

Sub-3GHz FDD Gigaband

技术白皮书





版权所有 © 华为技术有限公司 2022。保留一切权利。

非经本公司书面许可，任何单位和个人不得擅自摘抄、复制本文档内容的部分或全部，并不得以任何形式传播。

商标声明



HUAWEI和其他华为商标均为华为技术有限公司的商标。

本文档提及的其他所有商标或注册商标，由各自的所有人拥有。

注意

您购买的产品、服务或特性等应受华为公司商业合同和条款的约束，本文档中描述的全部或部分产品、服务或特性可能不在您的购买或使用范围之内。除非合同另有约定，华为公司对本文档内容不做任何明示或暗示的声明或保证。

由于产品版本升级或其他原因，本文档内容会不定期进行更新。除非另有约定，本文档仅作为使用指导，本文档中的所有陈述、信息和建议不构成任何明示或暗示的担保。

华为技术有限公司

地址： 深圳市龙岗区坂田华为总部办公楼 邮编：518129

网址： <https://www.huawei.com>

客户服务邮箱： support@huawei.com

客户服务电话： 4008302118



目录

1 背景	4
2 目标	4
3 Gigaband 技术驱动力	5
3.1 运营商 FDD 频谱存量频段多，带宽小，需要简化多频部署	5
3.2 FDD 全频段面向 5G 演进，需要增加天线数提升系统容量	5
4 Gigaband 技术的关键实现原理	5
4.1 Gigaband 关键技术：超宽频	6
4.2 Gigaband 关键技术：多天线	7
5 华为 Gigaband 系列产品应用	8
5.1 Gigaband 超宽频低频 4T4R 应用：深度覆盖和容量双增	9
5.2 Gigaband 超宽频中频 4T4R 应用：中频 4G/5G 双收益，能效高	9
5.3 Gigaband 超宽频中频 8T8R 应用：网络覆盖，体验，能效倍增	10
6 Gigaband 的下一步演进方案	11

介绍

1 背景

移动宽带已经如同水和电一样融入日常生活，移动宽带的流量占比逐年增长。用户对移动宽带的需求日益提升，使得运营商需要增加更多的频谱，更多的站点，更多的天线升级网络。随着时间的推移无线站点复杂度成倍增加，站点功耗不断攀升，运营成本居高不下。进一步影响运营商可持续发展。如何维持网络面向未来可持续发展，是运营商当前面临最重要的挑战。全频段持续演进，保持网络高效的更新换代，如何使通信塔上天面不增加，能耗不增加，运维成本不增加，同时系统容量大幅度增长，这需要重构现有的无线基站设计，使其能够满足客户网络面向未来实现绿色极简的演进需求。Sub-3GHz Gigaband 技术就是 5G 时代极简绿色演进的必然方向。

Gigaband 采用的超宽频、多天线等技术，解决多频部署的挑战。它是基于系统内部超宽频、多天线电路级元器件的融合作为基础，一次性实现从模块融合、信道融合到多频协同融合，解决高效部署的难题，并持续向 5G-Advanced 演进。

目前 Gigaband 系列基站设备，已经广泛应用于运营商的商业网络，同时被设备商、分析机构、管制和创新机构广泛认同。产业一致认为超宽频、多天线是 Sub-3GHz 频段向 5G 极简、绿色部署及持续演进的主要技术方向。

2 目标

Gigaband 主要包括超宽频、多天线技术，实现 Sub-3GHz 频谱，面向未来极简、绿色目标网络演进的技术。它是助力运营商 5G 时代升级 Sub-3GHz 频谱，相对 4G 实现大幅度跨代生产效率的关键技术。

本白皮书包含了以下几个部分：

1. Gigaband 的驱动力分析
2. Gigaband 技术的关键实现
3. Gigaband 的商用案例分析
4. Gigaband 的下一步演进方案

3 Gigaband 技术驱动力

3.1 运营商 FDD 频谱存量频段多、带宽小、需要简化多频部署

从 ITU 定义的频谱发放来看，运营商平均拥有 FDD 频谱超过 100MHz（上行+下行），主要分布在 Sub-3GHz 的 5-7 个频段里，如图一所示。当前多频部署的情况下，部分站点要部署 4 个 FDD 频段 x3 面 FDD 天线+3 个 TDD MassiveMIMO 模块（总计 15 个模块），考虑到现网可能还存在 GSM、UMTS 的设备，单运营商预计超过 24 个模块。运营商在部署更多的频段的时候，需要加速天面现代化改造，实现站点容量的持续增加。



图一 FDD 频谱分布

3.2 FDD 全频段面向 5G 演进，需要增加天线数量提升系统容量

All band to 5G 是运营商网络 5G 网络时代演进确定方向。相比 4G 技术，5G 技术主要是在空分复用技术上提升频谱效率。因此通道数的增加是必然选择，多天线阵列是实现无线空口资源复用的关键手段。按场景实现水平复用、垂直复用、或者 3D 多维度复用，实现 4-10 倍的频谱效率提升，从而增加网络容量。

总结：运营商 FDD 频谱 all band to 5G 演进，需要超宽频、多天线技术，实现广覆盖，深覆盖，上行覆盖，实现 5G 性能，能效双优。

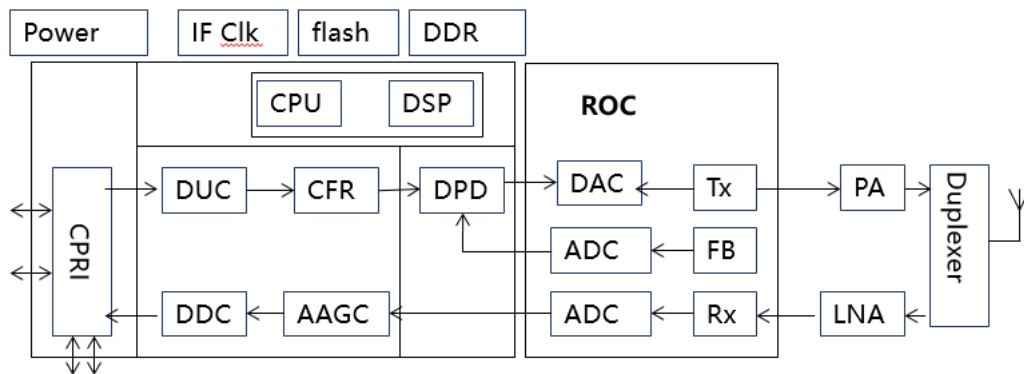
4 Gigaband 技术的关键实现原理

华为在超宽带功放技术持续投入，最早将超宽频技术应用到无线网络基站领域，2009 年 1.9GHz TD-SCDMA+ 2.1GHz TD-SCDMA 超宽带功放技术在中国区首先商用，2014 年率先推出了 FDD 1.8GHz+2.1GHz/800MHz+900MHz 超宽带 2T2R RRU，2017 年推出中双频 1.8GHz+2.1GHz 4T4R RRU，2020 年推出超宽频低三频 2T4R RRU；2022 华为推出的 Gigaband 全系列超宽频的三频 4T4R、双频 8T8R RRU 系列产品等，在业界处于引领地位。华为围

绕低能耗绿色无线站点，实现高效的频谱效率迭代和创新。始终坚持超宽频、多天线技术方向，助力运营商实现在 5G 时代建网投资效率，相对 4G 提升 10 倍的目标，最大化 5G 技术红利。

4.1 Gigaband 关键技术：超宽频

无线射频单元，比如 RRU、AAU 等，它是基站最核心的部分之一，决定基站的集成度和能耗。无线射频单元经历了单载波、多载波、超宽频等几个重要阶段。射频通道主要由中频数字处理部分、ADC/DAC（数字模拟转换）、小信号放大部分、PA（功放）、LNA（低噪放）、双工器等关键组件构成，超宽带无线射频单元单通道射频通道能同时处理多个频段多个载波信号，能大幅简化基站硬件设计，提升基站集成度和降低功耗。无线射频单元关键指标主要能耗效率、接收灵敏度、抗干扰能力、EVM（误差向量幅度）、频谱效率等，涉及数字信号处理算法、超宽带 ADC/DAC 技术、超宽带功放技术、超宽带收发小信号链路技术，是基站设备的核心技术，这些性能决定了无线网络的覆盖、体验、性能和资源的复用密度等。



图二 射频单元工作电路

面对 FDD 多频演进的挑战，华为重新设计了射频单元，涉及的各项关键技术，引领产业界，在 DPD 算法、超宽带功放架构和材料、小型化多频滤波器、仿生散热技术等取得了突破性进展，实现了两到三个频段信号集成在一组模拟电路中，大幅提升了基站集成度。

超宽频的价值：超宽频射频电路中，单模块 RRU 支持到 1GHz 的工作带宽，从而简化内部的功放链路。实现多频段独立 PA（功放）组合模块变成多频合一 PA 电路。多频合一 PA 可以简单实现不同频段的功率动态分配，更容易实现多频之间的容量，体验，业务协同。在无线通信应用中，尤其是超宽带发射机功率共享，大幅提升了网络的能效比。从实际部署来看，相对传统同数量频段部署，基础功耗有 30% 以上的能耗节省。结合通信系统周期性的潮汐效应，根据流量调节能耗，还能带来额外 20% 左右的能耗节省。根据无线网络信号发射，传播特点，把超宽频总功率分到多个频段上，按照用户的分布，按需功率分配，可以兼顾覆盖（低频增加覆盖、高频增加容量）。从而实现覆盖和容量按需动态调配，实现低能耗，绿色可持续发展目标网络。

如图三 所示，同时也可以按照场景同时兼顾多频容量和覆盖场景。

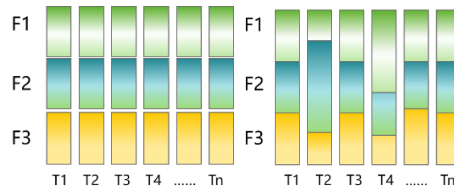


图 三 超宽频功率共享

4.2 Gigaband 关键技术：多天线

多天线系统的优点：通过提升波束赋形压缩天线发射波束的宽度，利用窄波束提高信号下行强度，通过天线空分、分集提高上行信号稳定性的特性，最大化多天线 MU-MIMO 的配对、超密度空间复用，大幅提高频谱利用效率。

MIMO 空间复用技术是 5G 时代最关键的技术之一，从无线通信技术的发展来看，近代通信技术主要靠提升多天线来提升系统的频谱效率。通过 MIMO 实现窄波束，如图四所示，从而实现更多的资源复用。

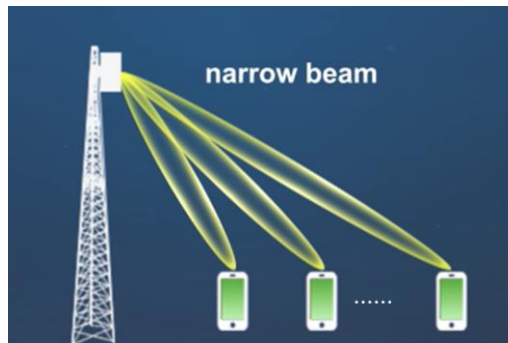


图 四 窄波束发射

Gigaband 超宽频技术大幅提升了系统集成度，这使得同样体积的 RRU 可以支持部署 2 倍以上的通道数。如从 2T2R 升级到 4T4R、8T8R，从而实现无线资源在空分成倍复用。华为 Gigaband 技术还在天线上进行优化，大幅减小天线方向、相位的误差，使得基站天线可以实现更加精准更加快速的波束赋性，如图五所示，从而提升频谱效率，增加系统容量。

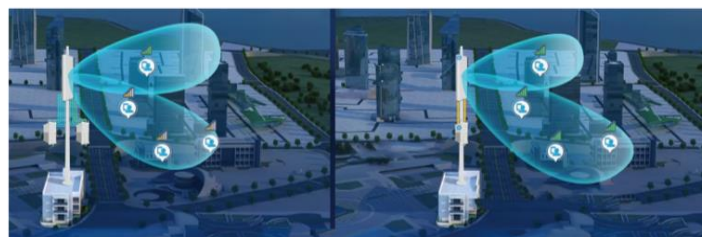
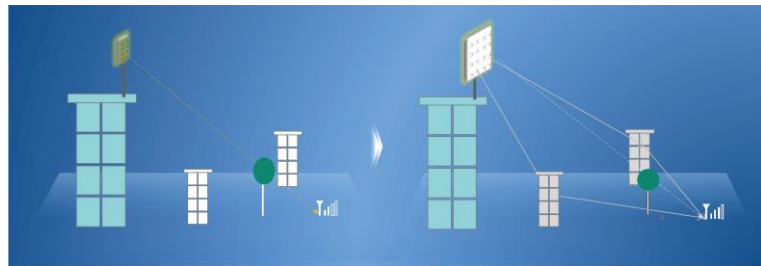


图 五 波束间动态功率共享

多天线的价值：

提升系统容量，通过多天线技术使能 Beam-Forming 技术，实现无线空口 4-32 倍的频率复用，提升网络的频谱效率，最大化运营商基站的容量。

提升终端体验，通过 Gigaband 的多天线技术协同，同时提升上行和下行的覆盖。从终端的产业发展来看，终端厂商把终端 MIMO 能力从 1T2R 已经提升到了全频段 1T4R，由于基站是采用的多天线接收，终端发出信号到基站天线，可以选择多路信号合并，进一步提升上行的覆盖，见图六。



图六 多天线技术增强

降低网络能耗，多天线技术可以收集更多的有用信号在基站侧合并，也就意味着无论是基站还是手机，无需发射更多功率就能满足连接信号，从网络测试结果来看，同覆盖、同负载的情况下，8T8R 相对 4T4R 模块，功耗有 30% 的节省。同时由于网络信号质量变好，8T 网络下的手机续航也有相应的增加。

5 华为 Gigaband 系列产品应用

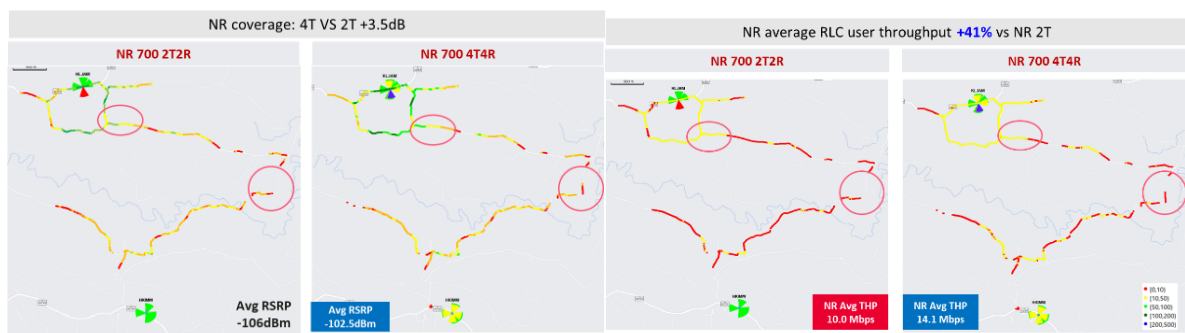
华为 Gigaband 主要用在 FDD RRU 场景，频段上来看，契合运营商全频段走向 5G 的目标，满足运营商极简、绿色站点演进的目标，华为 FDD RRU 系列产品，全面走向三频合一的 4T4R、双频 8T8R 的超宽频、多天线产品系列，模块 2G/3G/4G 和 5G 多制式同时工作、能够在不依赖终端能力情况下，自适应各类终端高增益特性，如 TM4 自适应 TM9、5G NR 新码本 TypeII 等，也能够根据各类终端的渗透率，动态调整，从而实现无线资源效率最优和终端体验最优。目前在全球 120+ 运营商全面商用。

2022 年，华为 FDD Gigaband 超宽频多天线系列产品荣获 GSMA GLOMO“最佳移动网络基础设施奖”（Best Mobile Network Infrastructure），该产品系列代表了 FDD 向极简、绿色、高效 5G 演进的产业新方向。

5.1 Gigaband 超宽频低频 4T4R 应用：深度覆盖和容量双增

作为运营商广覆盖、深覆盖的低频（小于 1GHz 频率），网络连接信号比中频好，在中低频同覆盖部署的情况下，位于小区边缘、中远点用户更容易驻留在低频上，因此低频公共信道非常拥塞，大幅拉低频谱效率，无法实现流量变现。同时导致用户上网速度慢，降低用户满意度。

2021 年 T 国运营商 A 利用新频建设项目，将新建 700MHz 和 900MHz 升级同时进行实现，并且把低频升级到 4T4R。从商用验证结果显示，低频网络覆盖提升了 3.5dB 如图七所示，用户提升 41% 如图八所示，运营商 A 利用双低频 4T4R 在郊区实现了覆盖和容量双增长，在城区部署双低频打底，实现室内深度的覆盖。相对现网只有一个频段 GL900MHz 的系统能力，700MHz+900MHz 双频单模块生产力提升 6 倍，当期低频流量提升了 3 倍。



图七 覆盖性能测试

图八 用户体验测试

5.2 Gigaband 超宽频中频 4T4R 应用：4G/5G 双收益，能效高

从无线网络发展来看，无论是 2G、3G，还是 4G 时代，中频 1.8GHz/2.1GHz 都是最重要容量和体验频谱。从历代技术演进来看，中频站点部署最多，从 2G，3G 到 4G 都在中频上进行了大量的升级换代。新频和存量网络中频网络面向 5G 升级现代化改造，成为欧洲运营商的一个重要建设方向。

中三频 RRU 5G 升级，新增中频 1.4GHz，升级存量 1.8GHz、2.1GHz，中频体验翻翻。

由于欧洲主要国家新频 1.4GHz 的发放，运营商 A 开始启动中三频合一部署。用超宽频模块，更换现网 1.8GHz 和 2.1GHz 模块，新增一频 1.4GHz 频谱，整体功耗降低 5%，单扇区双频升级到三频后，容量提升 50%。Gigaband 3 频模块升级后实现了能效比提升 1.5 倍，如图九所示。

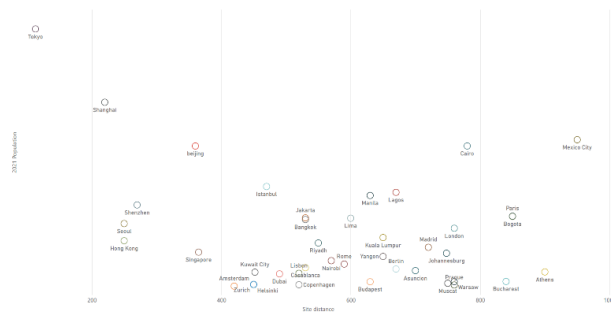


图九 中频网络改造性能对比

5.3 Gigaband 超宽频中频 8T8R 应用：网络覆盖，体验，能效倍增

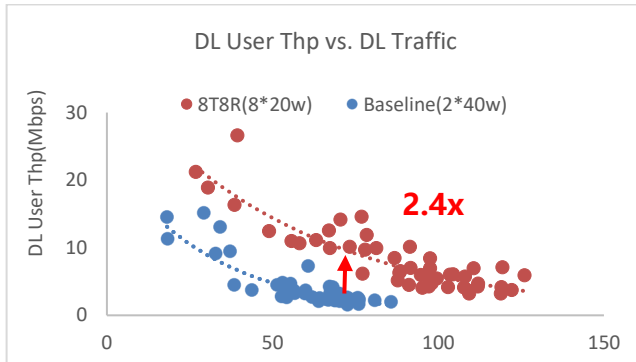
1.8GHz、2.1GHz 网络现代化，主要来自于运营商对容量和城区深度覆盖的诉求，尽管 5G 已全球广泛部署，但是大部分国家 4G 流量依然在快速增加。如果停止 1.8GHz、2.1GHz 升级换代，就会导致拥塞增加，干扰增加、覆盖收缩、用户体验下滑。所以运营商正在通过增加中频通道数，从 2T2R/4T4R 升级到 8T8R，走向 5G 时代中频 Native BeamForming 技术，增加网络容量、提升用户体验、实现一次投资 4G 扩容 5G 演进的双收益。

为什么运营商选择 8T8R 作为中频的升级主要建网目标呢？从全球主要城市站间距统计来看，大部分主要城市的站间距分布在 400 米到 800 米之间，如图十所示。以 1.8GHz 频段 15MHz 带宽为例，小区边缘速率大部分在 1Mbps 以下，难以支持如在线会议、在线网课、线上协作等业务体验。在无法增加物理站点减小站间距的情况下，8T8R 除了解决中频容量瓶颈外，还能为运营商解决上行深度覆盖。通过 8T8R 中二频双频 CA，LTE 小区边缘上行体验可以提升到 2.5Mbps，升级到 5G 后，上行小区边缘速率可以提升到 5Mbps。

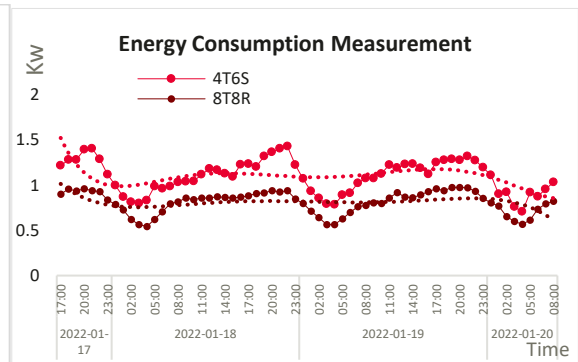


图十 全球站间距统计

印度尼西亚运营商 A 在密集城区，站间距约 600 米。随着 4G 流量增加，网络拥塞加剧，运营商 A 在中频上已经没有可用的频谱来增加 4G 容量。通过商用验证对比，运营商 A 采用了 Gigaband 的双频 8T8R 部署方案，替代原来规划的 4T6S 方案。从运行效果来看，8T8R 的网络容量相对现网的 2T2R 提升了 2.4 倍，见图十一，与此同时相对于传统的 4T6S 的方案，能耗降低 26%，如图十二所示。



图十一 8T8R 对比 2T2R 同功率测试



图十二 8T8R 对比 4T6S 功耗测试

在中国，中频 5G 部署 8T8R 已经逐步成为运营商提升覆盖的共识，湖北运营商 A 部署 2.1GHz 8T8R，相比 4T4R 部署方式，覆盖面积增加 55%，上行 3Mbps 体验覆盖面积增加 45%。在中国上海针对弱覆盖居民区 2.1GHz 8T8R 5G 商用站点部署，目标覆盖区域 5G 栅格覆盖率从 91%提升至 99%，5G 覆盖面积增加 20%，区域内 5G 总流量增加 30%。

FDD 8T8R 一方面通过采用多天线阵列、8R IRC 先进接收机、高精度信道估计算法等，覆盖距离相比 4T4R 提升 20%到 40%；另一方面通过高分辨空域配对、高精度融合波束独家算法，小区容量相比 4T4R 提升 50%-70%。

6 Gigaband 的下一步演进方案

随着 3GPP 协议向 R17、R18 演进，以及产业向 all band to 5G 演进。新频段逐步发放 1.4GHz、600MHz，新的 FDD 灵活双工频段增加(n13/n24/n85/n91/n92/n93/n94)。

在 3GPP 已经冻结的 R16、R17 中，FDD 支持连续大带宽场景 2.1GHz/2.6GHz/1.8GHz 最大带宽增至 50MHz。面向 R18 提出的虚拟大带宽特性，将 FDD 多个频段整合，通过使用一个公共信道，可使得 FDD 离散载波体验逼近连续大带宽，这也是 Gigaband 的一个天然优势。



R18 协同产业在软件和硬件上持续增强。超宽频、多天线技术是产业演进的必然方向。Gigaband 会持续向更多频段、更大带宽、更极简绿色的方向演进，同时 Gigaband 的领先技术已经具备平滑支持 3GPP R17、R18 的演进。