



5G 大规模天线技术发展及创新方向

骆胜军, 张申科

(武汉虹信通信技术有限公司, 湖北 武汉 430074)

摘要: 针对 5G 大规模天线当前系统架构及技术方案, 提出新的技术发展及创新方向, 包括低剖面、轻量化辐射单元、高精度幅相校准网络、多合一密集辐射阵、高集成化去反射板设计、天线集成滤波器、天线与滤波器共模组, 机械移相及数字成形相结合、5G 双频天线、4G&5G 融合天线等。针对每一个技术创新方向进行了概述和有益性说明。

关键词: 大规模天线; 低剖面; 集成; 共模

中图分类号: TN929

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2020186

5G large-scale array antenna technology development and innovation direction

LUO Shengjun, ZHANG Shenke

Wuhan Hongxin Telecommunication Technologies Co., Ltd., Wuhan 430074, China

Abstract: In view of the current system architecture and technical solutions of 5G large-scale antennas, new technological developments and innovation directions were proposed, including low profile and light weight radiation element, high precision amplitude and phase calibration networks, all-in-one dense radiation arrays, and highly integrated antenna without reflection, antenna integrated filter, antenna and filter common module, mechanical phase shift and digital shaping combined, 5G dual-band antenna, 4G & 5G intelligent antenna, etc. For each technological innovation direction, an overview and useful description were given.

Keywords: large-scale antenna, low profile, integration, common mode

1 引言

2018 年 4 月, 中国通信标准化协会 CCSA-WG11 组第 14 次会议, 立项两项 5G 大规模阵列天线相关标准《5G 数字蜂窝移动通信网天线阵列技术要求 (<6 GHz)》和《5G 数字蜂窝移动通信网天线阵列测试方法 (<6 GHz)》, 并于

2019 年 12 月发布, 用以指导企业、高校及研究机构开展对 5G 大规模天线的技术研究和产业化推进工作。

2019 年 6 月 6 日, 工业和信息化部向中国电信、中国移动、中国联通、中国广电发放 5G 商用牌照, 中国正式进入 5G 商用元年, 比业内预计的 2020 年 5G 商用时间提前。5G 网络建设提速, 对



5G 大规模天线的需求越来越大。

2019 年 6 月 26 日~6 月 28 日的上海世界移动通信大会展会上, 各运营商、设备商、天线厂商围绕 5G 这个热点进行了大量的产品和应用展示。

以上 3 个事件从行业标准、国家政策、产业发展 3 个方面说明, 我国第五代移动通信网络的大规模商用建设的时机已经成熟。5G 大规模天线是 5G 关键技术之一, 其产品技术成熟度和产业化成熟度已经能满足当前 5G 网络建设的需要。但随着 5G 网络建设进程的不断发 展, NSA/SA 各种组网方式和共网共站建设的需要, 网络投资降成本以及性能提升的需要, 5G 大规模天线的技术和产品需不断创新才能更好地满足我国 5G 网络建设的需要。

2 5G 大规模天线技术方案现状

5G 大规模天线基本系统架构如图 1 所示。以 2.6 GHz 192 单元 64TR 的大规模天线为例, 其整体结构由密集辐射阵(包括 32×2 组单元模块和若干去耦单元, 其中每个单元模块包括 3 个辐射单元)、功分网络、反射器、射频连接器和耦合校准网络组成。从逻辑结构上看, 单元模块、功分网络、通道射频连接器共同构成射频通道。每个射频通道设置定向耦合器, 1~32 组定向耦合器通过 5 级功分级联形成校准网络 A, 33~64 组定向耦

合器通过 5 级功分级联形成校准网络 B, 如图 2 所示。这样, 5G 大规模天线系统通过耦合校准网络实现对输入射频通道的激励信号进行幅度和相位的监测和校准, 得到理想的成形权值, 从而实现大规模天线的精准三维波束方向图和三维扫描功能。从物理结构上看, 辐射单元和去耦单元都作为单个零件电连接在功分网络 PCB (printed circuit board) 上, 形成上 PCB 组件; 耦合校准网络、射频连接器设置在耦合网络 PCB 上, 形成下 PCB 组件; 上 PCB 组件、反射器和下 PCB 组件共同组成一副完整的 5G 大规模天线阵列, 如图 3 所示。

现有 5G 大规模天线技术产品方案能满足当前 5G 网络建设的技术需要, 产业化上辅以智能制造的自动化产线提升制造效率, 多端口测试矩阵提升测试效率, 能满足产业化需求。

3 5G 大规模天线技术发展及创新方向

随着 5G 商用规模的逐步扩大, 对 5G 大规模天线产品技术指标一致性、质量稳定性、成本和产能都提出新的要求。因此, 在后续的产品和技术发展方向上, 围绕更高的质量、更低的成本、更高的产能等目标, 5G 大规模天线的技术和产品开发需保持持续创新。本文认为, 5G 大规模天线技术发展及创新方向, 可以围绕低剖面、轻量化

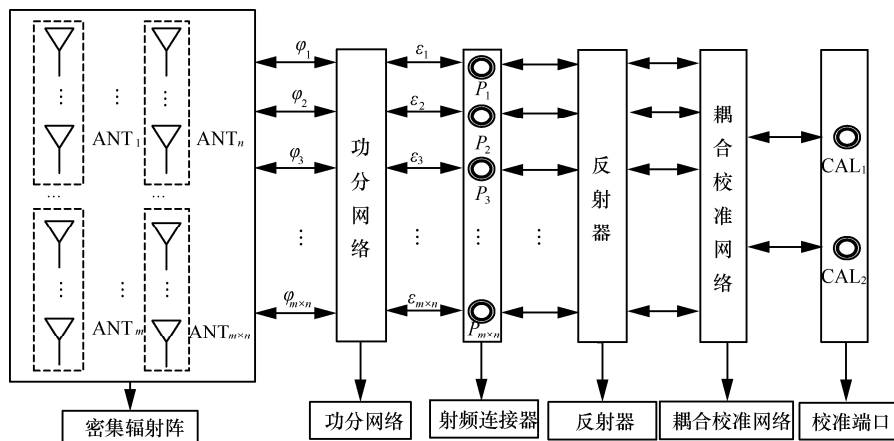


图 1 5G 大规模天线系统架构

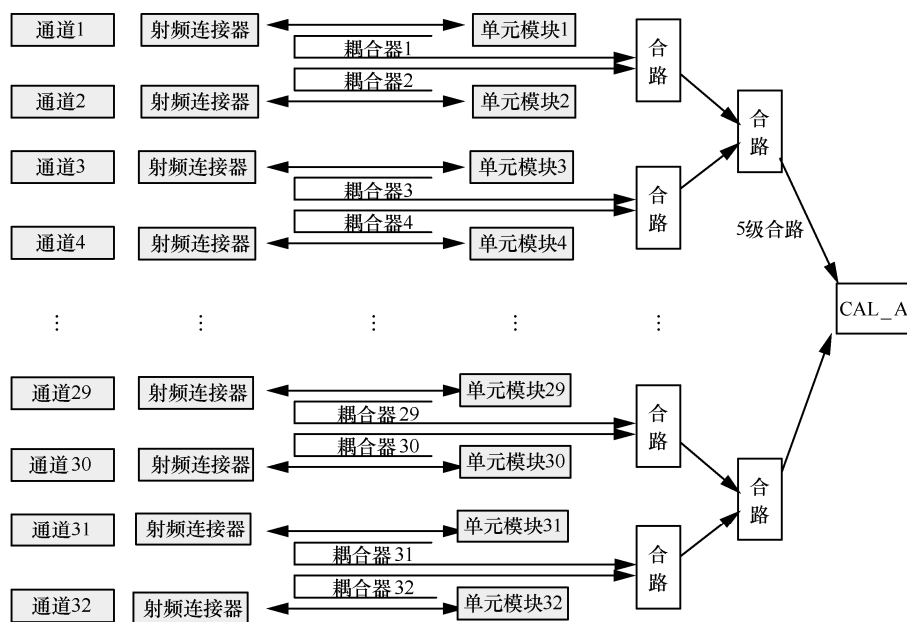


图2 耦合校准网络逻辑结构示意图

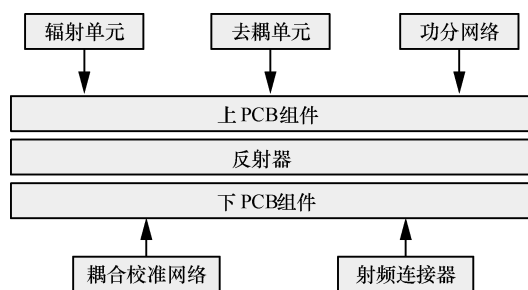


图3 5G大规模天线物理结构示意图

辐射单元、高精度幅相校准网络、多合一密集辐射阵、高集成化去反射板设计、天线集成滤波器、天线与滤波器共模组、机械移相及数字成形相结合、5G双频天线和4G&5G融合天线等9个方面进行。

3.1 低剖面、轻量化辐射单元

不同于4G时代，“天线+RRU（remote radio unit）+BBU（base band unit）”构成分布式基站，5G AAU（active antenna unit）集成了天线与RRU，这就造成AAU整机重量的直线上升，给铁塔承重和施工带来极大的困扰。大规模天线使用几十个甚至上百个天线振子，降低天线振子的重量，设计轻量化辐射单元的收益明显；降低辐射单元的

高度，可以减少AAU密封罩等部件的高度，可以进一步降低整机重量。因此设计低剖面、轻量化辐射单元应用在5G大规模天线上，对于5G AAU整机的小型化和轻量化具有举足轻重的作用。低剖面、轻量化辐射单元的实现方式可以多样化，如采用低剖面设计的PCB辐射单元，采用3D-MID（three-dimensional molded interconnect device，三维模塑互连器件，简称共形电路）技术设计的低剖面塑料介质辐射单元。图4展示了基于3D-MID技术的低剖面、轻量化辐射单元，其工作频率为2 496~2 690 MHz，重量小于3.8 g，单元高度低于10 mm。

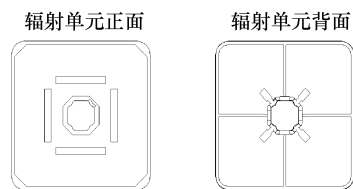


图4 2.6 GHz低剖面、轻量化辐射单元

3.2 高精度幅相校准网络

大规模天线由于要实现方向图的三维成形和



波束扫描,需要对收发组件输入射频端口的信号幅度和相位进行校准。校准网络的幅相精度越高,则代表输入各射频端口的幅相权值越接近理想值,得到的方向图形状越接近理想成形,网络覆盖的精度和准度也越高,能极大地提高通信质量。受 PCB 原材料批次一致性、不同 PCB 加工厂多层板加工设备的精度以及 PCB 多层大板工艺控制水平及稳定性等几方面的影响,目前 64TR 的大规模天线一般工程上幅相精度能达到 $1.0\text{ dB}/10^\circ$ 水平,随着 PCB 原材料加工质量的不断提升,PCB 加工厂不断引入真空蚀刻机、自动曝光机、高吨位压机、二流体清洗机及等离子除胶等高端设备,PCB 多层大板加工工艺的不断摸索改进和相对固化,大规模天线耦合校准网络的幅相精度正逐步提升至 $0.5\text{ dB}/5^\circ$ 水平,这将对大规模天线的方向图上副瓣抑制能提升约 2 dB ,波束扫描精度能提升 $1^\circ\sim 2^\circ$ 水平,对于网络覆盖质量的提升是显而易见的。因此,校准网络的幅相一致性精度的提升,具有重大意义。另一方面,目前耦合校准网络的 PCB 多采用国外进口的罗杰斯板材。提升大规模天线的校准网络幅相一致性设计为国产 PCB 在大规模天线校准网络上的替代使用提供了技术基础,这对国内 PCB 产业的扶持作用是显而易见的。目前,国内 PCB 原材料开发厂商通过不断的技术创新、已经开发出性能不低于国外进口板材的对标材料,且极具成本优势。如生益科技开发的 aerowave300、中英科技开发的 ZYC8300 等系列产品已经成功应用于 5G 大规模天线耦合校准网络的设计和批量生产。

3.3 多合一密集辐射阵

从现有 5G 大规模天线物理结构上看,辐射单元、去耦单元和功分板 PCB 为独立的部件,要实现天线的组装,需要通过额外的装配动作,将辐射单元和去耦单元焊接在功分板 PCB 上,形成上 PCB 组件。由于大规模天线所使用的的辐射单元和去耦单元数较多,需一个一个地组装在功分板

PCB 上,效率不高;装配的个体差异,会带来指标一致性的差异;PCB 的原材料价格也较高。这就造成大规模天线物料成本较高,生产效率不高,且指标一致性不够好。为改善这种状况,新设计一种多合一密集辐射阵列,将辐射单元、去耦单元和功分板一体注塑设计为一个塑料整件,再将所需的辐射电路和功分电路通过选择性电镀或电镀方式设置在塑料整件上,塑料整件需要满足一定的机械和电气性能。介质材料的机械强度、介电常数稳定性、介质损耗等性能要符合产品可靠性要求。多合一密集辐射阵 ($2\times 6\times 2$ 单元) 的结构示意图如图 5 所示,图 6 为采用多合一密集辐射阵后,大规模天线的物理结构示意图。显然,新设计大大简化了 5G 大规模天线的物理结构,提升了指标一致性和生产效率,同时也降低了成本。

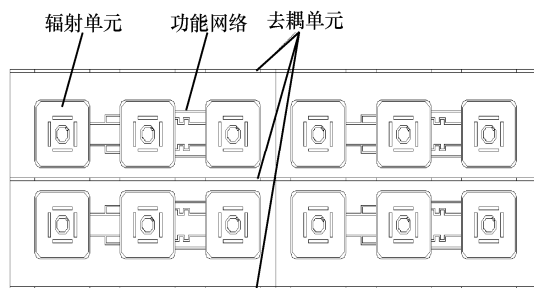


图 5 多合一密集辐射阵 ($2\times 6\times 2$ 单元) 结构示意图

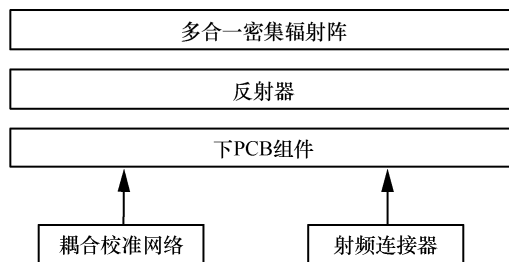


图 6 5G 大规模天线新物理结构 1 示意图

3.4 高集成化去反射板设计

高集成化去反射板设计是在多合一密集辐射阵 ($2\times 6\times 2$ 单元) 的技术基础上,进一步扩大密集辐射阵,形成 $8\times 6\times 2$ 单元的多合一大密集辐射阵(如图 7 所示),并在结构上做加强设计。由于大密集辐射阵的背面为全电镀结构,可以起到反

射器作用, 这样耦合校准网络可以直接与 $8 \times 6 \times 2$ 单元的多合一密集辐射阵进行结构连接和电连接, 而不需要如图 6 所示在二者中间夹一个合金铝板以起到结构支撑和反射器的作用。高集成化去反射板设计进一步简化了大规模天线的结构, 提升了指标一致性, 降低了天线重量, 提高了生产效率, 降低了成本, 设计的大规模天线的物理结构示意图如图 8 所示。作为技术发展的新方向和尝试, 大规模天线耦合校准网络也可以用介质塑料作为载体设计, 而不仅仅局限于在 PCB 上实现, 但是由于耦合校准网络的加工精度要求和可靠性要求都比较高, 本文在替换设计和实验过程中要对可靠性进行充分的验证。

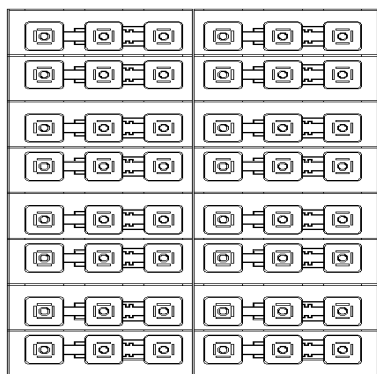


图 7 多合一密集辐射阵 ($8 \times 6 \times 2$ 单元) 结构示意图

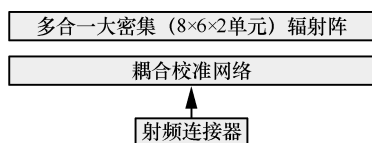


图 8 5G 大规模天线新物理结构 2 示意图

3.5 天线集成滤波器

5G 大规模天线每一个射频端口需要外接一个滤波器。现有 AAU 整机技术方案中, 滤波器处于设备端。新设计将滤波器集成在天线的射频通道内, 这将大大节省主设备的布局空间、缩减体积、降低重量、提升散热效果、降低能耗。天线集成滤波器产品方案中, 从成本、重量方面考虑,

滤波器优选介质波导方案, 次选钣金滤波器和小型化腔体滤波器。以 3.5 GHz 的介质波导滤波器集成到 64TR 大规模天线为例, 每个介质滤波器的重量约 8 g, 虽然天线的重量提升了约 512 g, 但是 AAU 由于省却连接滤波器和功放的盲插型连接器组件以及机壳的体积减小, 其整机的重量降低效率明显。另外, 在产品设计和测试环节, 需设计额外的工装, 解决滤波器和天线指标测试难题, 并通过算法得到校准网络的幅相一致性指标。天线集成滤波器产品中, 滤波器贴装在天线射频通道的示例如图 9 所示。

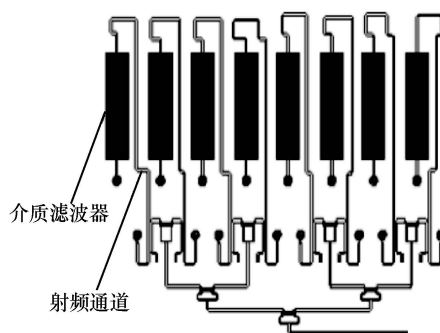


图 9 滤波器贴装在天线射频通道内示意图

3.6 天线与滤波器共模组

天线集成滤波器产品技术方案中, 滤波器需要贴装在天线射频通道内。而天线滤波器共模组技术是基于第 3.3 节介绍的多合一密集辐射阵, 将塑料介质滤波器与多合一密集辐射阵注塑为一体结构, 然后再进行电路电镀设计。该技术如研发成功, 将大大提升天线集成滤波器方案的集成度。

3.7 机械移相及数字成形相结合

现有 64TR 大规模天线设计方案射频通道组成如图 10 所示, 有 8×12 组双极化辐射单元, 纵向每 3 个辐射单元构成一个单元模块, 每列 4 组单元模块, 8 个射频通道, 共 8 列形成 64 个射频通道, 每个射频通道需一个收发组件, 64TR AAU 设备的成本相对较高。根据城市、郊区、农村等



不同区域的宏覆盖要求的不同,为降低 AAU 设备成本,又保证大规模天线成形效果,可以采用如图 11 所示的机械移相和数字成形相集合的天线方案,减少射频通道为 32TR 和 16TR。该技术方案的水平方向图波束扫描仍通过基带控制采用数字成形的方式,垂直方向图扫描采用机械移相或机械移相和数字成形相结合的方式。其中 16TR 天线每列的四组单元模块分别接机械移相器,通过移相器机械调节的方式改变输入到 4 组单元模块的幅相值来达到垂直方向图调节的目的;32TR 天线每列分别在单元模块 1 和单元模块 2 之间以及单元模块 3 和单元模块 4 之间接机械移相器,这样单元模块 1、单元模块 2 跟机械移相器网络构成一个射频通道,单元模块 3、单元模块 4 跟机械移相器网络构成一个射频通道,单元模块 1、单元模块 2 之间的幅相调节通过机械移相器实现,单元模块 3、单元模块 4 之间的幅相调节也通过机械移相器实现,而单元模块 1+单元模块 2 与单元模块 3+单元模块 4 之间的幅相可以通过改变收发组件输入到这 2 个射频通道的幅相来进行调节。

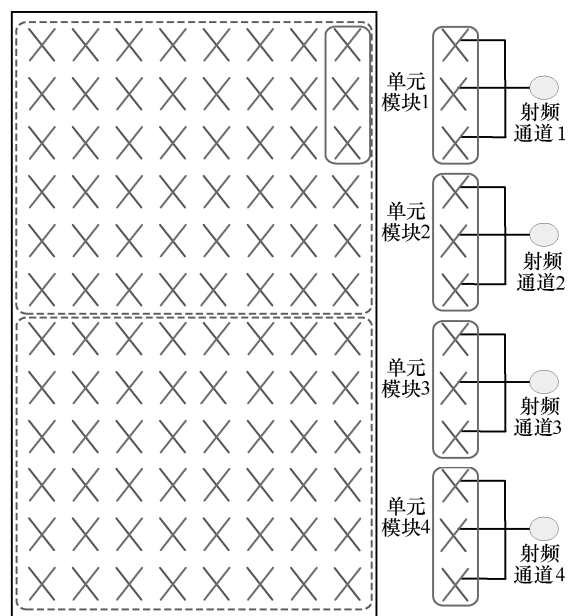


图 10 64TR 大规模天线射频通道组成示意图

3.8 5G 双频天线

我国在 Sub-6 GHz 频段分别为中国移动分配了 2 515~2 675 MHz 和 4 800~4 900 MHz 频段的 5G 频率资源;为中国联通分配了 3 500 ~3 600 MHz 频段的 5G 频率资源;为中国电信分配了 3 400~3 500 MHz 频段的 5G 频率资源,为中国广电分配了 4 900~5 000 MHz 频段的 5G 频率资源。

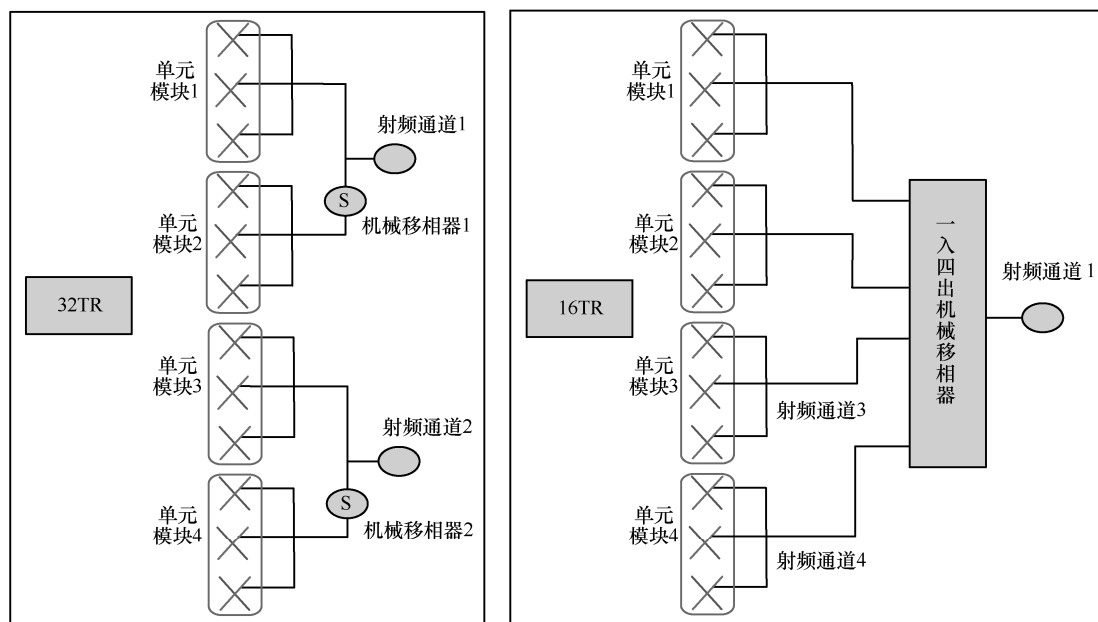


图 11 32&16TR 移相及射频通道示意图

为最大程度地利用天面资源和降低网络建设成本,可在图 11 所示的 64TR 大规模天线方案基础上设计包含 2.6 GHz/3.5 GHz (2 515~2 675 MHz/3 400~3 600 MHz) 工作频段的 32TR/32TR 双频 5G 大规模天线,能同时满足中国移动和中国联通,或中国移动和中国电信的共站建设需要。该天线技术方案需设计 2 515~2 675 MHz/3 400~3 600 MHz 宽频振子,2 515~2 615 MHz&3 400~3 600 MHz 合路器,具体实施方案如图 12 所示。

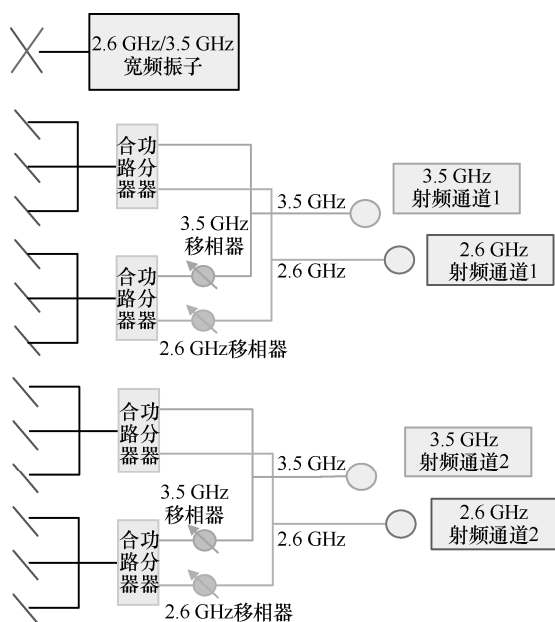


图 12 2.6 GHz/3.5 GHz 双频大规模天线方案示意图

3.9 4G&5G 融合天线

虽然我国 5G 网络建设进展迅猛,但在相当长的时间内,4G 和 5G 网络是长期共存的关系。且在 5G 网络建设的初期,如果采用 NSA 组网方式,要实现 5G 通信功能,还需要借助 4G 基站的功能。对于一些站址资源紧张的站点,为更大程度地节约天面资源,4G&5G 融合天线将得到极大的应用。因此 4G&5G 融合天线也是 5G 大规模天线技术发展和创新的主要方向之一。

4 结束语

本文对 5G 大规模天线的九大技术发展和创

新方向进行了介绍。其中,有些方向已经有了实际的进展,如低剖面、轻量化辐射单元、高精度幅相校准网络、多合一密集辐射阵、天线集成滤波器、机械移相及数字成形相结合、5G 双频天线和 4G&5G 融合天线,有些方向还处于理论研究和预研阶段,如高集成化去反射板设计、天线与滤波器共模组。这些技术发展和创新方向的实施,能进一步提升我国 5G 大规模天线的技术水平和产业化水平。5G 大规模天线的技术指标更优、指标一致性更好、重量更轻、尺寸更小、集成化程度更高、生产效率更高、成本更低。毫无疑问,这将大大提升我国第五代移动通信网络的建设质量。

参考文献:

- [1] FAN W. A step toward 5G in 2020: low-cost OTA performance evaluation of massive MIMO base stations[J]. IEEE Antennas and Propagation Magazine, 2017(59): 38-47.
- [2] 王志勤, 徐菲. 关于 5G 组网技术路线的分析与建议[J]. 电信科学, 2019, 35(7): 3-7.
WANG Z Q, XU F. Analysis and suggestion on 5G networking technology route[J]. Telecommunications Science, 2019, 35(7): 3-7.
- [3] 张申科, 杨丰旭, 尹应增. 5G 中的超宽带阵列天线及其小型化技术[J]. 电信科学, 2019, 35(7): 52-59.
ZHANG S K, YANG F X, YIN Y Z. Ultra-wideband array antenna in 5G and its miniaturization technology[J]. Telecommunications Science, 2019, 35(7): 52-59.
- [4] 骆胜军, 张申科. 5G 大规模天线系统架构探讨[J]. 移动通信, 2019(3): 70-74.
LUO S J, ZHANG S K. Large scale array antenna system architecture in 5G wireless communications[J]. Mobile Communications, 2019(3): 70-74.
- [5] 栾帅, 冯毅, 张涛, 等. 浅析大规模 MIMO 天线设计及对 5G 系统的影响[J]. 邮电设计技术, 2016(7): 28-32.
LUAN S, FENG Y, ZHANG T, et al. Analysis of massive MIMO antenna design and its influence on 5G System[J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2016(7): 28-32.
- [6] 李梅竹. 3D-MID 技术在电子产品天线制造领域的应用[J]. 机械制造, 2015, 53(11): 45-47, 51.
LI M Z. Application of 3D-MID technology in antenna manufacturing of electronic products[J]. Machinery, 2015, 53(11): 45-47, 51.
- [7] 王映民, 孙韶辉, 康绍莉, 等. 面向 5G 增强的大规模天线技



- 术[J]. 移动通信, 2019, 43(4): 15-20.
WANG Y M, SUN S H, KANG S L, et al. Enhanced massive MIMO in 5G[J]. Mobile Communications, 2019, 43(4): 15-20.
- [8] 方徐高, 吕志博, 潘建民. 探究 5G 移动通信天线技术的发展[J]. 科学中国人, 2017(24): 208.
FANG X G, LV Z B, PAN J M. The development of 5G mobile communication antenna technology[J]. Scientific Chinese, 2017(24): 208.
- [9] 李艳芬, 朱雪田. 面向 5G Massive MIMO 部署的挑战研究[J]. 电信技术, 2019(1): 65-67.
LI Y F, ZHU X T. The challenges of 5G massive MIMO deployment[J]. Telecommunications Technology, 2019(1): 65-67.
- [10] 卜斌龙, 林学进, 孙全有. 5G 宏网天线覆盖解决方案及现网融合技术[J]. 移动通信, 2019(4): 21-24, 42.
BU B L, LIN X J, SUN Q Y. Antenna solution to 5G macro network coverage and multi-network integration[J]. Mobile Communications, 2019(4): 21-24, 42.
- [11] 王波, 栾帅, 邱涛, 等. 5G Massive MIMO 天线阵列校准方法探讨[J]. 邮电设计技术, 2019(3): 32-34.
WANG B, LUAN S, QIU T, et al. Discussion on calibration

method of 5G massive MIMO antenna array[J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2019(3): 32-34.

[作者简介]



骆胜军 (1982-), 男, 武汉虹信通信技术有限责任公司技术总监, 主要从事移动通信基站天线技术研究、产品开发及标准化研究工作。



张申科 (1963-), 男, 武汉虹信通信技术有限责任公司副总经理, 主要从事无线通信天线技术研究和标准化工作。