

5G 基站前传和中传的无线光通信方案设计

杨乾远,孙晖,马拥华,刘学

(中国电子科技集团公司 第三十四研究所,广西 桂林 541004)

摘要:针对光缆不能达到 5G 基站前传和中传的应用场景,提出采用无线光通信手段解决其大容量的无线传输需求,并提出了无线光通信系统的设计方案。采用 4 通道无线光传输的方案实现最高 100 Gb/s 的通信速率;搭建了无线光通信测试系统进行测试,测试结果表明无线光通信设备可以在 1.1 km 的通信距离达到 100 Gb/s 的通信速率,其通信性能可以满足 5G 基站前传和中传的要求。

关键词:无线光通信;100 Gb/s;自动跟踪;前传和中传

中图分类号:TN929.533 文献标识码:A 文章编号:1002-5561(2019)09-0023-04

DOI:10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2019.09.005

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Design of free space optical communication scheme for forward and intermediate transmission of 5G base station

YANG Qianyuan, SUN Hui, MA Yonghua, LIU Xue

(The 34th Research Institute of CETC, Guilin Guangxi 541004, China)

Abstract: In view of the application scenario that optical cable can not reach 5G base station forward and intermediate transmission, this paper proposes to use free space optical communication means to solve its large capacity wireless transmission requirements, and puts forward the design scheme of free space optical communication system. Four-channel wireless optical transmission scheme is used to achieve the highest communication rate of 100 Gb/s. A free space optical communication test system is built to test the system. The test results show that the free space optical communication equipment can reach the communication rate of 100 Gb/s at a communication distance of 1.1 km, and its communication performance can meet the requirements of 5G base station forward and intermediate transmission.

Key words: free space optical communication; 100 Gb/s; automatic tracking; forward and intermediate transmission

0 引言

第五代移动通信(5G)被誉为“数字经济新引擎”,为自动驾驶、物联网、虚拟现实/增强现实(VR/AR)社交、大数据、云计算、区块链、人工智能和智能制造等提供关键支撑,是人类社会生产、生活方式产生又一次重大变革的技术基础。随着工信部向中国电信、中国移动、中国联通和中国广电发放 5G 商用牌照,标志着 5G 正式开始商用化,5G 离我们越来越近。5G 基站

作为 5G 网络覆盖的基础,其规模将会越来越大,要完成我国 5G 信号的全覆盖,预计要建设大量的室外基站。由于 5G 的频段高、覆盖范围小以及 5G 基站在市区的建设密度大,且部分 5G 基站建设时会受到地形环境等因素的限制,导致光缆无法达到,需要采用无线传输方式解决基站的接入。在国外,由于土地私有化等因素,在基站建设时光缆到位率差,大概有 30%以上的基站需要采用无线接入的方式。5G 基站的接入网络分为前传、中传和回传,前传速率为 25 Gb/s,中传速率为 25~100 Gb/s,回传速率在 100 Gb/s 以上,如此高的通信速率是目前传统的无线通信手段毫米波/微波通信无法解决的。而无线光通信是采用激光为载波的一种点对点的无线通信方式,其具备通信容量大、不占用频谱资源和不向外辐射电磁波等特点^[1],是解决光缆不能到达的 5G 基站接入的最佳无线通信手段。

收稿日期:2019-08-07。

作者简介:杨乾远(1980-),男,四川合江人,大学本科学历,高级工程师。主要研究方向是无线光通信技术。负责完成和即将完成的省部级、国家级项目 10 余项;获得省部级科技进步三等奖 2 项。



1 5G 基站无线接入需求分析

5G 基站接入网络的结构分为有源天线单元(AAU)、分布单元(DU)和集中单元(CU)。AAU 与 DU 之间称之为前传;DU 与 CU 之间称之为中传;CU 与核心网络(EPC)的连接称之为回传。CU、DU 和 AAU 可以采取分开部署和合并部署的方式,所以会出现多种网络部署形态,其接入网络结构如图 1 所示。

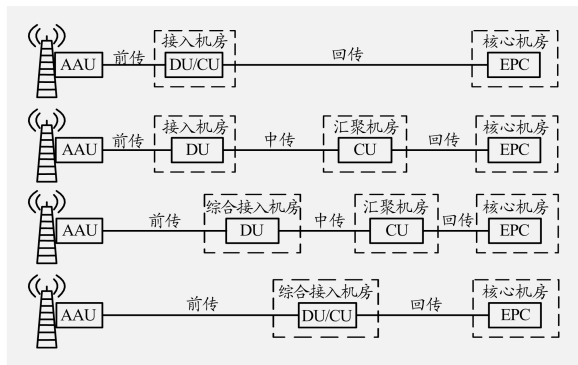


图 1 5G 基站接入网络结构

通常情况下,前传、中传和回传都采用光纤连接。前传距离在几百米以内,采用增强通用公共无线电接口(eCPRI),通信速率在 25 Gb/s 以内;中传通过 10 GE、25 GE、50 GE 或 100 GE 接口采用光缆连接,通信速率要求在 10~100 Gb/s 之间,在市区时距离通常在 1km 以内;回传主要是 CU 与核心网之间的连接,通信速率最大可能达到 100 Gb/s 以上,CU 通常会选择条件较好的汇聚机房部署,不会出现光缆不能到达

的情况。由于基站需要根据网络的覆盖情况进行部署,在市区受地形环境等因素影响时,光缆不能到达的地方大多为 AAU 和 DU 部署的地方,即前传和中传。而前传和中传的距离通常在 1 km 以内,距离较近,雨、雾和大气湍流等恶劣天气不会对无线光通信造成影响,可以充分发挥无线光通信容量大的优势,所以,无线光通信将是解决光缆不能到达基站前传和中传的最佳无线传输手段。

2 无线光通信系统设计

针对光缆不能到达 5G 基站前传和中传对无线光通信的应用需求,本文设计了无线光通信系统,其原理图如图 2 所示。系统主要由通信处理单元、光学天线单元和自动跟踪单元组成。通信处理单元主要完成接口转换、光电转换、纠错编码、信号复用/解复用、电光转换和光功率放大等处理。光学天线单元主要完成发射激光束的扩束、整形以及接收光信号的汇聚、滤光和耦合等处理。自动跟踪单元主要完成激光束的实时精确自动跟踪。

2.1 通信处理单元设计

针对无线光通信的通信体制主要有相干通信体制和强度调制/直接探测(IM/DD)通信体制。相干光通信可以通过相移键控、正交振幅调制等多种格式的高阶调制,实现大容量的通信,其接收灵敏度比 IM/DD 通信高约 10~20 dB。目前,应用最成熟的数字相干光通信是通过模数(AD)转换采样将信号转换到数字域

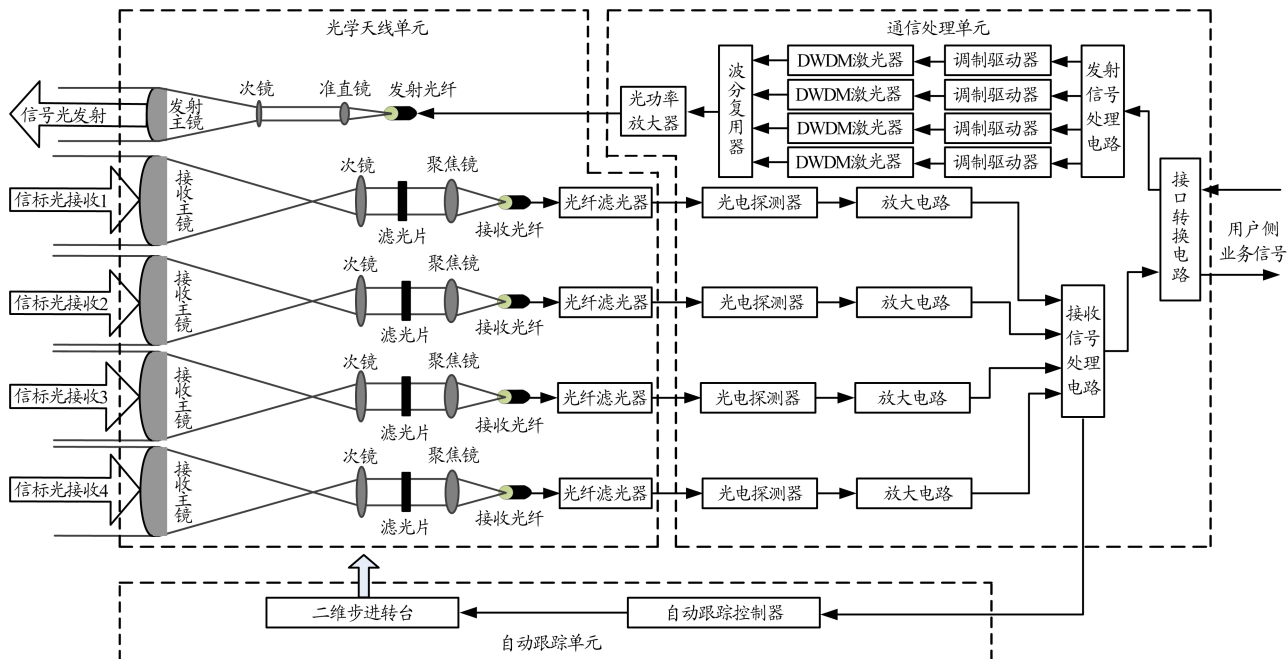


图 2 无线光通信系统实现原理图

处理,再通过数字信号处理器或现场可编程门阵列等数字信号处理技术来对中频信号进行二次解调,并对各种噪声、信道损伤进行均衡等复杂的数字信号处理,需要用到的窄线宽激光器、相干光调制器、混频器、平衡探测器和高速 AD 等,价格昂贵、成本高。另外,无线相干光通信必须将接收光信号耦合到单模光纤,对自动跟踪精度要求高,使自动跟踪单元更加复杂,成本增加。

IM/DD 的通信体制是通过调制激光信号的强度来传输信号的通信方式,它的优点是结构简单、易于实现、技术成熟和成本低,相关关键器件环境适应性好、可靠性高,是激光通信应用最广泛的通信体制。为了降低成本、便于无线光通信的工程应用推广,本文采用 IM/DD 的通信体制。

一般单个基站需要部署 3~4 个扇面天线来保证 360°的无线信号覆盖,所以,前传时单基站通常需要在 AAU 与 DU 之间传输 3~4 路 25 Gb/s 的光信号;而中传一般是采用 10 GE、25 GE、50 GE 或 100 GE 接口连接。根据 5G 基站前传和中传的需求,无线光通信系统最高通信速率设计为 100 Gb/s。通信处理单元由接口转换电路、发射信号处理电路、调制驱动器、密集波分(DWDM)激光器、波分复用器、光功率放大器、光电探测器、放大电路和接收信号处理电路等组成。

当无线光通信系统用于前传时,单基站需要同时传输 4 路 25 Gb/s 的光信号,提供 4 路透明传输光接口,每路最大通信速率为 25 Gb/s,用户侧光模块选择与 AAU 和 DU 接口兼容的光模块。4 路光接口分别通过光电转换将信号转换为电信号,再对 4 路信号分别进行纠错编码,然后将 4 路信号转换为 4 个波长的 DWDM 激光信号,经光功率放大后通过光学天线发射出去。为了保证足够的接收功率余量来抵抗雨、雾等恶劣天气对链路光功率的衰减,光功率放大输出功率设计为 80 mW。在接收端采用 4 路接收镜筒分别对 4 路 DWDM 激光信号进行接收,并进行光/电转换,解码后再转换为与用户接口兼容的激光信号;接收光电探测器采用雪崩光电二极管(APD)探测器,在 25 Gb/s 通信速率时接收灵敏度可达到-18 dBm。在光学天线端采用 DWDM 激光信号进行收发的主要目的是可以通过滤光的方式来实现 4 路空间激光信号的相互隔离,避免 4 路信号间的相互干扰。

当无线光通信系统用于中传时通常是采用 10 GE、25 GE、50 GE 或 100 GE 的接口连接,在用户侧选与 10 GE、25 GE、50 GE、100 GE 兼容的光模块来

连接 DU 和 CU。在无线光传输线路侧处理方案与前传时相同,采用这种方案的优点是可以提高无线光通信系统的通用性,针对前传和中传应用环境只需更换用户侧光模块即可。

2.2 光学天线单元设计

光学天线设计采用 1 路发射、4 路接收的光路结构,光学天线前面板布局如图 3 所示。整个光路由发射主镜、接收主镜、次镜、滤光片、聚焦镜和光纤滤光器等组成。发射和接收光路均采用透射式结构,主镜采用非球面透镜。为了保证在不同的通信距离使光学天线接收的光斑能同时覆

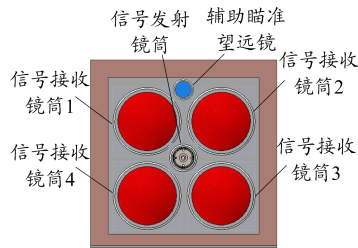


图3 光学天线光路布局示意图

盖 4 个接收镜筒,发射光路采用可变焦设计,通过改变次镜与主镜的距离来实现发散角的调节。发射主镜口径设计为 25 mm,主镜和次镜的距离设计为 134.5~144 mm(可调节),变焦范围为 0.5~5 mrad(连续可变)。4 路接收光路每路接收 1 个波长的光信号,采用了两级滤光的方式:第一级滤光采用空间滤光的方式,在接收聚焦镜前加滤光片,滤光片带宽为 5 nm,主要滤除空间背景光,减小背景光对通信的影响;第二级滤光采用光纤滤光的方式,将滤光片通过钢管与光纤封装在一起,带宽为 0.8 nm,从 4 个波长中滤出 1 个目标波长的光信号,隔离其它 3 个波长。为了减小设备的体积重量,接收透镜口径不易太大,设计为 60 mm,耦合到 62.5 μm 的多模光纤,数字孔径为 0.25,焦距为设计为 120 mm,接收视场为 0.52 mrad。

根据设计参数,4 路信号发射总功率为 80 mW,每路信号发射功率为 20 mW(即 13 dBm),发射光路效率为 95%,发射光发散角最小为 0.5 mrad,接收口径为 60 mm,接收光路的主镜、次镜、滤光片和聚焦镜等透过率引起的损耗为 1 dB。耦合损耗包括空间光耦合到光纤的损耗 0.5 dB 和光纤耦合到 APD 探测器的损耗为 3 dB,APD 接收灵敏度为-18 dBm,大气损耗按照工程经验为 1 dB/km,按照最远通信距离 1 km 计算链路功率冗余,如表 1 所示。接收功率冗余为 10.8 dB,可以保证在雨、雾等恶劣天气条件下通信的可靠性。

2.3 自动跟踪单元设计

应用于 5G 基站前传和中传的无线光通信设备是基于固定点架设,通常安装在铁塔、楼顶等确保没有阻挡空间光链路的高点。由于发射激光束的发散角

表 1 链路功率冗余计算列表

参数	数值	单位	备注
发射功率	13.0	dBm	每路信号光发射功率为 13 dBm
发射光路损耗	-0.3	dB	发射光路效率为 95%
几何损耗	-15.4	dB	发散角 θ 为 0.5 mrad,接收口径 d 为 60 mm,通信距离 L 为 1 km,考虑光斑高斯分布,计算公式为 $10\lg(\frac{d}{L\theta})^2+3$
大气损耗	1.0	dB	大气散射和吸收引起的损耗
接收光路损耗	-1.0	dB	主镜、次镜、滤光片和聚焦镜等透过率引起的损耗
光纤耦合损耗	-0.5	dB	空间光耦合到 62.5 μm 光纤的损耗
APD 耦合损耗	-3.0	dB	62.5 μm 光纤耦合到 APD 探测器损耗
APD 接收到的光功率	-7.2	dBm	—
APD 接收灵敏度	-18	dBm	25 Gb/s 时接收灵敏度为 -18 dBm
功率冗余	10.8	dB	—

小,铁塔、高楼的刚性晃动,以及安装支架的热胀冷缩等因素都可能导致激光束偏离接收镜头,出现接收功率变小而使通信质量下降甚至通信中断,需要采用自动跟踪技术来保证两端光学天线始终处于精确对准状态。由于固定点架设对跟踪速度的要求较低,所以采用低成本的基于功率检测的自动跟踪方案。自动跟踪单元由二维步进转台和自动跟踪控制器组成,主要是根据接收功率的大小来调节光学天线的俯仰和方位轴,搜索到两端光学天线同时接收到最大功率的光束指向位置,用于调节俯仰和方位轴的执行机构采用步进电机驱动的二维转台^[2]。

3 应用连接与试验结果分析

应用于 5G 基站前传和中传的无线光通信应用连接示意图如图 4 所示。当用于前传时,通过 1 套无线光通信系统传输 4 路 25 Gb/s 的光信号,连接 DU 到基站

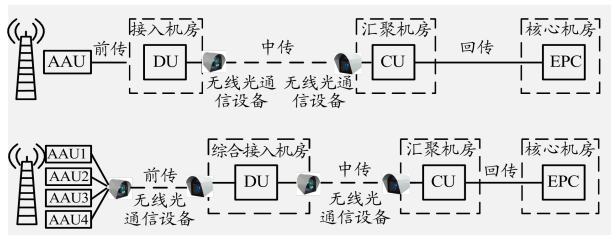


图 4 5G 基站前传和中传的无线光通信应用连接示意图

的 AAU,1 套无线光通信系统最多可连接 4 个扇面天线的 AAU;当用于中传时,通过 1 套无线光通信系统,经 10 GE、25 GE、50 GE 或 100 GE 的接口连接 DU 和 CU。

为了验证用于 5G 基站前传和中传的无线光通信性能,本文对无线光通信系统进行了外场测试,测试连接如图 5 所示。通信距离为 1.1 km,误码测试仪采用安立的 MP1900A 型测试仪,该测试仪单通道测试速率可达到 25 Gb/s。由于只有 1 台测试仪,在测试时将测试仪光输出接口通过 1 分 4 的光纤分路器分别接入一端无线光通信设备的 4 个光输入接口,保证 4 个通道均有测试信号在传输;另一端无线光通信设备的光输出和光输入接口环回,误码仪通过环回测试轮流分别对 4 路接收信号进行通信误码率测试,测试仪通信速率设置为 25 Gb/s,测试时长为 241 h,期间经历了雨、雾和晴天强湍流等天气,统计通信误码率为 1.25×10^{-10} ,可以满足 5G 基站前传和中传对误码率的要求。

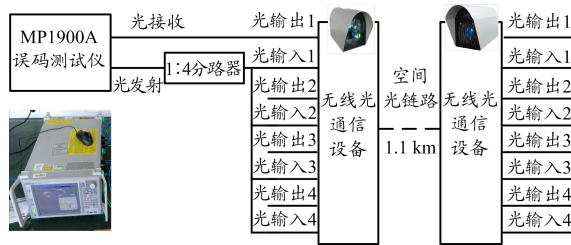


图 5 无线光通信系统测试连接示意图

4 结束语

无线光通信具备大容量、不占用频谱资源等特点,是解决光缆不能到达 5G 基站前传和中传的最佳无线传输手段。本文针对 5G 基站前传和中传介绍了无线光通信系统的设计思路、工作原理及试验情况,试验验证了无线光通信系统的大容量通信性能,为后续工程应用收集了数据、奠定了基础。本次试验仅仅只是验证了无线光通信系统的通信容量和通信性能,下一步还需要将无线光通信系统连接到 5G 基站的前传和中传网络中上业务进行验证,并根据验证的情况进一步对接口、编码等进行改进,同时还需要完善网管功能。

参考文献

- [1] 徐林,刘立国,甘润,等.单波道 10 Gb/s 大容量无线光通信设备设计和实验研究[J].光通信技术,2016,40(9):50-52.
- [2] 曾智龙,王志勇,雷利娟,等.一种新型 155 Mb/s 大气激光通信机研制[J].光通信技术,2009,33(6):38-40.