使用网络资源的时候，需要在接入设备、行业用户、运营商之间进行认证，因此至少需要在接入设备、行业用户、运营商之间建立三方信任模型。

当连接方式和业务模式继续变化，灵活组合，出现如 Sidelink 机器与机器连接、多业务相互协同、MEC 部署等情况，信任关系则基于接入设备、行业用户、运营商三方信任模型，进一步演变为包含多终端、多个行业用户、多个入网节点的多方信任模型。

包含多终端、多个行业用户、多个入网节点的多方信任模式需要的安全可信根不可能仅仅基于单一的用户根密钥，而需要根据设备、业务、网络的基础组件建立内生安全可信根。

多元的分布式业务数据与智能安全

6G 时代，人工智能的使用将成为主流趋势，数据资产成为数字化社会的关键生产要素，以工业互联网及智慧物流为代表的行业数字化业务将会产生大量数据，如零功耗、通感一体化为代表的新型终端和通信方式使得网络中承载的数据更多来源于分布式的终端设备。多元的工业数据需要高效的安全保护机制，分布式的多源的数据采集和汇聚方式使得双向传输保护不再适用，基于用户根密钥及衍生密钥的安全保护将会发生变化，需要更灵活和更智能的安全保护机制。

2.2.2 6G 时代 关键安全技术

区块链支持多方信任模式和分布式业务数据保护

区块链具有分布式和可信的特点，能够促进数据的共享，在 6G 时代将成为产业数字化的关键基础设施。在产业应用中，电信运营商和区块链供应商大力发展区块链基础设施网络，并面向各行各业推出区块链服务，其中包括区块链身份管理服务、接入认证服务和安全服务。

区块链分为公有链、私有链、联盟链。其中联盟链和私有链是可信区块链，联盟链可以由多方参与，通过安全算法实现参与方之间的信任关系，能够用于实现 6G 时代的多方信任模式，不依赖于第三方即可构建内生可信的多方信任可信根。基于区块链的 DID（分布式数字身份）技术，能够支持分布式的身份管理，可用于实现分布式认证。

零功耗设备这样的轻量级 IoT 终端受限于计算、存储资源，可能无法支持传统的认证计算，DID（分布式数字身份）技术支持轻量级的身份管理和认证机制，可用于低成本认证。

物理层安全支持轻量级传输安全

物理层安全基于香农提出的完美安全性概念以及 Wyner 提出的窃听信道模型，建立传输信道的安全性，不需依赖于高层的协议及设备的加密计算。零功耗设备受限于计算、存储资源，可能无法支持传统的安全保护，如基于 256 位密钥的加密机制，PDCP 协议层的安全处理。物理层安全可以作为一个很好的补充，实现极简 IoT 设备的轻量级传输安全。

智能的安全策略

6G 引入新业务并非一蹴而就，面向用户的数据连接和面向工业互联网的数据连接都会为 6G 创造价值，零功耗 IoT 设备和 NB IoT 设备将长期共存，分布式的信任模式和分布式的认证机制并不能取代中心化的安全机制，轻量级传输安全是对极简 IoT 设备的一种补充安全机制。面向 6G 多元的业务、多源的数据，安全策略必须是智能的、灵活的、动态的。

智能的安全策略可以从以下几个方面考虑：

- 智能的信任模型和认证机制。运营商可拥有多种可信根，支持对应的认证机制，根据业务类型、终端类型、数据类型、接入技术类型、安全风险等级，选择不同的可信根及认证机制。例如选择双方 / 三方可信根和 5G AKA 认证机制，或者选择可信区块链的多方可信根和证书认证机制。
- 智能的传输安全机制。运营商可根据业务类型、终端类型、数据类型、接入技术类型、安全风险等级，选择不同的传输安全，或者他们的组合。

随着 6G 时代业务类型、终端类型、接入技术类型的不断丰富，为了高效的实现灵活的、动态的安全策略，必须引入智能化的安全策略管理机制。

2.2.3 6G 时代零信任安全架构

基于多方信任模型与内生安全这个关键变化，对传统安全信任域划分带来改变，传统的安全边界被打破，不再根据设备在网络中所处的位置来定义信任域。基于多元的业务数据与智能安全这个关键变化，同样的连接中传输的可能是不同的数据，传输安全保护的等级需要考虑数据本身的分类分级，传输安全由保护网络向保护数字化资产迁移。在 6G 时代需要对信任域、数据访问、以及传输安全进行更全面的安全评估，实施灵活的、动态的安全策略。

自从 2009 年 Forrester 提出零信任理念以来，零信任安全模型在金融、互联网、云服务等行业中得到广泛应用。零信任侧重于保护资源（资产、服务、工作流、网络帐户等），而不是网段^[6]。基于零信任的安全系统设计可以通过动态的身份认证和授权，保证对数据和资源的访问由动态策略决定。

在 6G 时代，可以考虑基于零信任的安全架构，设计灵活的、动态的智能安全策略，以保证多方信任模型与内生安全以及多元的业务数据与智能安全。

6G 极简核心之 灵活频谱共享

2.3

在传统的通信系统中，高效的频谱管理一直是一个难题。

首先，对于频谱主管机构而言，频谱划分的目的是让通信技术更高效、快速的落地，同时又要满足频谱使用方的实际需求，并且还要保证较高的频谱利用率。通常对于频谱使用者而言，频谱的使用需求并非在任意时刻或者不同地理区域都是均匀分布。理想情况下，为了满足频谱的需求且保证高利用率，需要做到对于时间，地理位置的极致细化的划分。但是这样将严重拉长频谱划分前的调研和准备工作，从而导致频谱划分的滞后。因此传统的频谱划分无法做到细粒度划分，只能不分时间和地理位置，仅从频域维度将频谱分配给使用方，这样也是一个各种因素权衡后的结果。除此之外，当频谱划分并拍卖后，对于频谱使用率的管理也是主管机构面临的一个挑战，为了有效的获取频谱使用的情况，主管机构需要在不同的时间地点对于频谱的使用情况做监测和统计，这样也增加了管理成本。

其次，对于频谱使用方来说，不同国家的频谱使用成本各异。但总体来说，使用方首先需要付出高额的频谱租用费用，但是商用布署无法快速达到全地域全面覆盖，因此在部署没有达到成熟阶段之前，频谱的利用率并不理想，导致投资收益率较低。

| 传统频谱分配痛点 | 灵活频谱共享的目标 | 灵活频谱共享的实施 |
|---|---|--|
| <ul style="list-style-type: none">• 分配周期长，前期准备长• 主管机构对于频谱管理成本高• 频谱分配静态，利用率低 | <ul style="list-style-type: none">• 降低频谱划分工作量• 提供更可靠的频谱价值信息• 降低频谱持有成本• 提高频谱利用率 | <ul style="list-style-type: none">• 主管机构，运营商，垂直行业联合建立联盟链• 通过区块链实现频谱灵活共享• 记录交易、频谱使用信息 |

因此，简化的频谱分配和管理也是 6G 极简核心一个重要功能，这里极简的含义，一方面是要大幅的简化频谱分配和管理的流程，另一方面是要提高频谱的利用率。

6G 灵活频谱分配的核心，是借助区块链技术来实现频谱的灵活共享。

一个简单的描述是频谱拥有者可以把频谱的使用权转让出，频谱使用权的转让可以细化到时间、地理位置的维度，获得频谱使用权的一方可以在此频谱中通信，同时频谱拥有者也可以从中获得收益，从而通过频谱共享达到按需动态分配频谱的目的。

采用灵活频谱分配，主管机构可以进行相对简化、粗粒度的初始频谱划分，而更细化的划分交给后续的频谱共享机制来完成，而频谱拥有者可将使用权按时间、频谱、地理位置三个维度进行划分、转让。例如，频谱拥有者可以根据自身的情况，决定对于某段频谱在特定时间内，在特定地理位置下的使用权进行转让，如图 2-6。

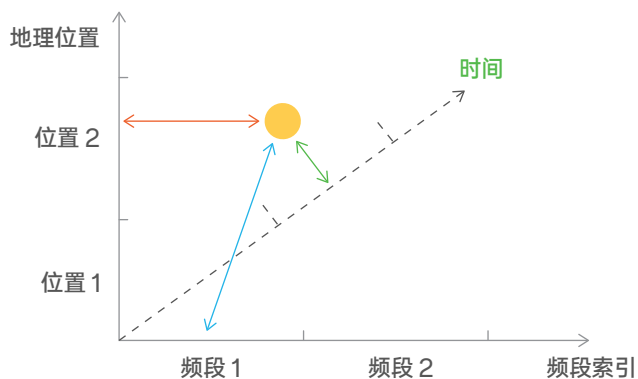


图 2-6: 时间、频谱、地理位置三维频谱使用权划分

首先需要建立一个区块链基础设施，在基础设施上可以建立一个联盟链，联盟可以由频谱主管机构，传统运营商，垂直行业运营商组成。他们也同时是联盟链上的节点，当频谱拥有者发布一个智能合约来触发频谱的共享。使用权的转让可以通过竞价形式，或者是非竞价形式，对于后者可能存在同一个频谱中有多个使用者的情况，因此在这个场景中需要考虑到干扰规避传输技术。当交易完成后，节点会把交易记录和使用权记录打包成区块并连接到链上，这样区块链上的各个全节点都可以保存最新的使用权更新数据，整个的数据结构如图 2-7 所示。



图 2-7: 区块链频谱共享数据结构

基于区块链的频谱共享的另一个优点是，主管机构可以实时的掌握真实不可被篡改的频谱交易记录，可以获取更为真实的频谱的实际市场估值，以及频谱的利用率。另一方面，频谱使用者可以通过区块链来记录更细节化的频谱使用信息，这样主管机构可以更方便的获得频谱的使用情况，从而大幅减少频谱管理的成本。

6G 极简核心 之“最小处理核”

在无线空口处理方面，极简核心应该提供一个低复杂度、低功耗的“最小处理核”。“最小处理核”可以提供多个子系统的“公共部分”。一方面，为子系统 A 设计的 6G 设备不需要提供除“最小处理核”之外的子系统 B 的功能，这样可以避免各个子系统之间不必要的功能重叠，将每个子系统的复杂度控制到最小程度；另一方面，某个子系统的设备也不需要总是工作在这个子系统的“全功能状态”，在没有业务或仅有基本业务的时候，可以收缩到“最小处理核”，进入低复杂度、低功耗的“低功耗状态”。

如果我们把某个子系统的“全功能状态”也看做一个处理核，那这个处理核可以称为“完整处理核”。这样，在 6G 极简多能系统里，就可以用“大小核”操作来实现从极简核心到子系统的切换，如图 2-8 所示。“大小核”操作具有如下特征：

- 不同的子系统有不同的“完整处理核”，各个子系统的设备在“全功能状态”时，工作于“完整处理核”；
- 子系统的设备在“低功耗状态”时，回落到“最小处理核”。最小处理核支持初始接入、最小控制信令、基本数据类型、测量等最基本的功能，具有全覆盖、基本数据率、基本移动性等基础性能；
- “最小处理核”和“完整处理核”之间可以实现快速切换。

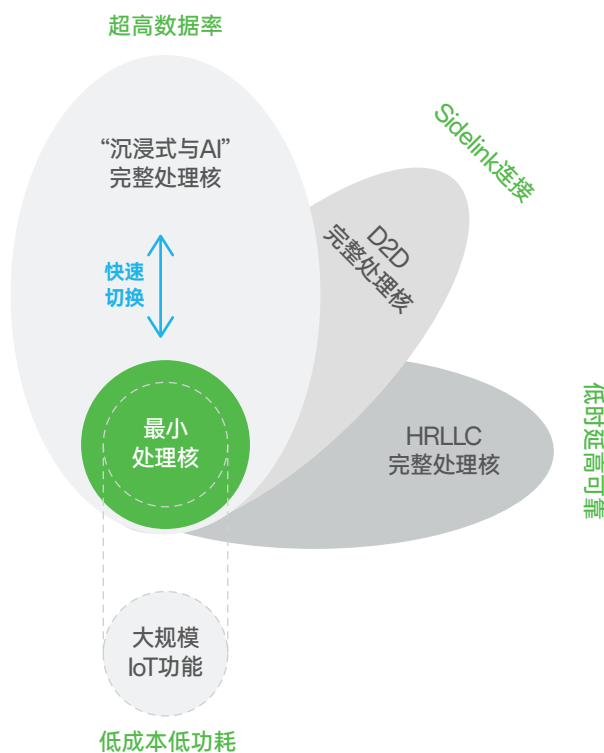


图 2-8：用“大小核”操作实现从极简核心到子系统的切换

图 2-8 包含了 3 个“完整处理核”和“最小处理核”的示例：“沉浸式与 AI”完整处理核、D2D 完整处理核、HRLLC 完整处理核，而最小处理核则可以覆盖大规模 IoT 子系统的功能。以“沉浸式与 AI”完整处理核与最小处理核之间的切换为例，“沉浸式与 AI”设备中具备一大一小两个处理核：“沉浸式与 AI”完整处理核和最小处理核，当设备有沉浸式通信或高速率 AI 业务时，工作在“沉浸式与 AI”完整处理核，当设备没有沉浸式通信或高速率 AI 业务时，可以快速切换到最小处理核，工作于低功耗状态，可以有效地节省功耗。

如果要实现这种快速的切换，应该从 6G 系统设计伊始，就将大规模 IoT 子系统有效地嵌入到宽带蜂窝子系统设计，而不应像 5G 系统设计那样，先面向 eMBB 场景设计一个全能的 5G 系统，然后再做功能裁剪。受限于 eMBB 这个参考场景，5G NR 第一个版本所定义的最小终端能力过高，因此后续在 eMBB 系统基础上做裁剪，始终无法在节能和降低复杂度方面做到理想的程度。

如果在 6G 系统设计一开始就考虑在各种子系统设备中支持最小处理核，就可以通过各个子系统的完整处理核与最小处理核之间的切换，实现各子系统之间的聚合。对于“大小核结构”，“大核”和“小核”之间的快速转换是关键，转换的过程应该使用尽可能小的能量和少的步骤，并且集成在常规的过程中。

3.0 6G 宽带蜂窝 子系统

- 6G 宽带蜂窝 KPI 指标要求
- 6G 宽带蜂窝关键技术与系统设计
- 6G 空口的 AI 化替代

6G 宽带蜂窝 KPI 指标要求

宽带蜂窝模式是 4G、5G 系统的传统核心，在 6G 系统中仍是最重要的子系统之一。同时，宽带蜂窝也是 4G、5G 系统中技术最成熟、用户满意度最高的应用模式。4G、5G 手机业务快速普及，有力支撑了各种移动互联网应用的蓬勃发展，证明了 4G、5G 在满足手机用户的多媒体音视频感受方面获得了良好的效果。6G 宽带蜂窝技术主要目标，是实现传统业务的性能提升和应用范围扩展，同时使能移动 AI 计算这一新业务，主要包括：

- 高分辨率视频流的普及；
- 沉浸式多媒体业务（如 XR）的普及；
- AI 模型的分布式推理、传输与训练。

我们认为，6G 宽带蜂窝子系统应满足如图 3-1 所示。

首先，5G 系统理论上的峰值数据率 20Gbit/s 已经可以支持高清视频、XR 媒体流甚至 AI 模型和数据在广域覆盖环境中的传输，因此 6G 宽带蜂窝子系统的峰值速率不需要追求明显高于 5G 的峰值数据率。

其次，由于 5G 高阶 MIMO 传输和毫米波传输的覆盖率有限，在 5G 宏小区边缘实现 100Mbit/s 的用户感受数据率仍然存在挑战，6G 应致力于切实保证这一速率成为随时随地可得的用户感受，追求理论上的更高数据率并不是首要目标。

接下来，由于空天通信和地面蜂窝系统的信道传输环境、软硬件能力存在很大的差别，6G 宽带蜂窝子系统应集中定义地面蜂窝传输技术，首先致力于在经常有人居住的地区提高覆盖深度，海洋、荒漠等人员稀薄地区的覆盖应由 6G 空天通信子系统实现。

最后，6G 宽带蜂窝子系统仍应侧重于通信能力，具备基本的定位和感知能力即可，不应过度追求超高精度的定位和感知性能，造成系统、终端的复杂度和成本大幅提升。这一能力定位对于绝大多数宽带多媒体和移动 AI 业务是足够的，少量确需高精度定位、感知的应用场景，可以通过在网络和终端集成 6G 定位与感知子系统来提供业务。

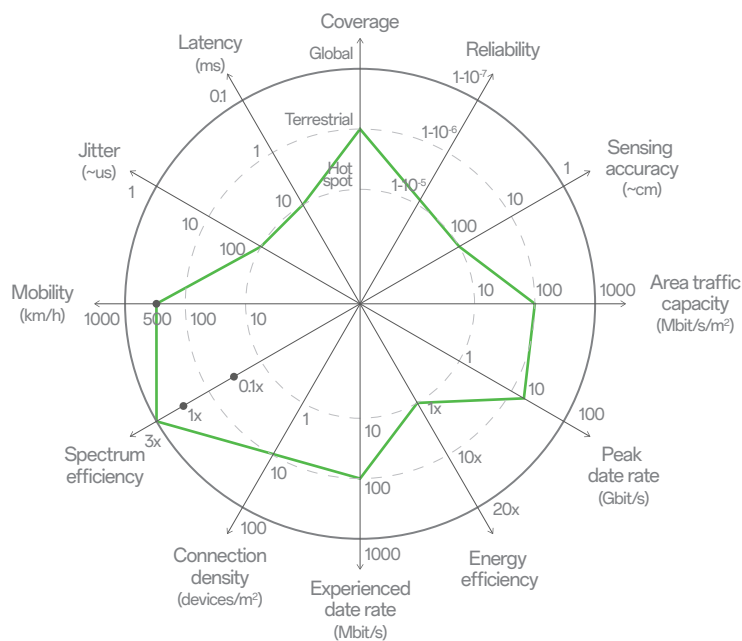


图 3-1: 6G 宽带蜂窝子系统 KPI 要求

6G 宽带蜂窝关键技术 与系统设计

3.2

面向上述 6G 宽带蜂窝子系统 KPI 指标，我们对各项 6G 潜在关键技术的观察如下表。

| 技术分类 | 采用该技术的目的 | 关键技术 | 6G 应用前景 |
|----------|-----------------------------|-------------|--|
| 高频新空口技术 | 实现更大传输带宽和更高峰值速率 | 用于高频毫米波的新波形 | 相对成熟，6G 应用可能性较高，但仍需解决视距传输覆盖率低的问题。 |
| | | 太赫兹传输 | 传输距离短，更适合 D2D 传输 |
| | | 无线光通信 | 传输距离短，更适合 D2D 传输 |
| 频谱效率提升技术 | 获得更高的频谱效率 | 基于AI的空口增强 | 相对成熟，6G 应用可能性很高，性能增益大小有待于进一步研究。 |
| | | 超大规模天线 | 相对成熟，6G 应用可能性较高，但仍需解决应用场景狭窄、耗能高的问题。 |
| | | 新型多址 | 取决于是否获得足够大的性能增益、是否能就技术方案达成共识。 |
| | | 全双工 | 灵活双工模式相对成熟，6G 应用可能性较高。全双工成熟度挑战较大，实际性能增益有待验证。 |
| 覆盖增强技术 | 解决高频段视距传输覆盖率低的问题 | 智能表面 (RIS) | 相对成熟，6G 应用可能性较高，但仍需验证实际性能增益，并解决部署成本的问题。 |
| 可靠性提升技术 | 实现更高传输可靠性 (如 10^{-7} 或更高) | 新型信道编码 | 仍在研究中，实际性能增益有待验证。 |

表 3-1: 6G 宽带蜂窝潜在关键技术

根据对 6G 性能的贡献，这些技术可以分为四大类：

高频新空口技术

这类技术的目标是实现比 5G 更大的传输带宽和更高峰值速率，由于获取更大带宽的主要方式是在高频段寻找新的频谱，这类技术主要是高频段传输技术。

其中频率较低的毫米波传输技术已经在 5G-Advanced 阶段进行了研究，结论是可以重用中低频 5G 的 OFDM 技术。但高频毫米波信号的传输特性将发生较大变化，可能需要考虑不同于传统 CP-OFDM 的新波形技术。

更高频段的太赫兹 (THz) 和无线光通信技术虽然可能实现更大带宽和更高速率的传输，但其传输距离过短，用于蜂窝组网需要极高的基站密度，部署难度很大。我们认为太赫兹和无线光通信更适合用于 6G D2D 子系统，将在 4.2 节中介绍。当然，这两种技术还有可能作为感知技术用于 6G 定位感知子系统。

频谱效率提升技术

从 2G 开始，频谱效率提升是历代移动通信技术长期追求的目标。理论上讲，频谱效率的提升总是可以换取更高的数据率和系统性能。但实际上，提高频谱效率当然不是没有代价的，其几乎必然要付出更高的设备复杂度和部署成本。

以多天线（MIMO）技术为例，在 HSPA+ 和 4G 系统中开始引入 MIMO 技术时，只采用 2~4 个天线端口就能实现大幅度的频谱效率增益，采用 MIMO 技术的“投入产出比”很高。在 5G 中采用大规模天线技术，可以实现多用户 MIMO（MU-MIMO）和垂直方向的分层覆盖，从理论上是很有吸引力的技术。但 MU-MIMO 和 3D MIMO 并不是在所有部署场景都能获得明显的性能增益，大量天线带来的成本和能耗提升并不总能换取相应的性能提升。

新型多址技术是另一种在 5G 阶段深入研究过的关键技术，但由于候选技术方案过多、性能增益和复杂度评估没有明确结论，没有被 5G 标准采纳。预计 6G 标准化阶段会对新型多址技术再次进行研究，但仍然会面临 5G 时类似的挑战，新型多址技术往往也是在某些特定的场景能够获得比较明显的增益，产业是否能对这些“优势场景”及其性能增益获得共识，仍然是一个问号。

作为全双工的初步阶段，3GPP Rel-18 开始对灵活双工技术开展研究，这种技术虽然不能实现完全的“全双工”效果，但其实现复杂度相对较低，沿这个技术路线完全有可能成为 6G 标准的一部分。完整版本的全双工技术还在深入研究中，如何控制设备复杂度还面临一定挑战。

物理层 AI 是在 3GPP Rel-18 中研究的另一项“准 6G”技术，虽然还没有完成性能增益的评估，但是已经基本可以确定是 6G 的核心技术之一。究其原因，不仅因为 AI 可能实现一定的性能增益，还因为它可能实现大幅简化的空口协议，并实现与业务层的 AI 算法共享训练和推理算力，使 6G 设备和终端的应用处理和基带处理有望统一到一个软硬件架构中。6G AI 对物理层算法的替代，将在 3.3 节中进一步介绍。

覆盖增强技术

在 5G 阶段，3GPP 也对一些覆盖增强技术进行研究和标准化，包括中继技术和信道设计的各种优化等。智能表面（RIS）是一种针对性的解决毫米波视距传输覆盖率低的覆盖增强技术，如果能显著提升毫米波信号的覆盖范围，将比引入更高频段的 THz、无线光通信等只能用于热点覆盖的“峰值增强技术”，对 6G 的意义更大。但业界仍需深入验证 RIS 实际性能增益，并解决 RIS 站点的部署成本问题。

可靠性提升技术

5G 标准引入 LDPC 和 Polar 编码，分别为 eMBB 高速率传输和 URLLC 高可靠性做出了贡献。是否需要引入新的信道编码，以实现更高的传输可靠性，学术界还在深入研究。不过如 3.1 节所述，6G 宽带蜂窝子系统不需要进一步提高传输可靠性，如果引入新的信道编码，其主要应用场景适用于 6G URLLC 子系统。在 5G 系统中，eMBB 和 URLLC 都是共用一套信道编码技术。但在 6G 系统中，如果新的编码技术具有相对高的复杂度，也可以考虑仅在 6G URLLC 子系统中采用。

由于 4G MBB 和 5G eMBB 技术已经相当成熟，也在市场上广泛验证了其应用效果，在 6G 沿用 5G 核心物理层技术（OFDM+MIMO）的条件下，6G 宽带蜂窝子系统可以大量沿用 5G eMBB 的成熟设计，包括信道结构、资源分配、接入等物理过程。但是在此之上，6G 宽带蜂窝子系统还可以引入 AI 算法，与传统算法并行使用。如 1.5 节和 2.1.3 节所述，使用 AI 算法的 6G 系统可能采用明显不同的以“描述 AI 模型生命周期管理”为基础的系统设计。也就是说 6G 宽带蜂窝子系统可能会包含两种空口系统设计。

如 1.5 节所述，相对 5G Rel-18/19 版本标准化中采用的 use case 级别的渐进式 AI 增强思路，6G 系统更适合采用快速 AI 化的思路。

因此，在当前针对 6G 系统的空口 AI 化演进的过程中，有必要对研究的路线、所受的限制条件、基础问题，技术趋势，以及期待的突破与改变做出较为客观和明确的判断，并相应构建短、中、长期演进规划，以在不同层面和维度上获得理论与工程上的增益与突破。

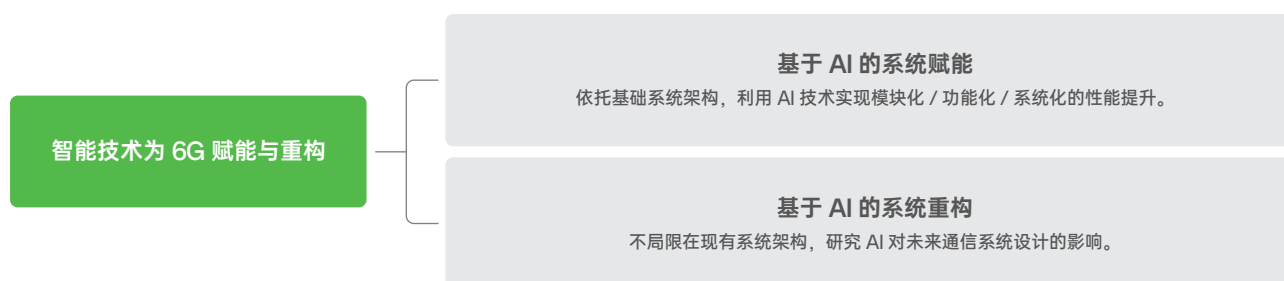


图 3-2: 智能技术为 6G 赋能与重构

6G 空口的 AI 化替代包括基于 AI 的系统赋能和基于 AI 的系统重构两个层面

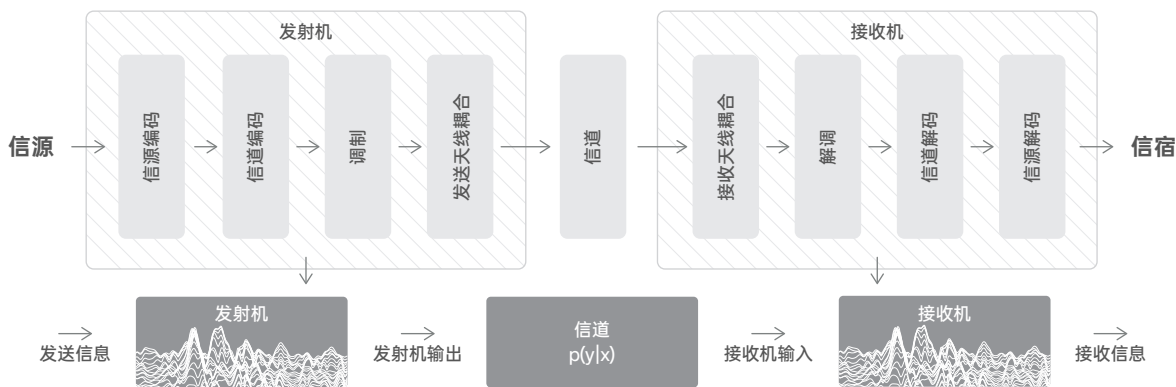
如图 3-2 所示，针对无线通信系统的智慧赋能将依托 AI 技术首先提升单点或者特定链路上的无线通信系统性能，即利用 AI 对原有系统架构中的功能模块进行数据驱动或者模型驱动的智能增强。例如，在物理层对原有的信道估计功能、信道状态信息反馈模块、波束管理功能、符号检测链路、定位子系统等利用 AI 技术的增强设计，提升相应模块的性能；在接入网对系统中的移动性管理、资源分配、负载均衡、网络 / 用户节能等问题，利用 AI 的决策优势和预测优势，提升接入网络整体性能增益；在核心网侧，构建支持 AI 的网络结构，实现基于 AI 的网络规划与细化优化，并实现基于 AI 的网络故障检测与维护能力。

上述面向空口 AI 化的功能应用是无线通信与 AI 技术结合的开端，但需要注意的是，6G 阶段的一个重要的背景特征是整个通信行业再次获得了系统性改变整体通信架构的机会。所以，在这个阶段，局限在现有架构设计的基础上做基于 AI 的系统优化并不是智能化 6G 研究的全部内容。着眼于 AI 对未来通信系统设计与重构的深度影响，一些固有的模式需要被尝试打破，开展全新的探索，以期构建形成面向智能需求且构建于智能技术上的新一代无线通信系统。

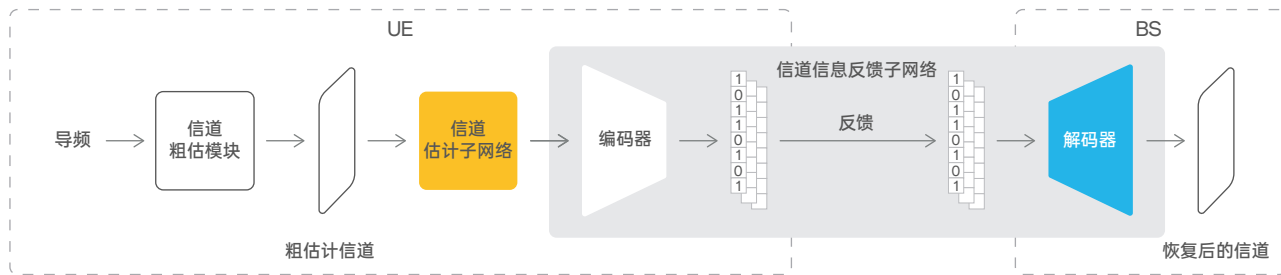
6G 空口 AI 化的研究将不只在已成型的具体无线用例上做修补优化型演进，而是从系统重构的角度出发，开展无线 AI 共性基础问题的深度剖析，包括：

- 一体化、系统化研究；
- AI 接收机带来的新空口影响；
- 场景自适应、可在线更新需求；
- 数据智能建模与虚拟重构。

首先，未来无线通信系统的一体化、系统化 AI 设计可包括自上而下的一体化设计和自下而上的系统化集成两个方向，如图 3.3-2 所示。传统的通信系统设计中，基于功能划分等原因，整体通信系统一直以来被划分为特定模块单元，通过问题拆解、模型化、参数化拟合等方法级联形成完整的通信系统设计。但是，通信的目的是有效信息的成功传输，人为划分的模块化设计只是实现达到上述目的一种方法，AI 技术则为上述问题提供了另一条思路。基于 AI 的整体通信系统设计，可以采用以传输增益最大化为目标，以待传输信息作为收、发模型的期待输入输出条件，以信道环境、噪声等不可控因素作为传输和模型构建的限制条件，以期获得整体的设计增益。与此同时，有必要指出大规模系统的一体化设计虽然在减少信息量损失的角度来看是有益的，但也会相应引入极高的自由度和复杂度问题，对于无损信息量中有用信息的提取在短时间内依旧是对 6G 系统 AI 化的挑战。所以基于模块化 AI 的集成与融合，也是未来无线通信系统智能化演进的重要探索阶段。



(a) 一体化 AI 设计与重构



(b) 模块化 AI 集成与融合

图 3.3-2: 一体化、系统化 AI 设计的两种思路

在 6G AI 的研究中，有必要对 AI 技术可带来的核心优势做最大程度的利用。当前 AI 技术的发展已使得原本很多难以解决的复杂问题被重新审视。在可预见的相当长一段时间内，AI 技术的迭代与发展速度将远快于传统通信理论的演进速度，随之而来的是通信传输方案与处理方案之间的关系有可能在底层设计思路发生变化。在传统无线通信系统设计中，一个重要的短板来自于受限的接收算法和后处理能力，在实践中往往需要在发送端做一些特殊处理，例如通过一些正交化、线性化的传输设计，通过增加发送复杂度的方式换取对于接收端处理的可行性以及复杂度的放松。但是，在 AI 技术的使能下，很多任务中 AI 接收机的有效性、高效性均得到验证。这使得“大后台、小前端”的设计思路得以尝试。例如，简化一些非必要的正交化、线性化的预处理传输方案，在降低整个系统设计的复杂度的同时，通过 AI 解决方案，保持甚至进一步提升系统效能。当前，在 CSI、波束管理等 3GPP 无线 AI 用例中，AI 处理方案在接收端的引入已经在一定程度上降低了整个系统对于发送端传输的依赖程度。更进一步来看，先进 AI 接收机的引入，对于更多通信基础问题，例如导频设计、调制、编码、波形等，均有望带来前端传输简化与后端性能优化等方面的影响。

对于 6G AI 来说，还需要对无线通信问题与 AI 技术深度融合所需面对的共性限制条件形成明确的判断。当前无线系统 AI 化的研究重点集中在了期望通过增益、复杂度、泛化性以及其它多个维度优先评估无线通信系统与人工智能技术结合后对未来无线通信系统带来的新变化。相对理想的数据、训练、场景等限制条件被优先考虑，以快速确认 AI 解决方案在无线系统中使用所带来的影响。但上述的假设往往会引入一些过于理想的条件，比如，对于数据来说，是否能够获取足量的训练数据，以及获取数据所需要付出的代价如何评估；对于场景来说，是否模型训练可以在足量场景下完成，以及不同场景对于智能无线通信解决方案的影响如何评估；此外，对于模型、算法训练来说，在不同场景、数据条件下是否都可通过离线处理的方案来解决也是不确定的。对于 6G 系统智能重构，在当前工作的基础上，还需要充分考虑实际系统与人工智能技术深度结合时所面临的数据、场景、以及在线训练更新等更多方面的影响因素，从系统设计的源头支持面向小样本、场景自适应、可在线更新需求的无线 AI 解决方案（例如，元学习、迁移学习等，如图 3-4 所示）的应用部署，进一步构建和扩充未来无线通信系统的智能化边界。



图 3-4：基于元学习的小样本条件场景化适配示意

AI 和下一代无线通信系统的深度结合过程中，作为智能化系统设计、性能评估的基础，针对无线数据集本身以及衍生问题的研究在 6G 阶段中将扮演着不可或缺的角色。以物理层应用为例，无线数据大多都可溯源到信道数据。作为基础方案，可采用平台仿真与外场实采形成基本的物理层无线 AI 研究数据集。但是，对于实际无线环境来说，通信系统所需面临的信道条件往往极度复杂，仿真数据、以及局部实采数据对于方案论证的可靠性往往有限。在实际无线环境中，充分且完备的实采信道数据很难获取。通过传统路测的方式获得底层无线信道数据来支撑基于 AI 的无线通信研究时，往往在花费极大的人力、物力成本后依旧很难获取到期望的完备数据集作为无线 AI 解决方案的有效训练数据。针对这类问题，在 6G 无线系统的 AI 化构建中需要充分考虑无线 AI 不同研究方向下所涉及的数据集需求，充分评估获取的方式与潜在的获取难度，并支持在小样本数据假设下依托少量真实样本的假设完成真实数据建模，例如通过智能技术实现物理信道的虚拟重构，如图 3-5 所示，继而评估不同来源的无线 AI 数据集在其所对应的相关无线 AI 用例中的可用性及有效性。

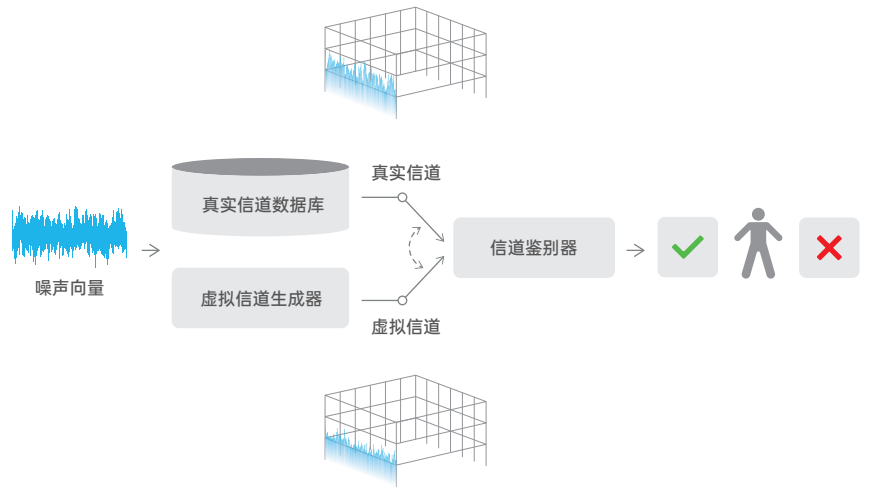


图 3-5: 基于 AI 的小样本条件信道建模与虚拟信道重构

人工智能的发展与应用为未来无线通信系统的智能构建提供了潜力，也带来了更多的挑战。对于 6G 来说，未来的无线通信网络将不再是一张简单的传输网络，智能的需求、智能的改变、智能的构建将贯穿于 6G 系统甚至更长久系统的设计与建设当中，我们期待着“智启无线、智享世界”的到来。

4.0 6G D2D 子系统

- 6G D2D KPI 指标要求
- 6G D2D 关键技术与系统设计

6G D2D 子系统的 KPI 指标可以通过下图所示。

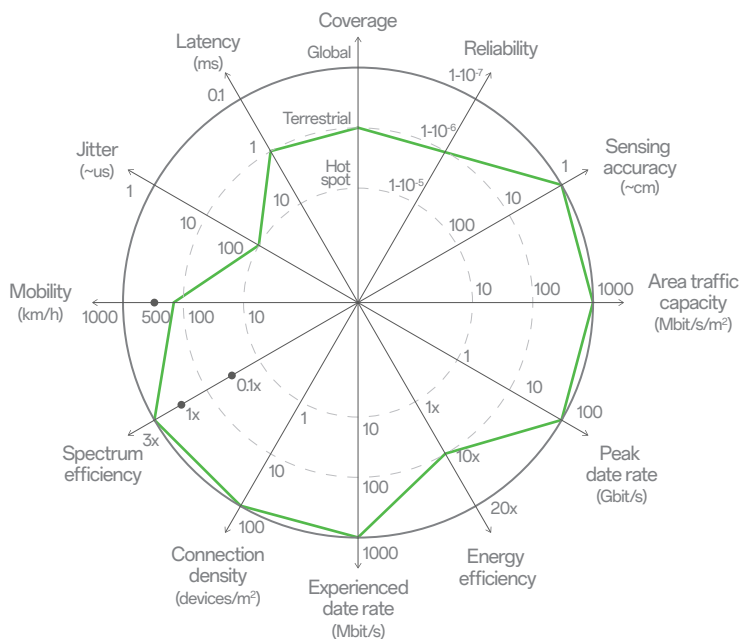


图 4-1: 6G D2D 子系统 KPI 指标

覆盖范围

6G 系统要求空 - 天 - 地 - 海全域无缝覆盖，但是由于 6G 系统采用更高频段，导致基站的覆盖范围很小，并且存在覆盖盲区。通过基于 D2D 的中继技术，可以扩大覆盖范围，使得远区终端或小区覆盖外的终端可以连接到网络，避免覆盖盲区，另外，通过终端聚合技术可以使得多个低能力终端通过聚合的方式连接到网络，扩大小区覆盖范围并且提升传输性能。

峰值速率和数据率

6G 系统考虑采用更高通信频段的传输技术，如毫米波、太赫兹通信和无线光通信，这些高频段具有很大带宽，可以提供高传输速率。但其传输距离过短，用于蜂窝组网需要极高的基站密度，部署难度很大。毫米波、太赫兹和无线光通信更适合用于 6G D2D 子系统，在几米甚至更短的距离上进行终端间的直接数据传输。因此 6G D2D 子系统的峰值速率和用户数据率可能会超过 6G 宽带蜂窝子系统。也就是说，6G 系统的最高峰值速率和用户数据率可能是通过 D2D 子系统来实现的。

连接密度

由于消费电子设备之间的 D2D 通信可能在很短距离内进行，使 D2D 子系统可以实现很高的连接密度，支持很高的每用户连接数量，6G D2D 子系统的连接密度也完全可能超过 6G 宽带蜂窝子系统。

频谱效率

5G D2D 中为了降低标准复杂度，只支持双流传输，256QAM。在 6G D2D 子系统中可以考虑支持更多流数据传输以及更高的调制方式，以提升频谱效率。

定位精度

由于 D2D 感知主要用于相邻终端之间的精确定位，定位距离较短，视距连接比例很高，更有利于实现很高的定位精度。因此 6G D2D 子系统的感知精度可望达到 cm 级别，这种高精度定位对邻近终端之间的高精度互动业务（如交互式 XR 游戏、协同驾驶）也是必要的。

6G D2D 关键技术 与系统设计

4.2

设备与设备直接通信 (Device-to-Device, D2D) 技术具有很多优点, 比如 D2D 通信可以有效提高传输速率, 减小时延, 增加能效和频谱效率, 还可以缓解蜂窝无线网络的过载现象, D2D 通信将作为实现 IoE 必不可少的一环, 在 6G 网络继续发挥着关键作用。随着 6G 系统中可用频段越来越高, 通过基站实现无缝覆盖变得越来越困难, 利用 D2D 技术实现终端到终端之间的直接通信会成为 6G 系统中越来越重要的通信方式。另外, D2D 技术可以和其他技术相结合, 如基于侧行链路的定位技术、感知技术、大规模 IoT 技术、人工智能等, 因此, D2D 技术将成为 6G 系统中最重要的技术之一。6G D2D 系统可以应用于如下的场景中, 如扩展覆盖、个人接入网 (Personal Access Network, PAN)、智能家居、V2X、工业物联网 (IIoT)、感知、定位等。

1.D2D 系统用于扩展 网络覆盖

6G 系统支持空 - 天 - 地 - 海集成的无缝覆盖网络, 使得所有的终端都可以和网络保持连接, 实现真正的万物互联。而 6G 系统为了支持更高的传输速率, 需要采用更高的频段更大的带宽, 但是频段越高, 网络覆盖范围越小。一种方式是通过增加站点满足全域覆盖的需求, 但是会大大增加网络部署成本。另外, 在一些特殊的场景中, 如海下, 也无法部署基站, 因此, 很难通过部署基站的方式实现无缝覆盖。而通过基于 D2D 的中继 (relay) 技术可以使得更多的终端连接到网络, 实现扩展网络覆盖范围的目的, 甚至是无缝覆盖。D2D 中继技术包括 U2U (终端到终端) 中继或者 U2N (终端到网络) 中继, 并且支持单跳 (single-hop) 和多跳 (multi-hop) 中继, 从而使得位于远区甚至小区覆盖范围外的终端通过 U2U 中继或 U2N 中继连接到网络。终端可以直接连接到网络, 或者通过中继连接到网络, 从而实现和网络保持多条连接路径, 提高连接的可靠性。

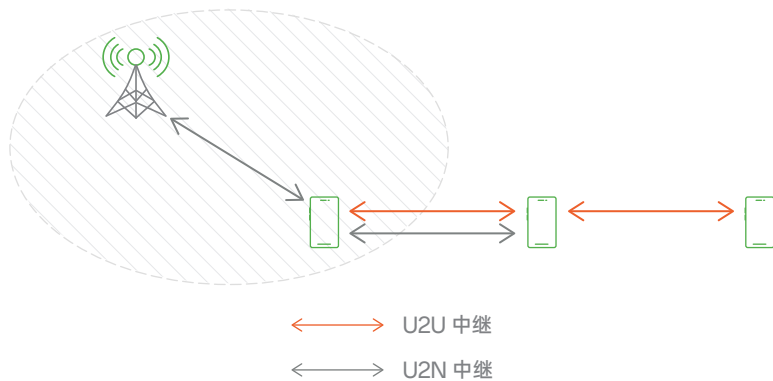


图 4-2: D2D 系统应用于扩展覆盖

对于一些低能力 (RedCap) 终端, 这些终端由于自身硬件能力有限、发送功率有限, 很难连接到网络, 或者很难具有较高传输性能。通过终端聚合 (UE aggregation) 的方式, 将多个终端的能力聚合起来一起与网络进行数据传输, 可以提升传输性能, 如提高传输速率、降低发送功率, 提高传输可靠性、降低传输时延等。

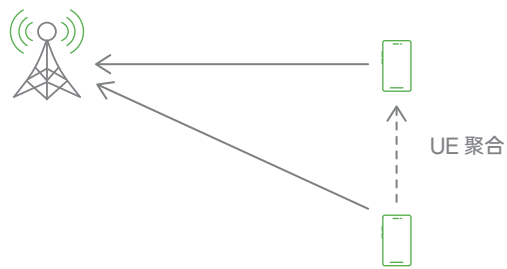


图 4-3: D2D 系统应用于终端聚合

为了让更多的终端设备连接到网络，终端设备可以以多跳互联的方式形成自组织网络，即 Mesh 网络。在 Mesh 组网关键技术的研究中，涉及到的方向包括网络发现、路由转发和网络维护。未来智能终端可能同时处于物理与虚拟的“融合”世界，所处的周边环境将会更为复杂，同时自身可能处在高速移动状态，因此，Mesh 网络中的智能设备既需要快速加入网络建立通信连接，也需要快速应对动态环境的变化做出决策，更新并维护网络拓扑结构，从而保持高效稳定的运行状态，但是目前智能终端可能无法支持如此强大的预测和决策能力。6G 时代，AI 可以赋能 D2D 系统，智能终端作为边缘云计算和分布式 AI 计算的天然载体，以智能终端为中心，发挥 AI 强大算力解决 Mesh 组网中的关键技术，助力 Mesh 网络部署于广泛的应用场景。

2.D2D 系统用于车联网

6G 系统中需要支持完全自动驾驶，对传输可靠性、通信距离、传输速率具有更高的要求，而 6G 车联网中的一些新场景、新技术带来新的挑战。由于城市化进程快速发展以及智能电动汽车等技术的发展，未来支持自动驾驶的车辆会快速增加。3D 显示、全息控制显示系统、脑机接口、沉浸式娱乐、车内娱乐系统等技术的出现和发展，对系统传输速率、可靠性、时延等提出更高的要求。

基于 D2D 的 5G NR SL 技术的主要应用场景就是车联网，通过相应的技术增强，D2D 系统仍然可以用于 6G 系统中，以满足自动驾驶的需求，以及车内设备间的通信需求。5G D2D 系统的增强可以包括如下几个方面：

- 更高传输速率：如支持更高的频段（FR2-1/FR2-2），支持载波聚合技术；
- 更高可靠性：低负载的 SCI 设计，基于中央调度的传输方式，新的 QoS 参数设计；
- 更低时延：更高子载波间隔，资源授权优先级处理；
- 跨 RAT 调度：6G Uu 口可以调度 5G D2D 传输；



(a) 车联网



(b) 车内通信

图 4-4: D2D 应用于车联网

3.D2D 系统用于工业 互联网 (IIoT)

在 IIoT 场景中，需要可编程逻辑控制器 (PLC) 和传感器之间直接通信，或者多个合作搬运货物的机器人之间直接通信 [7]，以满足低时延高可靠的传输，因此，在 IIoT 场景中需要支持基于 D2D 的终端直连技术。另外，在 IIoT 场景中，需要满足即使在无网络覆盖的场景下，也能对终端实现定位功能，因此，基于 sidelink 的定位功能也是 IIoT 场景中的一个重要特性。

在 IIoT 场景中，可以采用广域网 (Wide Area Network, WAN) 和微域网 (Micro Area Network, MAN) 相结合的组网方式：

- 广域网：基于基站的覆盖，满足广覆盖以及移动性管理的需求；
- 微域网：基于 D2D 的终端直连，实现低时延、高可靠、低功耗的传输；

为了满足 IIoT 场景中低时延高可靠的要求，D2D 系统需要做相应的增强，如提高传输可靠性，降低传输时延，高精度时间同步机制，U2U/U2N 中继的组切换机制，基于 sidelink 的定位机制等。

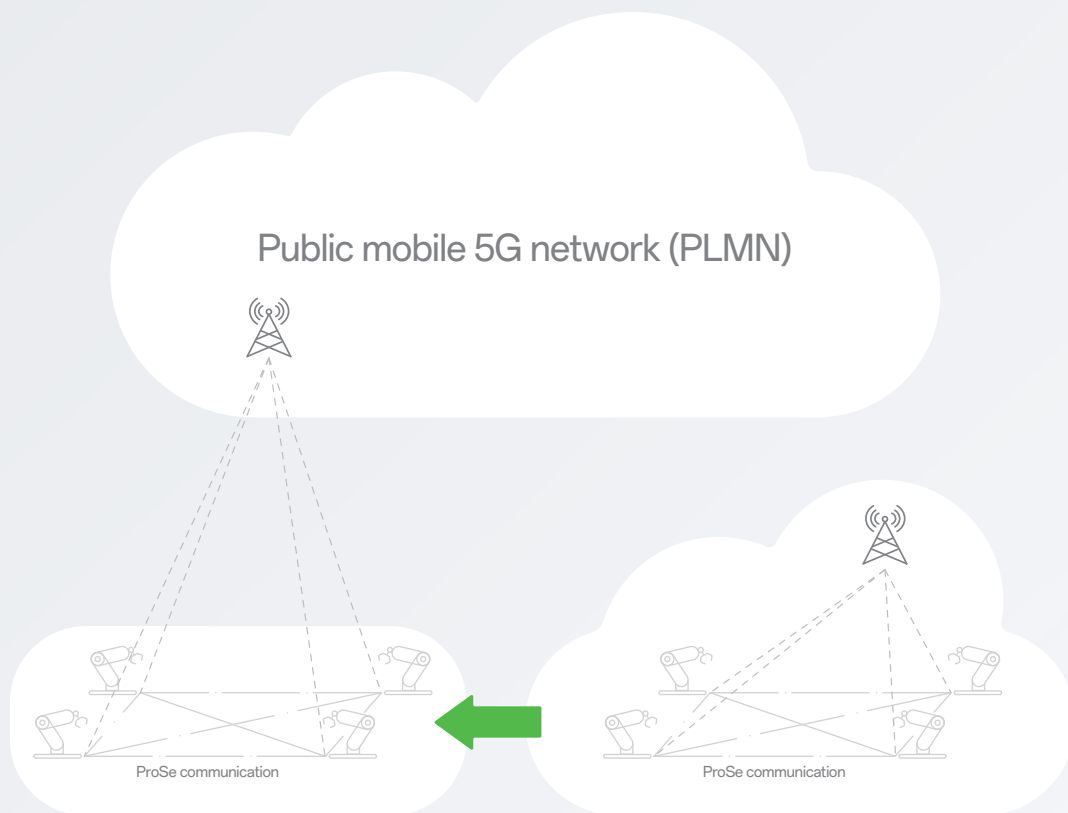


图 4-5: D2D 应用于 IIoT

4.D2D 系统用于感知 (sensing) 和定位 (positioning)

6G 感知能力将实现无所不在的传感，捕捉物理世界的环境细节，并支持虚拟世界的双重重建。对于一些应用场景，如室内入侵检测、健康检测、手势识别、移动监测、停车位识别、工业物联网等，在这些室内场景中，通常没有网络的覆盖或者网络信号不好，此时，基于终端的感知和定位尤其适用，可以只基于终端之间的协作完成对周围环境的感知和定位功能，以赋予 6G 网络无时无刻、无处不在地感知物理世界的的能力，因此，基于终端的感知或定位能力是 6G 系统中的一个重要特征。同时具有通信、感知和定位功能将是 6G 终端的能力趋势。

D2D 系统用于感知或定位的工作模式可以包括如下几种：

- 基站和终端协作进行感知或定位：基站发送探测信号 - 终端接收探测信号；或者，终端发送探测信号 - 基站接收探测信号；
- 只基于终端进行感知或定位：终端自发自收；或者，终端 A 发送探测信号 - 终端 B 接收探测信号。

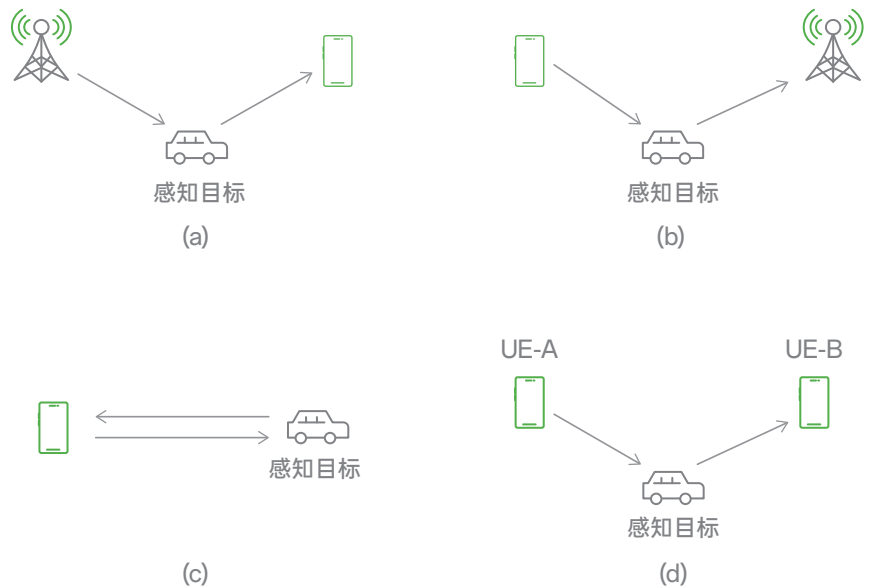


图 4-6: D2D 应用于感知和定位

- 6G 低时延高可靠 KPI 指标要求
- 6G 低时延高可靠关键技术与系统设计

5.0 6G 低时延高可靠子系统

低时延高可靠 (URLLC) 是 5G 引入的一种应用场景，主要用于工业互联网、车联网等对时延、可靠性要求更高的关键物联网 (Critical IoT) 业务。可以预计，URLLC 子系统也将成为 6G 系统的重要组成部分。5G URLLC 在 Rel-15 版本中已初步支持，Rel-16、Rel-17 两个版本又相继增强，但其产业化进程并不顺利，尚未获得大规模商用普及。

究其原因，5G URLLC 是在 5G eMBB 基础上增强而来，在追求更低时延、更高可靠的同时，并没有针对工业互联网、车联网等场景对 eMBB 的冗余设计进行大量裁减，造成复杂度和成本不必要的叠加。试图同时兼顾多种业务场景，最终顾此失彼，对任何一个行业都不能做到足够优化。因此 6G URLLC 可以尝试更准确的定位目标市场，对技术特性做更大胆的取舍，实现针对关键应用场景的性能优化和成本控制，提高 6G 在这个横向市场的竞争力。

6G 低时延高可靠 KPI 指标要求

在 5G 中，URLLC 涵盖的范围很广，既包含要求中低速率、很低时延、很高可靠性的工业、交通等实时控制业务，也要涵盖很高速率、较低时延的 XR（混合现实）业务，这种矛盾性的 KPI 要求给系统设计制造了较大困难，容易顾此失彼，哪种业务的性能也无法真正优化。6G URLLC 子系统应根据目标业务的需求进行针对性的优化。

为满足工业自动化动态控制的效率、精度及可靠性需求，时延需要达到 0.1ms，可靠性要求为 99.99999%。对于采用视觉控制的系统，用户体验速率需要达到 100 Mbit/s。在高密度部署场景中，连接密度需要达到 10^6 devices/km²。

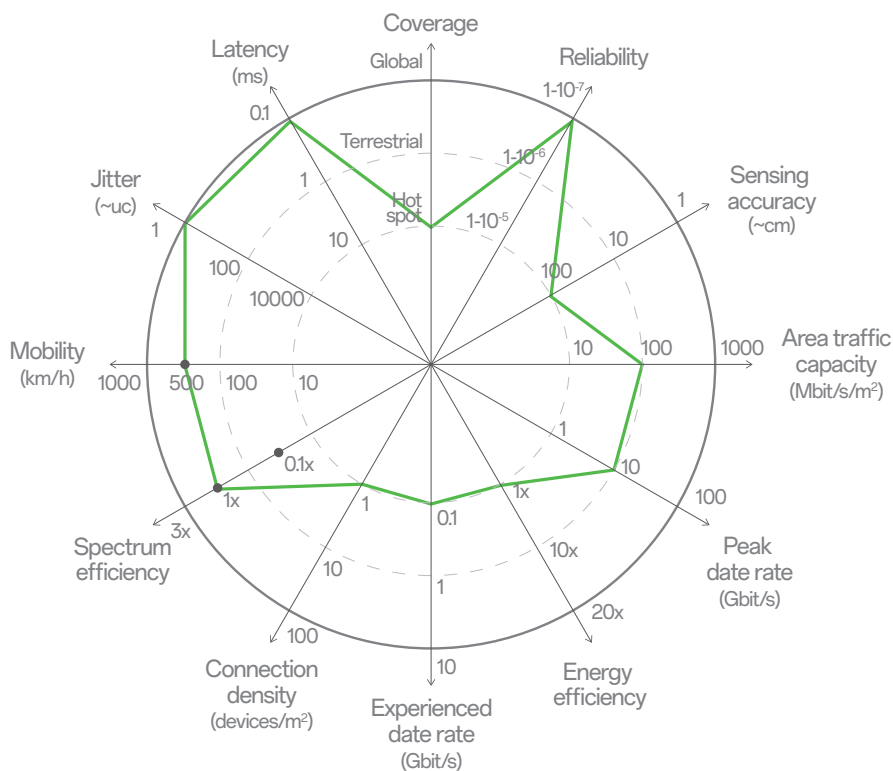


图 5-1: 6G 低时延高可靠子系统 KPI 指标

6G 低时延高可靠 关键技术与系统设计

5.2

5G 系统鲜明的特点是频段多样、支持灵活时隙结构、多种子载波间隔、波束扫描以及丰富的部署场景，因此在 5G 系统设计时，兼顾了以上多种需求，初始接入模块设计的完备且复杂。如第 1 章所述，6G 系统以“极简而又多能”为目标，设计多个面向应用场景的子系统，因此对于每个子系统，在初始接入模块可以做更多“针对性”而非“包容性”的设计。对于低时延高可靠子系统，可以探索设计确定性的初始接入模块，例如在小区搜索时，可以采用确定性的参数集 / 受限的参数集，即采用受限的频点、简化的 SSB 来降低终端小区搜索以及 RRM 测量的时延；在随机接入时，可以以 5G 系统 2-step RACH 的设计为起点，降低终端上行同步的时延，与此同时，在进行 RRC 参数配置时，也可以去冗存精，仅保留必要的参数配置，以达到降低复杂度的目的。

为满足高可靠、短时延且高速率传输的需求，6G 系统将进一步探索更快的终端处理能力。在 5G 系统中，当终端被配置使用高等级处理能力（对应较短的 PDSCH 处理时间、PUSCH 准备时间）时，所有的数据都采用高等级能力进行处理。具体来说，对于同时支持宽带数据传输与低时延高可靠数据传输的终端，终端对于宽带数据的接收处理和发送准备处理也需要满足短时延业务的要求进行。这样的处理方式一方面会影响宽带数据传输的性能及体验，另一方面由于终端总是处于高速数据处理状态因此终端功耗较高。6G 系统中，在提升终端处理能力速度的同时也要考虑支持终端处理能力的动态切换，即在收、发宽带数据时采用较慢速的处理能力，在收、发短时延高可靠业务时切换为较快速的处理能力，从而有效降低终端功耗。

要实现终端处理能力动态切换，系统还需要支持灵活的时序关系，包括：调度时序、反馈时序、复用处理时序等。对于同一类型的数据（即对应相同处理能力的的数据）传输，时序上依然可以满足类似 5G 系统的要求，例如：调度在前的数据优先被处理、传输在前的数据优先被反馈。但是对于不同类型的数据（即对应不同处理能力的的数据）之间的时序约束应该放开或取消。否则，终端采用较低处理能力接收一个宽带数据后，在该宽带数据未完成解调、反馈之前，后续传输的短时延数据都无法按照较高处理能力进行接收。

对于同时支持宽带数据和短时延高可靠数据的终端，支持同时独立收、发不同类型数据，即不同类型数据通过独立信道同时传输，可利于提高系统传输效率。

对于周期达到业务，可考虑更简化的下行控制信令传输机制，在降低终端控制信道盲检测的同时实现高效、高可靠传输。另外，也可以考虑 DCI 级别的重复传输，在保证可靠性的同时提升调度灵活性。

当业务量较小的情况下，将小数据包直接承载于下行控制信道中进行传输，有利于降低处理时延、提升系统复用效率并提升可靠性。

对于 TDD 载波，由于 TDD 上下行配置造成的 HARQ 重传时延需要进一步降低。6G 系统中，可考虑更多的使用 XDD 技术，在时域上提供更多的上、下行传输资源以降低调度、反馈及重传时延。另外也可以考虑使用不同上下行配置的载波进行聚合，并采用 HARQ 进程跨载波重传或多载波 HARQ 进程统一管理的方式降低 HARQ 重传时延。

在 5G 系统中，支持在时域上重复传输 PUSCH/PDSCH 以提升可靠性，但传输时延显然会显著增大。在 6G 载波聚合系统中，可以考虑支持不同载波上重复传输 PUSCH/PDSCH，在保证传输可靠性的前提下，降低时延。

为了进一步降低上行传输时延，6G 系统中的终端将具有更大的主导性。例如，调度请求之后，直接使用预配置资源传输 PUSCH。进一步地，终端可自主确定适合的传输参数，支持自动重传或提前终止时域重复传输等。

另外，6G URLLC 子系统也可引入 AI 技术辅助实现如下功能：

- **数据到达预测：**基站通过预测数据到达时间及数据量，进行预先调度。终端基于预测结果，实现完全的无调度传输或自主传输；
- **调度、重传预测：**终端基于预测结果提前进行数据准备，从而降低数据准备时延。基站或终端基于预测结果直接进行数据重传，而不需要等待反馈信息；
- **冲突预测：**避免用户间或用户内的资源冲突。
- **UCI（上行控制信令）增强：**基于 AI 算法对 UCI 信息进行压缩，降低反馈信息量。

- 6G 感知 KPI 指标要求
- 6G 感知关键技术与系统设计
- 6G 感知子系统的两种模式
- 通信感知融合系统的关键技术
- 独立感知模式关键技术

6.0 6G 感知子系统

感知子系统是 6G 引入的一个新的子系统，虽然 5G 系统中已经包含定位功能，但全面的支持物理环境的感知，对移动通信系统还是一个新的变化。

6G 感知功能将使能无所不在的感知能力，捕获物理世界的环境细节，支持虚拟世界的孪生重建。6G 感知能力不仅包括目标识别，目标定位（测距、测速、测角）、目标跟踪和目标成像的能力，还将包括材质检测、模式识别和医疗辅助等。为了满足上述 6G 感知能力，一些感知 KPI 被定义，特别是感知精度需要达到 cm 级别，如图 6-1 所示。但同时，由于 6G 感知子系统应首先保证在感知性能方面的市场竞争力，不可能要求其具有和 6G 宽带蜂窝子系统、6G URLLC 子系统相同的通信性能，在数据率、频谱效率、系统容量等方面的要求应该适当放松，给感知性能的优化留出设计空间。

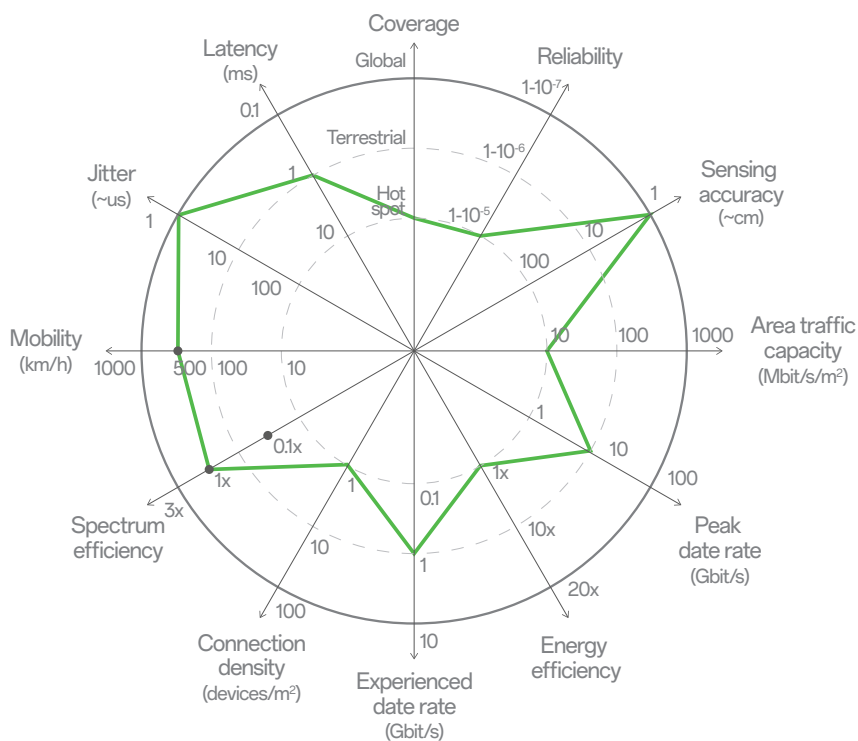


图 6-1: 感知子系统 KPI 指标要求

6G 感知关键技术 与系统设计

6.2

6.2.1 6G 感知子系统的两种模式

在信号处理技术的历史上，感知和通信是需求不同、系统设计迥异的两种技术。6G 希望将通信、感知两种技术融合在一个系统中，尽量复用软硬件资源，取得“一事两全”的效果。但是客观地说，一个系统兼顾两种业务，两个业务共享资源，通信性能和感知性能可能都会受到一些影响，不可能完全发挥各自的技术潜力。因此，根据具体应用场景不同，6G 感知子系统可考虑支持两种模式：通信感知融合模式和独立感知模式。

通信感知融合模式适用于一个运营主体同时提供通信和感知业务、用户使用通信与感知多功能终端、使用通信 / 感知融合业务的场景。这种情况下，融合设计可以实现通信和感知共享频谱、硬件资源，灵活协作，为通信和感知双重需求的场景提供一种高效的解决方案。这种模式下，运营方和用户并不追求单方面性能最优，而是追求两种能力的性能均衡。

但是对于单纯的感知业务运营，独立感知模式可能就是更优的解决方案。运营方希望把资源集中于优化感知性能，以在专业市场上获得足够的竞争力，用户使用专用感知终端和感知业务，希望获得最优的感知业务感受。通信能力在这种模式中主要提供感知相关信息、信令的传输。这种模式下，系统应该按照感知性能优化选择关键技术、决定系统设计，且采用相对简单的协同实现方案，从而为感知强需求、通信弱需求的场景提供了一种优化且低成本解决方案。

上述两种模式既可以选择一些相同的关键技术，也可以选择一些差异化的技术，如图表 6-1 所示。

| | 通信感知融合模式 | 独立感知模式 |
|---------|---|------------------------------------|
| 同性关键技术 | 参数估计技术, AI辅助算法, 协同感知技术等 | |
| 差异化关键技术 | 通信与感知的硬件融合 通信与感知的信号融合 通信与感知融合的网络架构与组网 | 感知信号信道设计 感知硬件增强 感知系统的网络架构与组网 |

表 6-1: 通信感知融合模式与独立感知模式的关键技术

6.2.2 通信感知融合系统的关键技术

1. 通信与感知融合模式关键技术

- 通信与感知的硬件融合技术

无线通信与感知系统都是利用电磁波传递信息，一个是通过电磁波承载，一个是从电磁波的特性中提取。因为功能和需求不同，两者在信号收发模式，接收检测灵敏度，同步精度，以及射频通道的性能指标需求差异较大。现有系统都会独立设计，或者有所侧重，例如，雷达系统中也具备低速率的数据传输能力，但硬件设计还是以雷达需求为主。通感一体化技术需要将通信和感知功能融合，尽可能地复用一套硬件系统，得以在成本，尺寸和性能上取得优势。

- 通信与感知的信号融合技术

通信信号与感知信号的融合分为两个层次。一个层次是由同一个系统发出的信号既可以用于通信，也可以用于感知，但两者可以通过独立的信号承载，即系统级的通信信号与感知信号的融合。在这样的系统中，通信信号与感知信号可以在时域，频域，空间域进行复用。另外一个层次是通信与感知通过一个信号承载，即信号级的通信与感知的融合。

2. 信号处理技术

6G 感知不仅包括经典参数估计，例如，目标识别，目标定位（测距、测速、测角）、目标跟踪和目标成像的能力，还将包括模式的识别，材料检测等。对于经典参数估计，一些经典的非线性算法，例如 FFT 和 MUSIC 算法是在复杂度和性能之间做了平衡。ESPRIT 算法复杂度高，但可以获得更优的检测性能。对于模式识别，材料检测等，不可避免地需要从物理世界采集大量的感知数据，这些感知数据采用 AI 算法将还原出更加丰富的信息。

3. 协同感知技术

协同感知技术通过多条感知链共同完成一个感知任务，提高感知结果的准确性与完整性，实现广覆盖。协同感知的模式也是多种多样，包括多节点协同感知、多频段协同感知以及多制式协同感知。其中，多节点协同感知和多频段协同感知可以广泛应用于基站与终端，多制式协同感知将无线感知与终端设备中的摄像头，重力感应等感知模块结合，提高用户体验。

- 多节点协同感知

多节点协同感知指在相同的感知制式下，多条感知链路之间的协同感知。该技术应用广泛，可以解决应用场景和设备实现中的非理想因素带来的问题，提高感知性能。具体包括：克服遮挡，实现连续覆盖和提升信号处理效果。

在上述多点协作感知用例中，可以抽象出多点协作感知的 2 个空口关键技术：感知节点选择和感知信息融合。此外，为了避免多节点感知信号的相互干扰问题，多节点的感知信号协调问题也需要考虑。由于需要多个感知节点之间协作通信，核心网的增强也是必不可少。

感知节点选择意在选出能够感知且感知结果可靠的感知节点。其中，选择能够感知的节点既要考虑感知授权和安全问题，还要考虑感知节点的空白能力，例如，感知信号的带宽和发送功率，直接影响感知精度和感知范围。感知节点的通信业务量，避免对通信无线资源的挤兑，降低通信速率。感知结果的可靠性与感知节点和感知目标的相对位置有关，甄别影响感知结果的因素，以及这些因素对应的信号特征量，使得控制节点可以通过感知节点的测量上报筛选出优质的感知节点。对于感知切换的场景，除了选择合适的感知节点，也要考虑感知切换过程设计，确保感知的连续性。

感知信息融合意在将多个感知节点的感知信息合并处理。感知信息融合与单节点感知结果反馈相关。因此，可以根据单节点感知结果反馈的类型，对应地将感知信息融合技术分为三种：基于原始信道信息的融合、基于信道特征量的融合以及基于感知结果的融合。

对于基于原始信道信息的融合，控制节点可以获得完整的信道信息，最大程度地从大量的信道信息中挖掘出信号传输环境信息和感知结果。对于基于信道特征量的融合和基于感知结果的融合，其好处在于单节点的反馈量下降，但由于反馈信息的缺失，控制节点可挖掘的信号传输环境信息有限，降低了融合效果。一方面，可以通过一些融合算法或滤波技术，增强融合结果的准确性。另一方面，也可以通过感知节点反馈一些辅助信息，辅助控制节点对多节点感知结果的融合处理。

- 多频段协同感知

6G 系统支持的工作频段会更广，包括低频，毫米波，太赫兹和可见光，不同频段有其适合的应用场景。由于天然的物理性约束，不同频段电磁波所能提供的感知功能和业务能力是不同的。理论上，频段越高、波长越短、频带越宽，提供的感知精度和时频分辨率就会越高；但是，由于无线信号的衰减或遮挡，感知有效作用的距离和范围会越短越小。通常，较低频段通感融合信号可以做大轮廓的粗浅感知应用，而较高频段通感融合信号可以做更精细感知应用。

4. 终端感知技术

- 多制式协同感知

当前的终端除了具有支持通信功能的硬件之外，还拥有大量用于提升终端交互体验的传感器，例如摄像头、加速度计、陀螺仪、光线传感器、距离传感器、重力传感器、磁场传感器、气压传感器等。随着终端形态、人机交互功能的不断演进，未来的 6G 终端将拥有越来越丰富的传感器。终端的这些传感器能够针对终端周围的物理环境提供丰富的感知信息。为满足 6G 丰富的感知需求，可以考虑将这些基于专用传感器的其他感知技术与无线感知进行结合。与单一的无线感知相比，这种多制式协同感知可以利用不同感知技术的独特优势来更准确、全面地感知物理世界。多制式协同感知的增益主要来自于不同制式感知技术获得的感知信息的融合。由于不同制式的感知信息具有不同的数据属性、感知精度、感知范围、数据格式，不同制式的感知信息的融合是多制式协同感知的关键技术。

- 感知信号资源分配

如上文所述，在通信和感知融合的网络中一个信号可以同时满足通信和感知的需求，从资源分配角度，感知参考信号的资源分配即为通信资源分配。在现有侧行通信系统中，侧行通信资源可以由网络调度或由终端自主选择。网络调度的资源分配需要网络运营商的参与，而且终端必须位于运营商的网络覆盖之下。终端自主选择主要依靠解码资源预留信息，然后根据 RSRP 测量进行资源筛选实现。在 6G 侧行通信中，可以通过强化学习进一步提高终端自主资源选择的性能。这些侧行通信资源分配方式可以同时用于解决通信感知信号资源分配的问题。

6.2.3 独立感知模式 关键技术

1. 高性能高精度的 硬件设计

为了达到感知需求，高隔离度的系统设计和高性能高精度的器件要求都是必不可少的。前者是避免双工系统的自干扰问题的必要手段，后者使能大带宽数据处理与精准同步。

2. 信号与信道设计

感知波形大多是规则的已知信号，要求具有优良的自相关特性、很大的信号带宽、很高的动态范围，可以容忍大的多普勒频偏，以估计运动目标的速度。对于独立感知的模式，只需要考虑感知的需求，因此，一些经典或先进的雷达探测信号都可以考虑，例如线性调频连续波 FMCW。

3. 网络架构与组网技术

为了支持独立模式的感知设备，还可以在核心网中部署运营商管理的应用网元，负责通过应用层交互从独立模式的感知设备获得感知数据。这个应用网元接受感知控制网元的控制，并可以向感知收集实体进行感知数据的汇报。

7.0

6G 超大规模 IoT 子系统

- 6G 超大规模 IoT 技术需求
- 6G 超大规模 IoT 关键技术与系统设计

6G 超大规模 IoT 技术需求

7.1

5G 设计之初，就将 massive MTC 列为 5G 的三大需求场景之一，旨在在 5G 时代满足来自垂直行业日益增长的物联网通信需求。因此，在过去的十年期间蜂窝物联网通信技术与标准逐步得以发展。其中，3GPP 标准化了 MTC (Machine Type Communications, 机器类通信)、NB-IoT(Narrow Band IoT, 窄带物联网) 和 RedCap (Reduced Capability UE, 缩减能力终端) 等一系列的物联网技术。这些物联网技术采用小带宽、单天线、降低峰值速率、半双工、降低发射功率等技术显著降低了物联网终端的成本。进一步地，通过引入 eDRX (enhanced Discontinuous Reception, 增强的非连续接收)、PSM (Power Saving Mode, 节能模式)、节能 BWP (带宽部分) 等技术极大降低了物联网终端的功耗。同时，可以支持大量物联网终端接入网络，从而满足大连接的需求。得益于这些技术，物联网蓬勃发展。截止 2022 年 8 月，中国物联网订阅数达 16.98 亿，已经超过 16.78 亿个人用户。

在 6G 时代，随着物联网技术在千行百业的推广应用以及在个人消费者生活中的普及，可以预见物联网将真正得以爆发式增长。人们将迎来千亿甚至万亿级的物联网链接，物联网技术将持续变革社会经济发展以及人们的生产生活方式。

7.1.1 技术需求

6G 超大规模 IoT 的技术需求包括：

更大连接数

随着物联网技术的进步，物联网在各行各业将加速普及。能源、工业、交通、物流、农牧业、医疗、环保等行业以及智能家居、可穿戴、大健康等个人消费领域均将显著受益于物联网技术的发展。因此，6G 超大规模 IoT 需支撑更大的连接数，同时可以提供高质量的物联网服务。

多层次 / 多功能的物联网

面对不同的应用需求，未来的物联网中会存在多层次的需求。基于使用场景、部署方式等方面的不同，物联网终端的成本、传输速率、通信时延、覆盖需求、终端功耗等也将呈现多样化、离散化的特征。物联网也将支持物体识别、传感数据获取、定位信息采集等多方面的功能。

面向不同的需求，5G 时代针对性研发了 NB-IoT、MTC、RedCap 等技术。6G 超大规模 IoT 在设计之初需要针对不同的场景须做好精细的技术统筹，在满足多样化需求的同时协调好技术之间的兼容互通，从而最大化降低标准研发与产品开发成本。

物联网与多技术的融合能力

6G 超大规模 IoT 具备与多种 6G 技术融合的能力。物联网终端借助于其无处不在的感知能力，可天然地与通信感知技术有机融合，增强 6G 网络的感知能力。泛在的物联网链接可实现低成本、超大规模的数据采集，更好使能 6G AI 技术。车载或路侧物联网终端将更好地构建智能 V2X 系统。物联网的低功耗、低成本等技术也将可能应用于 6G MBB 的终端节能中。

因此，6G 超大规模 IoT 的设计须考虑多技术融合的需求。

物联网蓬勃发展，但仍有很多场景下的物联网通信需求无法使用现有技术得到满足，例如：

• 严苛的通信环境

某些物联网场景，可能面临高温、极低温、高湿、高压、高辐射或高速运动等极端环境。如超高压变电站、高速运动的列车车轨监测、高寒地带环境监测、工业产线等。在这些场景中，受限于常规电源的工作环境限制，现有物联网终端将无法工作。另外，极端的工作环境也不利于物联网的维护，如更换电池。

• 极小尺寸的终端形态需求

某些物联网通信场景，如食品溯源、商品流通以及智能可穿戴等要求终端具备极小的尺寸以方便在这些场景下使用。例如，用于流通环节上商品管理的物联网终端通常使用电子标签的形式，以非常小巧的形态嵌入到商品包装。再例如，轻巧的可穿戴设备可以在满足用户需求的同时提升用户使用体验。

• 极低成本物联网通信需求

众多的物联网通信场景要求物联网终端的成本足够低廉，从而提升相对于其他可替代的技术的竞争力。如物流或仓储场景，为了便于管理大量流通的物品，可以将物联网终端附着在每一件物品上，从而通过该终端与物流网络之间的通信完成物流全过程、全周期的精确管理。这些场景要求物联网终端价格具备足够竞争力。

因此，为了覆盖这些未满足的物联网通信需求，6G 超大规模 IoT 需要研发超低成本、极小尺寸、免电池 / 免维护的物联网。

7.1.2 KPI 指标要求

6G 超大规模 IoT 子系统的特色 KPI 包括：

- 需要支持低功耗甚至极低的功耗，如部分场景需要支持毫瓦级甚至微瓦级的通信功耗；
- 需要支持更大的连接；
- 需要支持从短距离覆盖（几十米），中距离覆盖（数百米级别）直至数公里的多样化覆盖需求；

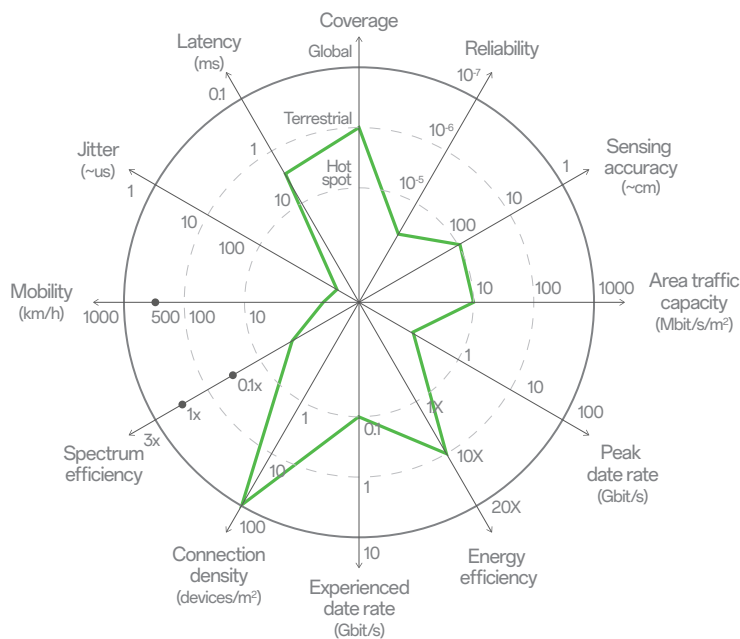


图 7-1: 6G 超大规模 IoT 子系统 KPI 指标

而其他常规 KPI 如峰值速率、通信时延、移动性、频谱效率等方面相对 eMBB 通信而言要求不高。如部分通信场景的峰值速率可低至几十 kbit/s；部分固定部署的场景对移动性没有要求；可以使用专网部署或在移动通信网的业务低谷使用频谱，因此不要求高的频谱效率。

6G 超大规模 IoT 关键技术与系统设计

7.2

6G 超大规模 IoT 子系统可能采用的关键技术包括：

免电池通信技术

如前所述，为支持更多的应用需求，支持免电池通信将是 6G 超大规模 IoT 的重要需求。为此，需要研究免电池通信技术。物联网终端可以从各种环境能量，如光、无线电波、热能、震动能等汲取通信所需要的能量，从而摆脱对传统技术的依赖，这类终端可称之为零功耗物联网终端。

其中，基于无线电波的能量可以从 6G 网络中提供，需要研究如何高效合理的向零功耗物联网终端提供无线电能量。进一步地，也需要研究如何提升终端的能量采集效率与采集灵敏度。

另外一方面，各类环境能量具有如下特点：

- 可提供的环境能功率低，普遍在数微瓦至数毫瓦的区间
- 环境能量不稳定，如晴朗的白天可以获得充足的光照，而晚上或阴天光能不足。

因此，需要研究适应上述特点的免电池通信技术，如超低功耗通信技术、能量管理技术、能量自适应的通信协议。

低功耗 / 超低功耗通信技术

不管是有源的物联网终端应用场景，还是上述免电池免维护的物联网终端。降低终端的功耗甚至达成超低功耗通信可显著提升终端使用寿命、降低使用 / 部署成本、有助于节能环保（考虑未来巨大数量的物联网终端的功耗）。因此，低功耗 / 超低功耗通信将是物联网技术永远不变持续努力的技术追求。当前的物联网终端的工作功耗普遍在几十至数百毫瓦，低功耗 / 超低功耗通信的终端功耗需要降低至 1 毫瓦之下。

可考虑如下方式实现低功耗 / 超低功耗物联网通信：

- 极简的收发信机与极简调制方式

在面向物联网的 MTC、NB-IoT 以及 RedCap 等技术中，虽然终端的能力相对 LTE 终端或 NR 终端有显著的降低，但基本继承了这些传统的调制或编码方式。例如 MTC/NB-IoT 可以支持 BPSK、QPSK 和 16QAM 等调制方式以及 Turbo 码和卷积码，而 RedCap 也可以支持 BPSK、QPSK、16QAM 和 64QAM 以及 LDPC 码和 Polar 码。

然而，这些对于普通的终端常用的调制和编码方式，对于低功耗 / 超低功耗通信终端而言却是极大的挑战。低功耗 / 超低功耗通信具有极简的射频和基带结构，同时低功耗 / 超低功耗通信终端需要以超低功耗的方式进行数据传输。因此，对于低功耗 / 超低功耗通信终端可使用的信号调制和编码方式均会带来较强约束与限制。具体而言，极简的射频和基带结构使得终端难以同时实现相位和幅度调制和解调制，因此 QPSK、QAM 调制难以支持。而尽管具备出色的信号编译码性能，Turbo、LDPC、Polar 以及 Convolutional 等前向纠错信道编码方式对于追求极低复杂度和极低功耗的低功耗 / 超低功耗通信终端，也难以支持。

一些低功耗技术如开关调制技术、反向散射技术（如图 7-2）可有机结合起来，使得终端以极其简单的硬件结构实现 ASK、FSK 或 PSK 等调制方式，从而实现反向散射的方式的数据传输。使用开关调制技术，低功耗 / 超低功耗通信终端在硬件上仅需要具备调整其电路阻抗、电容或相位延迟的能力，即可实现信号的调制与反向散射传输。另一方面，简单的 ASK、FSK 或 PSK 等信号也使得信号解调制也可以通过简易的硬件结构即可实现，例如可以通过一个比较器即可实现对 ASK 信号的解调制，在规避了复杂的基带信号处理的同时，也极大地降低了终端功耗。

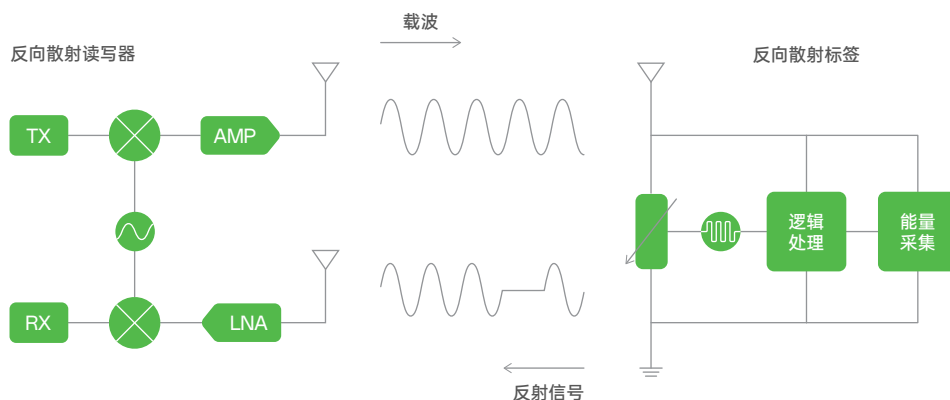


图 7-2 反向散射通信原理图

- 极致节能机制

针对低功耗 / 超低功耗通信，可在现有的节能机制如 DRX、eDRX、WUS、间歇性控制信道监听等方案的基础上，进一步设计更极致的节能机制，例如基于业务需求按需触发通信需求，其余时间终端处于深睡眠状态。

同时，也要设计合理的能量管理机制，针对微弱的采集能量进行精确的管理，最大化提升能量的使用效能，提升能量的使用效率。

可灵活裁剪的协议架构

针对低功耗 / 超低功耗通信，除了需支持极简的物理层技术，也需要支持灵活可裁剪的协议架构，针对不同的使用需求而灵活裁剪。而对于要求极低功耗的环境，可使用轻量化协议架构。

设计轻量化协议架构可能的思路包括：支持免连接的通信，大幅简化接入过程，节省连接建立所需的信令开销与协议层需求。大幅压缩协议的层级，仅保留支持小数据包的必要的控制信令与数据面头开销。

丰富的通信安全套件集

针对 6G 超大规模 IoT，需要保证用户的隐私与通信安全。面对不同的应用场景以及对应的不同的安全需求，需设计丰富可选的通信安全套件集合，以适应不同终端能力等级的不同需求。

低功耗、超低功耗设备能支持的计算、存储和传输资源都相对传统终端非常有限，传统的安全机制受到资源限制的挑战，需要研究如何在资源受限的条件下仍然为用户提供可信的接入与安全的传输。

面向 6G 万物互融的海量链接与设备，高效的分布式认证授权需要在当前集中式的信任机制上进行重新设计，以保证可信的身份、灵活的授权及分布式认证。区块链是较好的技术选择，但需要从基础设施的建设和生态的成熟等方面考虑以支持多场景、多业务、多用户的可信安全机制。

对于低功耗、超低功耗设备，可信的身份管理、可靠的安全传输是保证业务、网络、用户权益的必要条件，需要在传统的安全机制基础上，结合设备成本低特点进行优化传输安全机制，考虑数据传输的分层分级保护机制，研究物理层、传输层结合的增强安全方案。

支持超低功耗定位

很多 IoT 场景提出明确的定位需求。6G 超大规模 IoT 需要支持定位功能，尤其是对于低功耗、超低功耗设备也需要一定的定位功能，如生产线的产品精确管理、实现室内低成本定位（如商场导航、停车场导航，如下图 7-3 所示）以及物流等。这类应用中，终端设备将具备极低的复杂度，且可能使用环境能量驱动自身工作而因此仅支持极低的工作功耗（如小于 1 毫瓦），需要研究对于这类简单设备如何达到一定的定位精度（如米级别或亚米级别）。



图 7-3 室内定位场景示例

8.0 6G 空天通信 子系统

- 6G 空天通信 KPI 指标要求
- 6G 空天通信关键技术与系统设计

6G 空天通信 KPI 指标要求

6G 空天通信子系统 KPI 指标要求如下图。6G 空天通信的业务类型虽然和 eMBB 业务类似，但由于其传输环境的限制，空天通信并不追求很高的数据率，主要强调业务的覆盖能力。

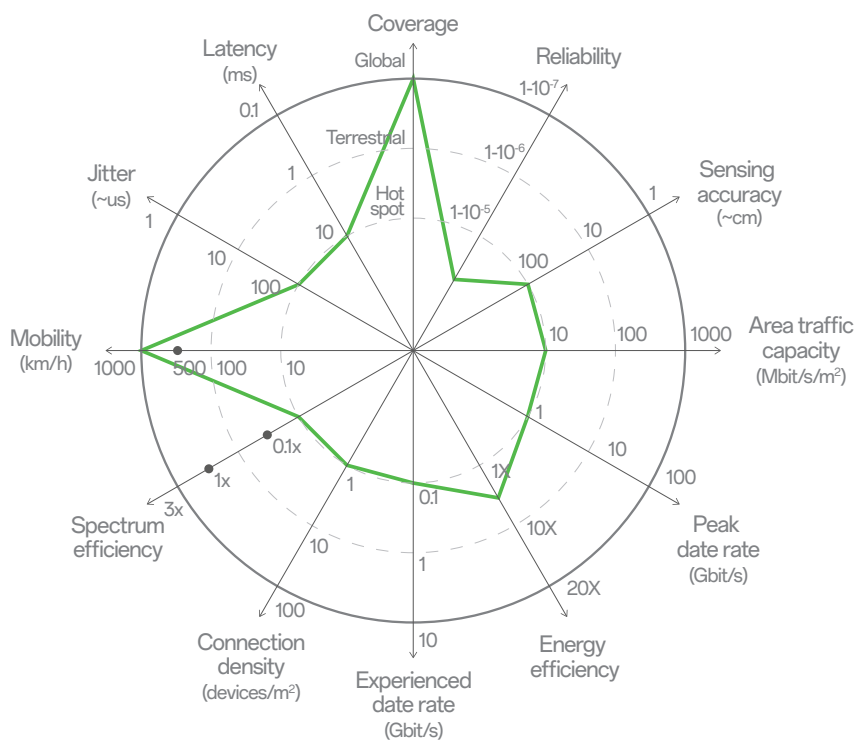


图 8-1: 6G 空天通信子系统 KPI 指标

对于新一代通信技术的推广，一个很大的挑战是运营商需要花费大量的成本布署网络来达到广覆盖，因为对于很多国家地区而言至今无法达到全覆盖。在国内，即使在 4G 和 5G 系统基本实现全国覆盖的情况下，在某些特定区域仍然无法提供通信覆盖，例如海洋，高山。这里的覆盖限制主要归因于时间，成本，或者地理环境限制。未来 6G 系统需要打破这些限制，真正的实现全覆盖。随着航天运输的成本逐渐降低，空天通信可以更有效的打破地理限制，为真正全覆盖提供有效的技术。

5G NR NTN 系统虽然提供了一个最基础的终端与卫星通信的框架，然而并没有对终端功耗做进一步优化。例如 5G NTN 终端需要频繁的通过终端 GPS 系统来调整上行同步。这使得 NTN 终端相比传统的蜂窝终端需要消耗更大的能耗，因此为了进一步提升移动终端的节能效果，对于 6G 终端的能耗问题需要进一步做优化。除此之外对于高速场景的支持也是 6G 空天通信的重要目标，如何在提高覆盖的情况下进一步的提升传输速率也是一个对于 6G 空天通信的挑战。

在 5G NR NTN 系统中，由于延用了 NR 的 OFDM 波形以及 OFDMA 多址接入技术，使得 NTN 对于多用户的上行同步较为敏感。传统的以基站控制为主导、利用 MAC-CE 调整上行同步的方法已经不能满足上行同步的要求。取而代之的是需要终端根据网络提供的卫星星历信息自主调整和维护上行同步。这样使得终端的功耗大幅上升。6G 空天通信系统可以考虑和地面系统的波形解绑，设计一个更符合卫星通信的波形，例如单载波波形，从而使得系统对于上行同步的要求可以大幅降低，这样终端可以节省用于同步维护的功耗。

另外，由于卫星的覆盖面积广大，为了保证良好的链路预算，卫星侧通常利用波束赋形的方式发送和接收信号。然而 5G NR NTN 系统并没有对于卫星波束管理做进一步优化，这样导致的问题是当用户数增加，或者当小区内的卫星波束数量增加后，卫星波束间切换的信令开销会大幅增加从而减少了频谱效率。对于 6G 空天通信系统，针对卫星波束的高效波束管理机制将是一个必要的研究方向。

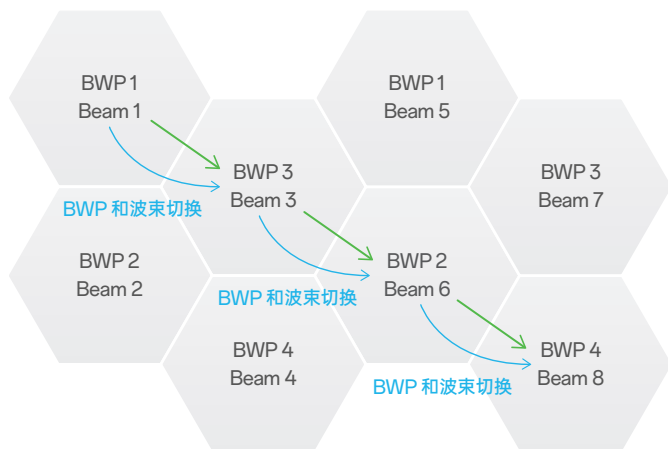


图 8-2: 6G 空天通信的波束管理

除此之外，卫星和地面网络的双链接将在很大的程度上增加用户体验。试想一下，当卫星的广覆盖特性提供用户的基本覆盖连接，而地面网络可以额外提供用户高速率用户体验，这样既可以保证高速率业务需求同时也可以大幅减少用户由于移动性导致的频繁小区切换。目前 5G 仅支持地面网络的双链接，6G 需要进一步研究空天通信的双链接功能。

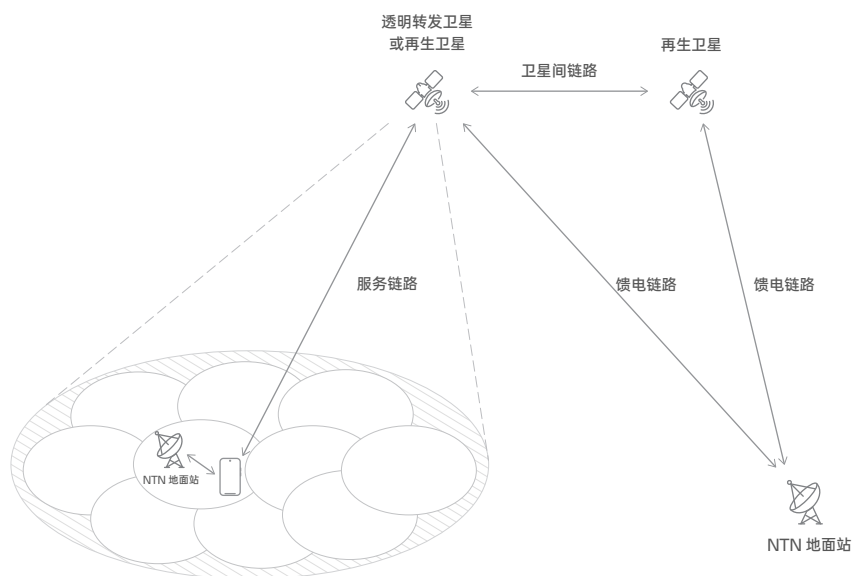


图 8-3: 6G 卫星和地面网络的双链接

另一方面，对于卫星网络本身的大速率传输在 5G 时代也受到一定的限制。主要的原因是 5G NR NTN 以透明转发为基础，这样由于终端到卫星和卫星到地面站的叠加传输延迟导致无法支持大速率传输业务，而支持这类业务必不可少的需要考虑基站上星的场景。因此再生转发的架构需要在 6G 系统中被重点考虑，这里不可避免的需要进一步研究星间传输所导致的问题，因此再生转发也将成为 6G 空天系统下的一个重要课题。

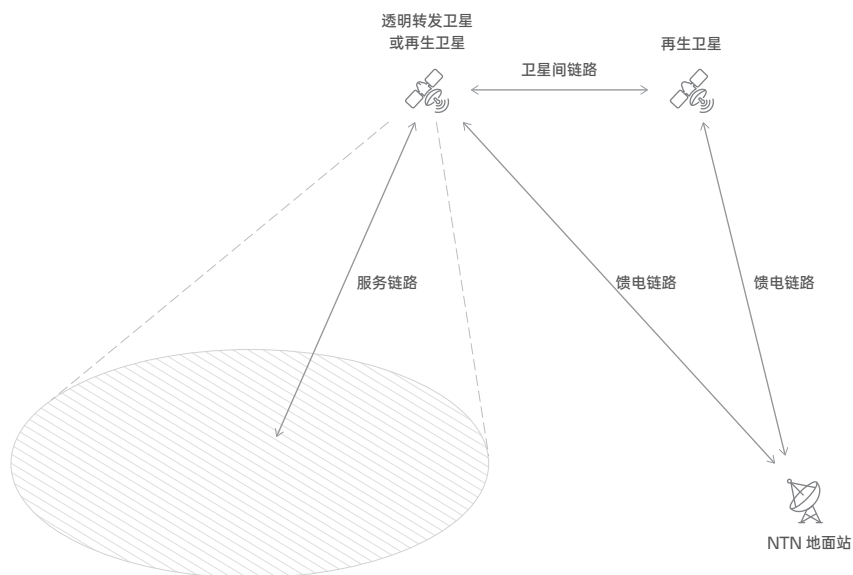


图 8-4: 6G 卫星系统的再生转发

最后，基于侧行链路（sidelink）的点对点直连通信技术可以在空天系统的框架下进一步扩展。目前侧行链路通信的传输机制有覆盖内（in coverage）和覆盖外（out of coverage）两种。后者即当侧行链路通信用户不在网络覆盖范围内时，侧行链路通信的传输将回退到一种避免碰撞的先听后传模式，这种模式传输延迟长，终端功耗开销大，传输效率相对低。如果可以结合空天通信系统在卫星的覆盖下完成侧行链路通信传输，将大大缓解上述的问题。

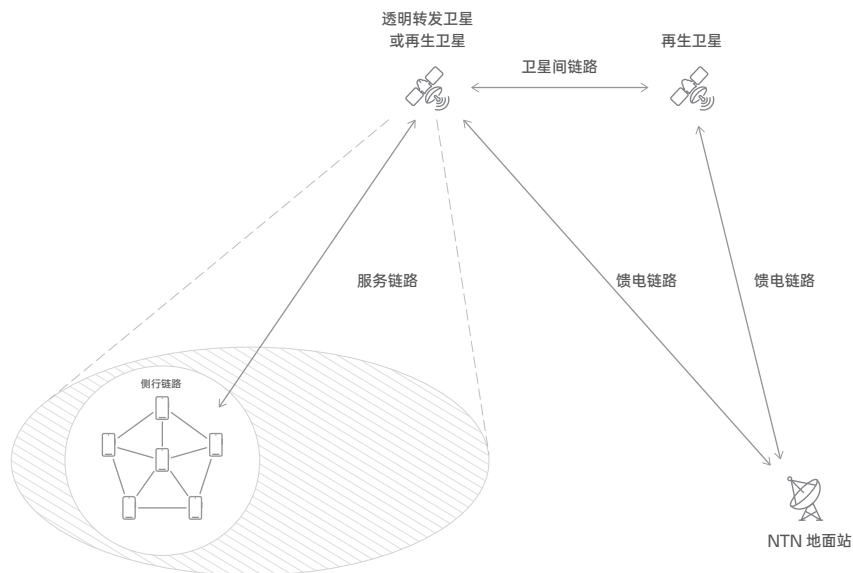


图 8-5: 采用 6G 卫星网络增强 sidelink 用户的覆盖

9.0 总结

本白皮书 的核心观点 如下：

- 移动通信实际上并不是通过一代技术实现一次产业升级，而是每两代技术实现一个大的产业升级目标。
- 6G 的历史使命，是基于 5G 的经验教训，彻底实现“成为普惠智能与元宇宙的基础设施”这一产业升级目标。
- 在 IMT-2030 (6G) 发展框架提出的六大应用场景中，AI 与通信一体化 (AI and communication) 可望推动移动 AI 计算的普及，通过 AI 算力网络和算力终端实现普惠智能 (inclusive intelligence)，激活第一个新的“十亿用户级”市场；其他五大场景可望推动构建一个移动的虚拟数字环境，通过实现消费元宇宙和工业元宇宙，实现虚实两个世界的互通互融，激活另一个新的“十亿用户级”市场。
- 这两个“十亿用户级”市场是相互赋能、相互促进的：移动 AI 计算可以看作移动元宇宙的大脑，移动元宇宙可以看作移动 AI 计算的躯体。
- 移动 AI 计算架构具有如下优点：用户自主可控的 AI 计算，用户自主可控的智能演进，保护个人数据隐私安全。6G 的“AI 与通信一体化”应用场景，可以有效的实现分割式 AI/ML 推理与训练，从而使 6G 成为移动 AI 计算这个“十亿用户级”新兴市场的核心基础设施，在推动普惠智能的同时，实现通信产业的第三次升级和市场回报。
- 在 6G 时代，如果人类将通过 AI 智能体对信息化世界进行控制与管理，则需要构建一个更完整、与物理世界对应性更好的虚拟世界，通过在虚拟世界的孪生镜像控制海量机和物的镜像，进而控制物理世界的机和物。而构建元宇宙，是实现这个虚拟世界的一个可行方法。6G 的其他 5 个应用场景，分别可以实现“感知物理世界，构建虚拟世界”、“从虚拟世界控制物理世界”、“向用户展示虚实两个世界”这构建元宇宙的三大步骤，同时提供“大规模通信”、“泛在连接”这两个基础能力，从而使 6G 成为移动元宇宙这个“十亿用户级”新兴市场的核心基础设施。
- 移动 AI 作为 6G 第一个“十亿用户级”市场，在 6G 系统设计上带来一个挑战：如何在网络和终端实现一套可同时满足 6G 通信和 AI 计算的高效且成本可控的软硬件设计？
- “AI 化” (AI-zation) 是一条可行之路。就目前来看，快速 AI 化是实现 6G 移动 AI 的更合理的路线。同时，AI 的工作机制也客观上提供了将 6G 系统快速 AI 化的可能。
- 移动元宇宙作为 6G 另一个“十亿用户级”市场，对 6G 系统设计也会带来挑战：如何以一个成本可控的 6G 系统在 5 个需求迥异的应用场景的每个场景都具有市场竞争力？
- 在如何设计这个“多能系统”的问题上，5G 既有经验也有教训。5G 仍然基于“单一功能系统”的系统设计原则，面向一套“刚性管道指标” (即高速率 + 低时延高可靠)，在技术上追求一体化设计，尝试通过“多参数集 + 网络切片”兼顾千行百业的细分业务需求。但由于 5G 各垂直技术均以 eMBB 作为基线 (baseline) 和缺省设计，限制了技术创新空间，无法针对目标垂直领域做彻底优化，在很多垂直领域并未实现比较优势和可控成本。
- 6G 要实现物理世界和虚拟世界的“互通互融”，真正实现“系统多能化”，进一步扩展到通感一体、泛在连接等应用场景，以可控的成本实现在各个维度上几倍的性能提升，有效支持“移动元宇宙”的实现，必须要采用新的设计思路。6G 极简多能系统的设计主要包含如下要素：
 - 由一个最小化的极简核心提供内生智能、安全、灵活频谱管理、最小处理核等共性能力；
 - 针对四个不同能力方向做专门优化，包括：沉浸式通信与 AI (高数据率优化)、大规模通信与泛在连接 (覆盖、功耗、成本优化)、HRLLC (低时延、高可靠优化)、感知 (感知精度优化)。

——在每个能力方向上设计一到两个子系统，可以根据应用场景、频谱、接口类型等独立选择关键技术，分别进行硬件系统设计。如可分为：宽带蜂窝、宽带 D2D、蜂窝 HRRLLC、D2D HRRLLC、空天通信、大规模 IoT、定位与感知等子系统。

——各子系统根据各自的应用场景、频谱、拓扑结构，相对独立的进行关键技术选择，按需确定多大程度与宽带蜂窝子系统共用空口技术与硬件设计。

——不同子系统可以按照不同的市场规律，采用不同的标准演进周期，不一定均采用 15-18 个月一个标准版本。也可以在相对独立的规范中进行标准化，使 6G 规范对垂直用户更加友好。

——6G 系统通过在极简核心中的“最小处理核”与各子系统的“完整处理核”之间快速切换，实现灵活、低成本、低功耗的支持多个子系统。

- 对于需要支持多种应用场景的 6G 系统，可以通过“子系统聚合”来实现多个子系统的功能。
- AI 技术将是 6G 网络的重要组成部分，不同于控制面对应的灵活性维度和用户面对应的性能维度，AI 技术对应的智能维度将成为 6G 网络的一个新维度。
- 由子系统集构成的 6G 系统的一个核心问题，是如何能按需配置网络资源，真正为各个垂直行业部署“能力够用、成本可控”的 6G 子系统。由于千行百业的需求千变万化，这种按需组网难以靠人工方式实现，应该通过 AI 训练，采用智能化方式实现。
- 智能化替代即将相当一部分传统协议、传统算法替换为“黑箱化”的 AI 协议和 AI 算法。各种 AI 应用例 (use case) 的标准化影响基本都是类似的，无非是要定义 AI 的生命周期管理 (Life Cycle Management, LCM)，包括 AI 数据采集、AI 模型的训练、部署、管理、传输、激活、选择、切换、配置及推理等。
- 对于 6G 安全架构来说，发生的关键变化体现为以下两点：安全信任模型由双向信任变为多方信任，需要建立多方信任模型与内生安全；安全保护的业数据由单一变为多元，需要建立多元的业数据与智能安全。
- 6G 灵活频谱分配的核心，是借助区块链技术来实现频谱的灵活共享。
- 在 6G 极简多能系统里，可以用“大小核”操作来实现从极简核心到子系统的切换：
 - 不同的子系统有不同的“完整处理核”，各个子系统的设备在“全功能状态”时，工作于“完整处理核”；
 - 子系统的设备在“低功能状态”时，回落到“最小处理核”。最小处理核支持初始接入、最小控制信令、基本数据类型、测量等最基本的功能，具有全覆盖、基本数据率、基本移动性等基础性能；
 - “最小处理核”和“完整处理核”之间可以实现快速切换。
- 在当前针对 6G 系统的空口 AI 化演进的过程中，有必要对研究的路线、所受的限制条件、基础问题，以及期待的突破与改变做出较为客观和明确的判断，并相应构建短、中、长期演进规划，以在不同层面和维度上获得理论与工程上的增益与突破。6G 空口的 AI 化替代包括基于 AI 的系统赋能和基于 AI 的系统重构两个层面。
- 6G 空口 AI 化的研究将不只在已成型的具无线用例上做修补优化型演进，而是从系统重构的角度出发，开展无线 AI 共性基础问题的深度剖析，包括：
 - 一体化、系统化研究；
 - 大后台、小前端的设计；
 - 场景自适应、可在线更新需求；
 - 数据智能建模与虚拟重构。

- 随着 6G 系统中可用频段越来越高，通过基站实现无缝覆盖变得越来越困难，利用 D2D 技术实现终端到终端之间的直接通信会成为 6G 系统中越来越重要的通信方式。另外，D2D 技术可以和其他技术相结合，如基于侧行链路的定位技术、感知技术、大规模 IoT 技术、人工智能等，因此，D2D 技术将成为 6G 系统中最重要的技术之一。

- 6G URLLC 子系统可引入 AI 技术辅助实现如下功能：

- 数据到达预测：基站通过预测数据到达时间及数据量，进行预先调度。终端基于预测结果，实现完全的无调度传输或自主传输；

- 调度、重传预测：终端基于预测结果提前进行数据准备，从而降低数据准备时延。基站或终端基于预测结果直接进行数据重传，而不需要等待反馈信息；

- 冲突预测：避免用户间或用户内的资源冲突。

- UCI（上行控制信令）增强：基于 AI 算法对 UCI 信息进行压缩，降低反馈信息量。

- 由于 6G 感知子系统应首先保证在感知性能方面的市场竞争力，不可能要求其具有和 6G 宽带蜂窝子系统、6G URLLC 子系统相同的通信性能，在数据率、频谱效率、系统容量等各方面的要求应该适当放松，给感知性能的优化留出设计空间。

- 根据具体应用场景不同，6G 感知子系统可考虑支持两种模式：通信感知融合模式需要研究硬件融合、信号融合、信号处理、协同感知、终端感知、网络架构与组网等技术；独立感知模式。

- 6G 超大规模 IoT 的特色 KPI 包括：支持低功耗甚至极低的功耗，如部分场景需要支持毫瓦级甚至微瓦级的通信功耗；支持更大的连接；支持从短距离覆盖（几十米），中距离覆盖（数百米级别）直至数公里的多样化覆盖需求。

- 6G 超大规模 IoT 子系统可能采用的关键技术包括：免电池通信；低功耗 / 超低功耗通信；可灵活裁剪的协议架构；丰富的通信安全套件集；支持超低功耗定位。

- 6G 空天通信子系统应研究如下关键技术：终端的能耗优化、传输速率提升、和地面系统适度解绑的波形设计、高效卫星波束管理、空天通信的双链接、再生转发、卫星覆盖下的侧行链路通信等。

最后，由于在 6G 系统中，D2D 将发挥比 5G 系统中更重要的作用，因此应考虑从 6G 第一版本就支持 D2D 模式，至少支持宽带 D2D 子系统和定位感知子系统 D2D 感知技术。

参考文献

- [1] Pouyanfar S, Sadiq S, Yan Y, et al. A survey on deep learning: Algorithms, techniques, and applications[J]. ACM Computing Surveys (CSUR), 2018, 51(5): 1-36.
- [2] Chen M, Challita U, Saad W, et al. Artificial neural networks-based machine learning for wireless networks: A tutorial[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2019, 21(4): 3039-3071.
- [3] OPPO Research Institute. 6G White Paper: 6G AI-Cube Intelligent Networking [R/OL]. (2021-07-14)[2022-08-15] <https://www.computer.org/publications/tech-news/trends/oppo-6g-white-paper>
- [4] 6GANA TG2 《6G 内生 AI 网络架构 10 问白皮书》
- [5] 3GPP TS 33.501
- [6] The Definition Of Modern Zero Trust, Forrester Test
- [7] 3GPP TR 22.832 “Study on enhancements for cyber-physical control applications in vertical domains”

oppo