

## 浅谈透镜天线在 5G 网络覆盖中的应用

李东耀

天元瑞信通信技术股份有限公司, 陕西 西安 710075

[摘要]随着 5G 终端直连技术 D2D 的发展,毫米波在大规模物联网、无人驾驶中的广泛应用,将有助于推动毫米波网络快速部署,为解决毫米波在无线通信中的不足,透镜天线将在无线网部署中广泛应用。

[关键词]5G 毫米波;透镜天线;大规模物联网

DOI: 10.33142/sca.v4i1.3566

中图分类号: TN929.5;TN821.5

文献标识码: A

### Analysis on Application of Lens Antenna in 5G Network Coverage

LI Dongyao

Tianyuan Ruixin Communication Technology Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi, 710075, China

**Abstract:** With the development of 5G terminal direct connection technology D2D, the wide application of millimeter wave in large-scale Internet of things and unmanned driving will help promote the rapid deployment of millimeter wave network. In order to solve the shortage of millimeter wave in wireless communication, lens antenna will be widely used in wireless network deployment.

**Keywords:** 5G millimeter wave; lens antenna; large scale Internet of things

#### 引言

在 5G 大规模物联网(mMTC)业务推进中,毫米波的应用将融入到网络覆盖中,在站址部署和微蜂窝构建的过程中,对无线天线的要求提出更高的要求,面对毫米波具有频谱宽、稳定性高和方向性好的优势,将有力推动 5G 终端直连技术 D2D 的发展;同时毫米波也存在传播衰减严重的问题,可通过透镜天线使毫米波技术进行推进和广泛部署;同时对于透镜天线覆盖特性,在现网部署的过程中也有很广泛的应用场景。

#### 1 5G 毫米波

进入 5G 时代,毫米波技术将广泛应用于无线网络中,毫米波具有优越的物理特性,频谱宽、稳定性高和方向性等优势。在 3GPP 协议规定,5G 通信技术 Sub6GHz 频段主要使用 FR 频段和 FR2 频段。FR1 频段的频率范围是 450MHz 到 6GHz;FR2 频段的频率范围是 24.25~52.6GHz,通常被称为毫米波。

##### 1.1 毫米波特性和

毫米波频率范围为 26.5~300GHz,可使用的频谱带宽高达 273.5GHz,在大气中传播的过程中能够使用四个主要的窗口,这四个窗口的总带宽可达 135GHz,是微波各波段带宽总和的 5 倍。毫米波有较窄的波束,在相同天线尺寸下毫米波的波束相对较窄。在毫米波的元器件相对于微波尺寸较小,毫米波系统容易小型化。

毫米波在大气中的传播衰减较为严重,影响毫米波传播特性的因素有大气吸收、降水、环境,再加上毫米波高频特性,致使其传输性能比较差;毫米波应用于无线覆盖时覆盖距离较短,天线全向发射时能量发散比较快,容易衰弱,无法传播到很远信号覆盖距离受限。毫米波容易被楼宇或人体等阻挡、反射和折射,穿透性较差,毫米波频谱在传播中被吸收程度很高,信号衰弱非常快。

##### 1.2 5G 毫米波技术

MIMO 基于空间分集、波束赋形和空间复用等技术,提高了系统的可靠性和系统容量。无线通信中天线尺寸与信号波长成正比,毫米波的波长较短,所对应的天线尺寸较小,适用于在基站端和用户端部署大量的天线,从而获得较高的天线阵列增益。

MassiveMIMO 技术则是集成更多天线形成大规模天线阵列,基站可同时向更多用户发送和接收信号,能够提高系统的整体容量,同时能够降低误码率。结合毫米波具有丰富频谱资源,可以为无线通信提供丰富的带宽,将获得更高的数据传输速率和能量效率。

### 1.3 毫米波的应用

在 5G 通信网络的建设中采用 Sub6GHz 频段, 将以宏站覆盖为主。随着 5G 终端直连技术 D2D 的广泛应用, 无线覆盖网络将立体组网的密度将会大幅增长, 引入毫米波频段已成为移动通信必由之路, 同时由于毫米波的传输距离短, 覆盖范围有限, 小范围组网是必然。

毫米波基站回传要求网络具有稳定、可靠、高速率, 传统无线的传输方式很难满足要求, 5G 通信毫米波系统可以提供大带宽、高峰值速率的技术指标, 同时毫米波的频点高、波长短, 能够在相同区域内实现天线阵列布防, 波束能量更加集中, 5G 毫米波完全满足基站回传的各项网络特性。

毫米波垂直行业专网可利用 5G 毫米波与低频段无线系统进行混合组网, 提供大带宽和高速率的公网服务, 还可以将部分频点单独规划, 提供面向行业用户的业务专网服务。随着 5G 网络应用的不断发展移动边缘计算和人工智能技术迅速发展, 5G 毫米波势必融入其中, 5G 毫米波将充分发挥其技术优势, 提供大容量、高速率和本地化的智能服务, 可充分满足行业大带宽、低时延和安全的网络指标要求。

## 2 透镜天线

透镜天线基于电磁波的聚焦原理, 利用人工介质圆柱透镜与天线结合, 将发射或接收的电磁波聚焦, 使能量密度提高百倍。透镜天线具有高增益、垂直波瓣宽、损耗小、天线效率高的优势。

随着 5G 通信技术的发展, 5G 终端直连技术 D2D 大幅提升频谱资源利用效率和吞吐量, 增大网络容量, 保证通信网络更为灵活、智能、高效地运行。5G 通信技术在毫米波高频领域, 微带天线通过传统的阵列技术已经无法有效地提高现有天线的增益, 天线的物理尺寸也逐渐趋于大型化; 透镜天线在应用 5G 终端直连技术 D2D、车载雷达技术中时, 发射、接收天线的增益、波束、副瓣和尺寸都会有更严格的技术要求, 提高天线增益、压窄波束、抑制旁瓣和减小天线尺寸成为当前必须解决的问题, 透镜天线的应用将有利于问题的解决, 是一种有效的解决方案和途径。

### 2.1 透镜基本原理简介

通过几何学相关理论(费马原理、等光程原理、Snell 折射定律、反射定律以及波的色散理论、龙伯透镜理论), 透镜天线的原理是通过波束路径的弯折和对波速的改变, 使馈源发射的任意波束经透镜抵达某平面的总相位变化为恒定值。透镜天线可分为介质透镜和波导透镜, 介质透镜天线广泛应用于高增益天线, 加载介质透镜有效地减少了天线阵列的规模, 减小天馈系统的尺寸, 介质透镜从技术工艺上在 5G 通信应用中有较高的价值。

### 2.2 人工介质圆柱透镜天线

人工介质圆柱透镜天线其内部结构简单、信噪比高、天线效率高, 高速的数据传输的误码率低, 具有的高增益、垂直波瓣宽、损耗小、天线效率高优势, 利用龙伯(也称“龙勃”)透镜对电磁波的聚焦原理, 将人工介质圆柱透镜与天线结合, 可对发射或接收的电磁波聚焦, 使最大能量密度提高百倍。使用介质圆柱透镜天线基地站的覆盖面积是使用传统板状天线基地站的覆盖面积 4-9 倍。

人工透镜天线在实际场景应用中对比 5G 通信系统中的 AAU 天线电费节约 30%; 天线口径能耗比在 65%以上; 3dB 无线覆盖范围提升 2 到 3 倍, 替换后信号覆盖区域连续, 通信指标提升显著, 同时天线物理尺寸有明显优化, 有效降低了塔类的风荷 65.6%, 减轻了塔类负担。

人工透镜天线在无线覆盖场景中比原有 33° 高铁 FA 天线, 平均 RSRP 提升 9.01dB, 综合覆盖率: RSRP>-110dB 且 SINR>-3dB 的区域占比提升 15.61%, 下行速率提升 34.8%, 上行速率提升 27.3%, VoLTE 全程呼叫成功率提升至 100%掉话率降至 0.00%。

### 2.3 透镜天线无线网络覆盖中应用场景

依据透镜天线的实际物理特性, 透镜天线主要可应用于高铁、高速路覆盖场景, 应用于狭长地带的连续覆盖, 对于对农村带状区域进行有效覆盖, 在实际网络部署中可采用“隔站闭站”的组网方案, 通过对覆盖沿线的站址资源进行整体分析, 采用隔站部署透镜天线的方式, 对带状覆盖区域内的站址进行优化, 无线站点部署点数降低了 50%, 对未部署的中间站点可根据实际情况进行闭站操作。

在兰新高铁透镜替换项目中, 兰新线某段运营路段, 根据现网梳理原有站点 12 个, RSRP>-95dBm 覆盖区域为 66.35%,

对现有站点进行透镜天线替换改进，运行段站址数优化为 6 个，闭站 6 个，RSRP>-95dBm 覆盖区域为 76.20%，整体网络指标有所提升，从整体数据来看，透镜天线在现有网络部署中能够有效节省站址资源，同时对同区域覆盖信号质量有所提升。

表 1 兰新高铁运行车厢中实测信号数据如下：“隔站闭站技术”与现网数据进行对比

覆盖方式	现网板状天线	替换透镜天线
站址数	12 个站点	闭站 6 个
RSRP>-95dBm	66.35%	76.20%
SINR>0	95.94%	99.56%
SINR>5	94.02%	95.76%

在 G30 高速路透镜天线替换项目中，对 G30 高速沿线站址进行梳理，以替换方式将 30 套基站天线，其中高铁沿线替换 28 套，G30 高速沿线替换 2 套。整体 G30 公路路段原有基站 130 座，试验后仅保留运行基站 73 座，即可完成此路段的全覆盖。试用效果较好，可在保证网络质量的同时减少 50%-60%的基站使用数量。

### 3 结束语

通过实际对透镜天线的了解，透镜天线在 5G 通信领域的应用具有很多优势，在 5G 毫米波领域的应用将更为广泛，透镜天线物理参数指标将有助于 5G 小区域覆盖及室内覆盖的部署，将广泛应用于 5G 终端直连技术的网络部署中；在现有网络部署中可利用较高覆盖性能指标，应用于铁路公路沿线、带状区域、城乡结合部的网络部署，对区域性覆盖和部署具有优化效果。

#### [参考文献]

- [1] 赵启东. Ka 频段双圆极化多波束集成透镜天线研究[D]. 浙江: 宁波大学, 2019.
- [2] 杨杰. 基于混合预编码架构的毫米波无线传输关键技术研究[D]. 江苏: 东南大学, 2018.
- 作者简介: 李东耀 (1985-), 男, 甘肃省兰州市人, 汉族, 大学本科学历, 中级工程师, 研究方向移动通信无线设计、无线通信组网技术与规划、5G 无线智能通信技术及应用。