关键技术分享

——集团技术专家

·关键技术分享之第五代移动通信技术

5G概念

移动通讯自 20 世纪 80 年代诞生以来，经过了三十多年的爆发式增长，已经成为连接人类社会的基础信息网络。随着 4G 进入规模商用阶段，面向 2020 年及未来的第五代移动通信已成为全球研发的热点。

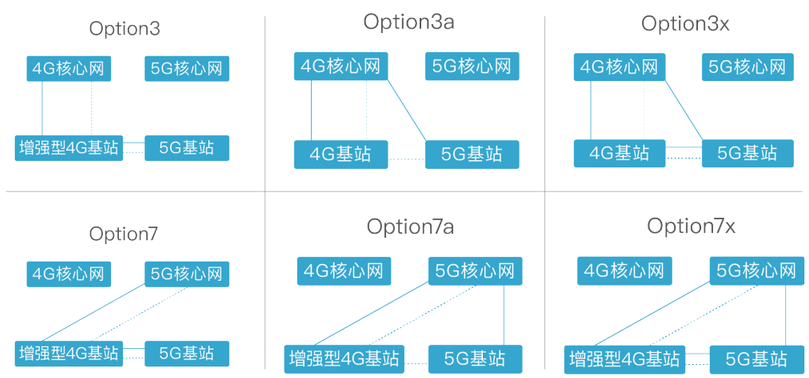
第五代移动通信技术（5th generation mobile networks，简称 5G 或 5G 技术）是最新一代蜂窝移动通信技术，也是继 4G（LTE-A、WiMax）、3G（UMTS、LTE）和 2G（GSM）系统之后的延伸。5G 的性能目标是高数据速率、减少延迟、节省能源、降低成本、提高系统容量和大规模设备连接。

5G的网络架构

5G 的三大应用场景主要是 eMBB(增强型移动带宽)、uRLLC(高可靠低延时通信)、mMTC(海量通信)。5G 弥补了 4G 的不足，在连接速度、系统容量、连接数量、网络延时等方面有了大幅度提升，是一个真正意义上的融合网络。根据 3GPP 的规划，5G 有两种组网模式：SA(Standalone，独立组网) 和 NSA(Non-Standalone，非独立组网)。独立与非独立在于是否利用 4G 基础设施进行部署。SA 组网模式需要新建全套 5G 基础设施，而 NSA 组网会使用部分 4G 基础设施。

NSA 组网目前主要流行的是 Option3 和 Option7 两种方案。Option3 和 Option7 都是以 4G 基站 eNodeB 作为控制面锚点，即 eNodeB 传输 UE 和核心网间的控制信令。而在 NSA 模式下，5G 基站 gNB 不传输 UE 和核心网间的控制信令（4G 基站和 5G 基站都需要传输用户面数据）。两种方案的区别在于：Option3 基于 4G EPC（Evolved Packet Core，分组核心网）部署，而 Option7 基于 5GC（5G Core，5G 核心网）部署。在 5G 核心网没有部署的情况下，通常 NSA 指的是 Option3X。

SA 的终极目标则是 Option2， 5G 基站（gNB）和 5G 核心网（5GC）支持 eMBB、mMTC、uRLLC 场景，便于拓展垂直行业。网络简单，但全新建网周期长。如下图分别是 Option3、Option7 和 Option2 的网络架构图。



△NSA网络架构图之一

△SA网络架构图之一

5G关键技术

5G 通信性能的提升不是单靠一种技术，而是需要多种技术相互配合共同实现。关键技术大致分为无线传输技术和网络技术两类。

□无线传输技术

·大规模 MIMO 技术：基站使用大规模天线，波束窄，指向性传输，高增益，抗干扰，提高频谱效率；

·非正交多址技术：NOMA、MUSA、PDMA、SCMA 等非正交多址技术，进一步提升系统容量。支持上行非调度传输，减少空口时延，适应低时延要求；

·全双工通信技术：是一项通过多重干扰消除实现信息同时同频双向传输的物理层技术，有望成倍提升无线网络容量；

·新型调制技术：滤波器组正交频分复用，支持灵活的参数配置，根据需要配置不同的载波间隔，适应不同传输场景；

·新型编码技术：LDPC 编码和 polar 码，纠错性能高；

·高阶调制技术：1024QAM 调制，提升频谱效率。

□网络技术

·网络切片技术：基于 NFV 和 SDN 技术，网络资源虚拟化，对不同用户不同业务打包提供资源，优化端到端服务体验，具备更好的安全隔离特性；

·边缘计算技术：在网络边缘提供电信级的运算和存储资源，业务处理本地化，降低回传链路符合，减小业务传输时延；

·面向服务的网络体系架构：5G 的核心网采用面向服务的架构构建，资源粒度更小，更适合虚拟化。同时，基于服务的接口定义，更加开放，易于融合更多的业务。

5G模组高频信号射频前端设计的技术难点分享

相对于之前的 4G，5G 给射频前端挑战是多方面的，首先体现在带宽上面。

众所周知，受限于 LTE 本身的特性，LTE 带宽最高只有 20M，但到了 5G，带宽可以达到 100M，到了毫米波更是能达到 400M 的带宽。也就是说单个信道甚至需要支持 400 兆的带宽。从射频前端的角度来说，这个难度对 5G 模组的设计相当大。在频率上，5G 频段分为 sub-6G 和毫米波，频率范围为 FR1(450MHz-60000MHz) 和 FR2(24250MHz-52600MHz)。在 450MHz-3GMHz 频段之间是比较容易，但从 3GHz-6GHz 和 24GHz-52GHz 频段的设计上就非常难了。在该频段设计过程中，经常会遇到一个很困扰的问题，就是在该频段会出现很大的路损，其产生的根本原因主要有以下几点：一个是过孔，一个是阻抗的不连续性，还有一个是馈线和接口的频率范围。

1.在高速、高密度的设计时，设计者总是希望过孔越小越好，这样板上可以留有更多的布线空间。此外，过孔越小，其自身的寄生电容也越小，更适合用于高速电路。过孔在传输线上表现为阻抗不连续的断点，会造成信号的反射，并且过孔产生的问题更多的集中于寄生电容和电感的影响。过孔的寄生电容会给电路造成信号的上升时间延长，电路速度降低等问题。过孔的寄生电感带来的危害往往大于寄生电容的影响。它的寄生串联电感会削弱旁路电容的贡献，减弱整个电源系统的滤波效用。

2.单个过孔虽然也会导致阻抗的断点产生，导致不连续，但导致阻抗不连续性更严重的则是叠层和匹配电路。由于设计过程中，如果过孔比较小，参考叠层的选取导致微带线过细，而在模组内部微带线经匹配电路的焊盘变大后，又经过匹配电路变细，在低频信号设计过程中，影响微小，但在高频信号中，会直接导致阻抗的不连续性产生，并且频率越高，路损越大。因此设计过程中，要确保孔径、微带线、匹配电路焊盘与参考的连续性，并且避免过孔过大而带来的寄生电容和电感的影响。

3. 往往模组设计好后，在实际测试过程中，也会遇到路损很大，另一个原因是馈线和接口端子的问题。市面上选择的往往都是普通的馈线和接口端子，一般都是 3GHz 以下的馈线和接口端子，所以在 5G 的设计过程中，需要将馈线和接口端子都要换成 6GHz 以上，如果涉及到毫米波，需要适配毫米波频段的馈线和接口端子。

·关键技术分享之 Wi-SUN

Wi-SUN的起源

Wi-SUN（Wireless Utility Networks），即智能无线网络，是一系列基于 IEEE 802.15.4 为底层协议的标准无线通信网络的统称，主要包括 Wi-SUN FAN（Wireless Utility Field Area Network）和 Wi-SUN HAN（Wireless Home Area Network）。

2008 年以前，业界中还没有统一的广域物联网无线通信标准，而当时行业中却存在各式各样的广域物联网通信协议，这些协议的相同之处是使用 IEEE 发布的技术标准 802.15.4，但在应用层却无法实现互联互通。为了解决这个复杂的问题，基于 IP 技术的大规模广域无线网状网络应运而生，简称 Wi-SUN FAN。该标准致力于成为全球的无线网状网络标准并具备互操作性。伴随着标准的落地，负责标准建立及应用推广的组织，Wi-SUN 联盟，承担着对标准的维护和互操作性的承认工作。对于 IEEE 802.15.4 规范，Wi-SUN 联盟以及终端产品的关系，可以对比 Wi-Fi 进行深刻理解。

△Wi-SUN和Wi-Fi对比

IEEE 802.15.4：Wi-SUN 的基础规范，应用于 Wi-SUN 标准的底层协议 PHY 和 MAC 中；

Wi-SUN 联盟：建立及维护 Wi-SUN 标准，负责标准的推广和应用逻辑，以及对嵌入 Wi-SUN 协议的产品之间互操作性进行承认；

终端设备：嵌入 Wi-SUN 协议的终端设备，设备之间可实现数据的互通。

Wi-SUN标准简介

Wi-SUN 标准主要包含两个子规范，分别是 FAN 和 HAN，其中技术区别及应用场景分别如下：

FAN：

1.支持IEEE 802.15.4g的PHY层、IEEE 802.15.4e的MAC层、6LoWPAN、RPL和IPv6等标准协议；

2.支持数据在节点之间多跳传输；

3.支持多信道的跳频传输；

4.支持AES加密和基于802.1x的身份验证；

5.主要应用在需要多跳传输的智能表计、智慧路灯等密集的城市网络。

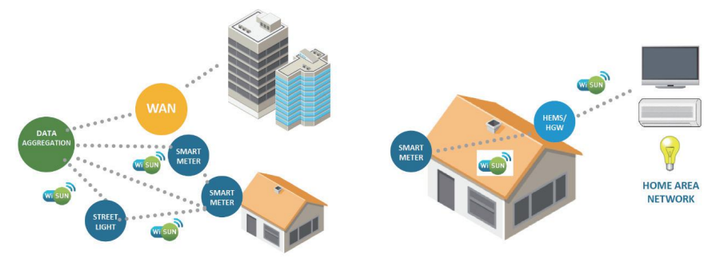
HAN：

1.支持IEEE 802.15.4g的PHY层、IEEEE 802.15.4e的MAC层、6LoWPAN和IPv6等标准协议；

2.节点之间进行一对一或一对多的数据传输；

3.支持AES加密和基于802.1x的身份验证；

4.主要应用在家庭应用场景，利用中心节点和家庭中各种设备进行一对一或一对多通信。

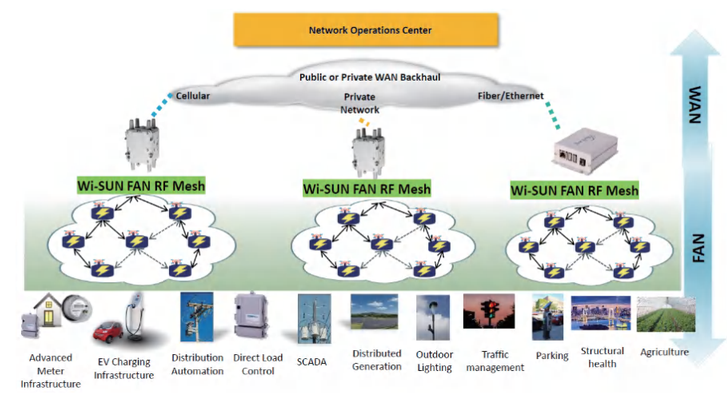


△FAN和HAN应用场景案例

Wi-SUN FAN典型架构

□应用架构

Wi-SUN FAN 的典型应用架构如下图所示。其中 FAN 层为嵌入 Wi-SUN FAN Stack 的智能设备以及各 PAN 网络的路由示意图。WAN 层为不同 PAN 网络的边缘路由节点通过不同通信方式接入到公共网络。



△Wi-SUN FAN的典型应用架构

□FAN Stack架构

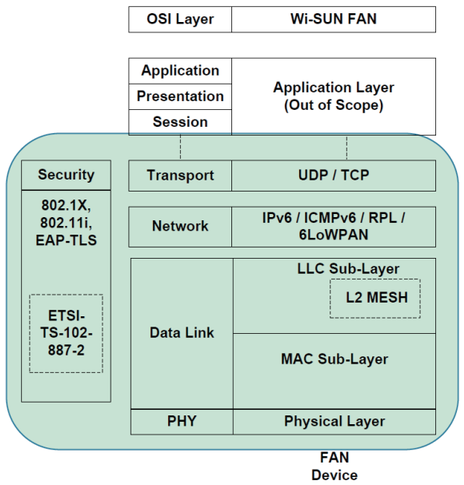
Wi-SUN FAN 的协议层级如右图所示。对比 OSI 模型分析，图中绿色背景的 Transport、Network、Data link 和 PHY 为 Wi-SUN FAN 标准所定义。

PHY: 采用 IEEE 802.15.4g 规范作为物理层标准，该规范是为低功耗、低速率的应用而设计的标准无线通信技术，规定了数据通过无线介质传输的方式，定义了无线电的调制方式、工作频段、通信速率、协议数据单元等参数。

Data Link： 由 MAC Sub-Layer 和 LLC Sub-Layer 两个子层组成，其中 MAC 层采用 IEEE 802.15.4e 规范作为介质访问标准，由于无线信号被 Transmitter 和 Receiver 共用，该标准提供了一种机制，来完成时分多址的数据传输功能以及信道访问管理功能。LLC 层作为逻辑链路控制层在 IEEE 802.2 规范中定义，主要完成数据的可靠性传输及控制、数据包的分段及重组以及数据包的顺序传输。

Network: 由 IPv6、ICMPv6、RPL、6LoWPAN 各子协议组成。6LoWPAN 的全称是 IPv6 over Low Power Wireless Personal Area Network，主要作用是作为 IPv6 和 IEEE 802.15.4 的适配层，将 IPv6 的数据首部通过协议压缩分组后添加到 IEEE 802.15.4 的载荷中，实现在低功耗无线广域网中使用 IPv6 技术完成万物互联。RPL 的全称是 IPv6 Routing Protocol for Low Power and Lossy Networks，主要完成有损链路互联设备的数据传输路由机制。

Transport： 在 IP 协议中，传输协议位于 IP 协议之上。应用协议不直接使用 IP，而是通过传输协议进行相互通信。目前为止，UDP 和 TPC 为两种最为广泛应用的传输协议。



△Wi-SUN FAN的协议层级

基于IP技术的优势

□互通性强

该特型是 IP 架构的一个突出点。运行在不同特性的链路层之上的 IP 架构，可以实现互相通信，同时 IP 也能提供与现有网络及应用进行互通的能力。

□架构通用、稳定

IP 架构的成功已经被证明是可持续发展的，主要归因于 IP 架构是为应用层协议和机制能够独立于底层网络协议和机制发展而设计的，从而实现端到端的基本原则。对于工业场景下的智能设备，对设备及网络的稳定性和可靠性要求极高，而 IP 架构的多年应用也足以保证系统的稳定性。

□可扩展性高

通过 IP 架构在因特网上的广泛使用，证明 IP 架构很注重扩展性。通过全球化的部署表明 IP 架构可以部署在大量的系统中，并跨越不同底层协议而正常运行。

助力Wi-SUN，技术赋能

基于 Wi-SUN 的技术标准，我们设计并开发出多款符合该标准的产品。

作为架构在硬件平台之上的第一层协议，产品的性能参数是 PHY 协议的直接体现。研发完成的首款产品支持 902-928MHz 的工作频段，符合 FCC 标准中高达 1W 的输出功率，同步在接收链路中增加 LNA，进一步提升 RX 的性能，使通信链路相对现有的微功率无线产品增加约 15dB，很大程度降低网络层路由机制的复杂程度。产品的分布式电源设计及优异的热设计保证了产品的稳定性。近期正在开发符合国内标准的衍生系列产品。

对于架构在传输层之上的应用协议，在 Wi-SUN 中并未定义，这部分需要各开发者根据实际应用完成对应的开发工作。目前我们已经完成基于 Wi-SUN 协议栈的多种应用协议开发，包含透明传输和 SLIP 协议传输等，同期在进行符合国家电网标准的 645 协议和 1376 协议开发工作。

Wi-SUN 是一套基于 IP 技术的标准 LPWAN 网络协议，其利用全球标准 IEEE 802.15.4g 规范为基础，统一物理层、链路层、网络层及传输层的技术规范，同时在产品测试和规范一致性认证方面做到统一和管理，最终可以确保经过认证产品之间的互通性。因此在嵌入 Wi-SUN 协议的所有物联网终端，如 AMI 中的智能电表和智慧城市中的智能路灯等终端设备，除了可以实现无线通信的功能，降低产业运维投入，还能实现将这些终端设备连接到一个公共网络上。相较于互联网通信中的 Wi-Fi 技术，实现物联网通信中的 Wi-SUN 技术，具备物联网终端设备的通信网络互操作性。