

5G 微波性能估算及应用研究

Research on 5G Microwave Performance Estimation and Application

曾云光,黄陈横(广东省电信规划设计院有限公司,广东 广州 510630)

Zeng Yunguang, Huang Chenheng (Guangdong Planning and Designing Institute of Telecommunications Co.Ltd., Guangzhou 510630, China)

摘要:

微波是常见的无线传输技术,以其部署快捷、经济有效以及便捷灵活等特点被广泛应用于各类通信系统的中继和回传场景。为满足当前5G网络基站回传带宽需求,基于E-Band 5G微波应运而生,其能够在高频段提供更高的带宽。通过介绍E-Band微波特性,给出E-Band链路预算及容量估算方法,结合实际场景提出部署方案,推动5G网络建设发展。

关键词:

5G;微波;E-Band;链路预算;容量

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2022.02.011

文章编号:1007-3043(2022)02-0060-06

中图分类号:TN925

文献标识码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Abstract:

Microwave is a common wireless transmission technology. It is widely used in relay and backhaul scenarios of various communication systems due to its rapid deployment, cost-effectiveness, convenience and flexibility. In order to meet the current 5G network base station backhaul bandwidth requirements, E-band based 5G microwave comes into being, which can provide higher bandwidth in high frequency bands. It introduces E-Band microwave characteristics, gives E-Band microwave link Indicator and capacity estimation methods, and proposes deployment plans based on actual scenarios to promote the development of 5G network construction.

Keywords:

5G; Microwave; E-Band; Link budget; Capacity

引用格式:曾云光,黄陈横. 5G微波性能估算及应用研究[J]. 邮电设计技术, 2022(2): 60-65.

0 引言

随着移动带宽的高速发展,网络容量增长迅猛,作为移动承载网重要回传方式之一的微波网络,面临超大业务容量和站址密集部署的双重挑战^[3]。如图1所示,根据ITU-R的频谱规划,常规6~42 GHz微波拥有的频谱资源小于20 GHz,其传送高带宽的频率资源消耗很高,其主流调制波道间隔多为14~56 MHz(少数国家为承载更大的容量,也有使用112 MHz,甚至224 MHz),要传输数百兆带宽的业务就必须采用高阶调制模式。若要传输更大容量的业务,就需要采用XPIC技

术或是多条微波链路组成平行链路,这无疑会带来更高的成本和更复杂的系统配置。同时经过多年的开发利用,越来越难以获取新的可用频点。由此可见,微波要能满足4G、5G网络高带宽业务的需求,需进一步依赖高频技术的发展,71~86 GHz E-band 1个频段的资源就有10 GHz,在很多国家是全新频谱,未被占用,可解决带宽相对不足的问题。未来越来越多的E-band频谱用于微波传输是大势所趋,是微波持续演进的主要方向。

1 微波演进概况

在通信技术迅速发展的今天,传输设备越来越丰富,越来越完善。光纤传输具有容量大,再生中继段

收稿日期:2021-12-28

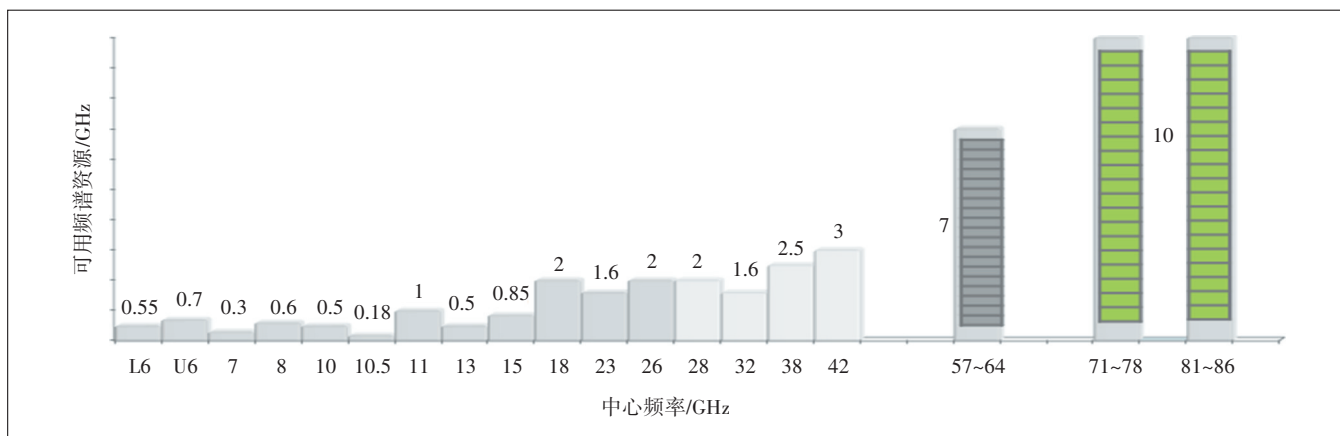


图1 ITU-R 微波频谱带宽资源

距离长,抗干扰能力及耐腐蚀性能力强等特点,光缆传输系统结构简单、技术成熟、成本低,性能优良,但光缆很脆弱,如在路面施工等工程活动中容易被破坏、易受自然灾害影响,并且有些特殊地形(崇山峻岭、江海河湖)是不便于铺设光缆的^[5],尤其在国外的土地私有化给光缆的建设带来了极大困难(手续多且烦,各种许可多达20多种),导致工程建设周期长。该场景下微波传输技术就成了光缆传输系统的一种很好的替代与备份,微波传输是一种较有效的无线传输手段,其抗灾害能力强,易于快速恢复,且发展越来越成熟,应用也越来越广泛。

如图2所示,1947年贝尔实验室在纽约和波士顿之间建设世界第一条模拟微波试验电路(TD-X),其采用频率调制(FM)方式,1950年4 GHz TD-2微波设备首次实现承载商用电话业务,60年代末期,为提高语音质量,首次出现数字微波系统,到80、90年代出现相对较高速率的PDH、SDH微波,伴随着IP化的进程,业界不断推出具有更高传输效率的IP微波。

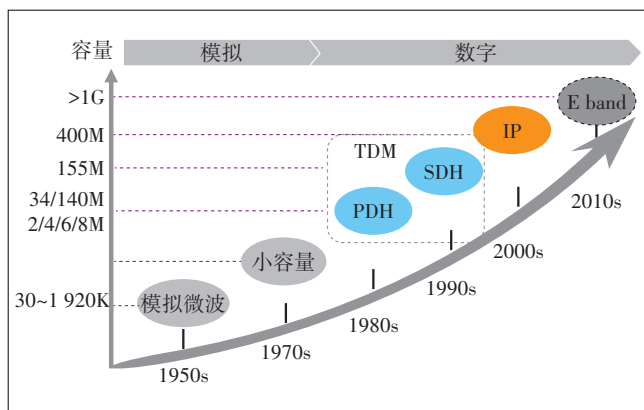


图2 微波发展历程

微波传输带宽从模拟时代的几十 kbit/s,到数字微波的几百 Mbit/s,单波道乃至E-band微波的1 Gbit/s,甚至于10 Gbit/s,完全可满足5G网络大带宽的传输部署需求。

5G网络开始被各国运营商纳入未来几年的网络建设日程,大规模的部署,部分新建基站光缆资源不足,使得基站业务回传及传输网络成环面临较大压力,微波则可作为移动回传的重要解决方案,替代光缆或作为光缆的补充,解决光缆短缺问题,实现5G网络快速部署,但微波常规频段频谱资源的利用率近乎饱和,且射频带宽较窄,难以满足5G基站对承载网络的大带宽需求。如何满足5G网络巨大的传输容量需求,业界将眼光投向了能提供超大带宽的E-Band微波。

2 微波频谱现状

微波是一种电磁波,微波的频率范围为300 MHz~300 GHz(波长:1 mm~1 m),而毫米波是介于微波和光波之间的电磁波,通常毫米波频段是指30~300 GHz,相应波长为1~10 mm。ITU-R频谱资源分布情况如图3所示^[1]。

E-Band微波频率为71~76 GHz/81~86 GHz,既是民用微波通信领域的最高传送频段,也是ITU-R一次性发放的频谱资源中波道间隔最大的频段^[6]。

E-Band ITU-R F.2006 Annex1波道划分情况如表1所示。

E-Band微波可支持250、500、750、1 000、1 500、2 000 MHz波道带宽,调制模式可在QPSK、8PSK、16QAM、32QAM、64QAM、128QAM、256QAM间任意设

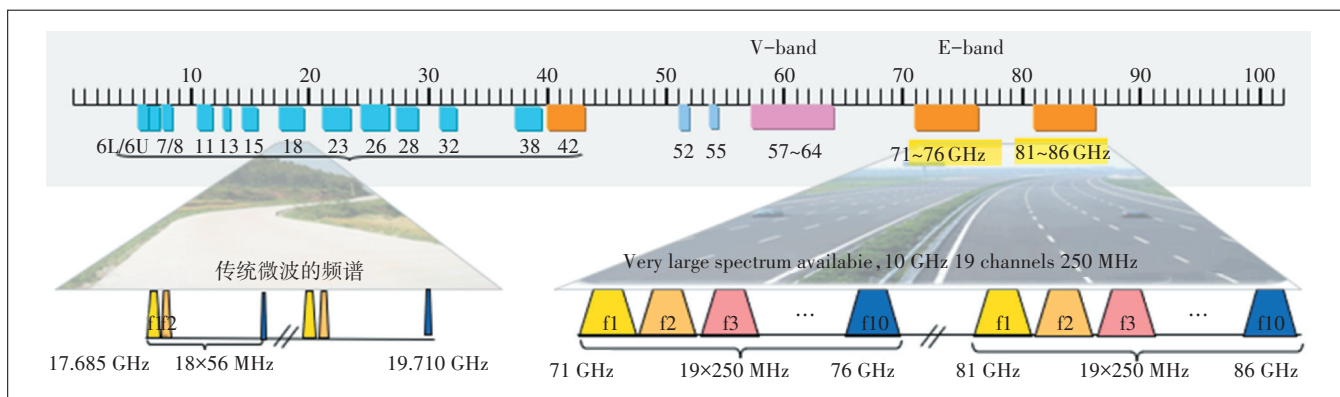


图3 频谱资源分布图

表1 E-Band波道划分表(ITU-R F.2006)

BW	CH#	F	F'	BW	CH#	F	F'
250 MHz	1	71 250	81 250	500 MHz	3	72 375	82 375
	2	71 500	81 500		4	72 875	82 875
	3	71 750	81 750		5	73 375	83 375
	4	72 000	82 000		6	73 875	83 875
	5	72 250	82 250		7	74 375	84 375
	6	72 500	82 500		8	74 875	84 875
	7	72 750	82 750		9	75 375	85 375
	8	73 000	83 000	750 MHz	1	71 500	81 500
	9	73 250	83 250		2	72 250	82 250
	10	73 500	83 500		3	73 000	83 000
	11	73 750	83 750		4	74 000	84 000
	12	74 000	84 000		5	74 750	84 750
	13	74 250	84 250		6	75 500	85 500
	14	74 500	84 500	1 000 MHz	1	71 625	81 625
	15	74 750	84 750		2	72 625	82 625
	16	75 000	85 000		3	74 125	84 125
	17	75 250	85 250		4	75 125	85 125
	18	75 500	85 500	1 500 MHz	1	71 875	81 875
	19	75 750	85 750		2	74 375	84 375
500 MHz	1	71 375	81 375	2 000 MHz	1	72 125	82 125
	2	71 875	81 875		2	74 625	84 625

置。

3 E-Band 链路指标评估

为保证微波通信质量,微波接收电平设计值应不小于设备接收灵敏度(见图4),其计算公式为:

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} - A_0 + G_{RX} - L_0$$

式中:

P_{RX} ——接收电平

G_{TX} ——发射功率

G_{RX} 、 G_{TX} ——收、发天线增益

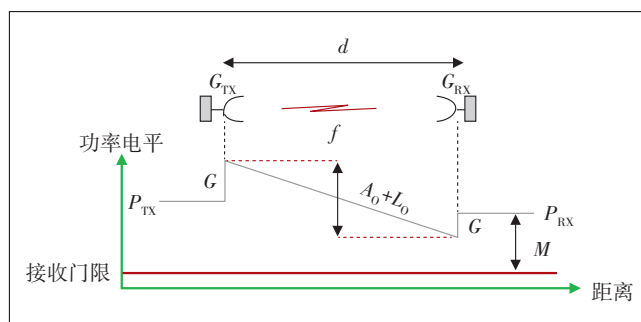


图4 微波链路图示

A_0 ——自由空间损耗

L_0 ——路径各种损耗(如雨衰、大气损耗等)

实际设计时应考虑一定的衰落储备(M),以满足链路的可用度,衰落储备(M)=接收电平设计值-设备接收灵敏度(含电磁干扰的实际灵敏度)。

一般而言,微波传输的距离同时受到自由空间损耗、地形及气候的影响。

其中,自由空间损耗: $A_0 = 92.4 + 20 \log d + 20 \log f$ (d 的单位为 km, f 的单位为 GHz)。E-Band 微波 71~76 GHz 的自由空间路径损耗大约是 130 dB, 81~86 GHz 的自由空间损耗是 131 dB。高于传统频段下的自由空间损耗,从而 E-Band 微波的传输距离要远小于其他传统频段微波。

图5给出大气衰减示意,从图5可以看出,在 71~86 GHz 这个范围内,大气对 E-Band 的衰减是很低的,基本小于 0.5 dB/km^[7]。

雨衰:对于 10 GHz 以上的微波,雨衰会直接限制微波传输的距离。E-Band 微波在不同雨区(概率为 0.01%)的雨衰值如表2所示。

从表2可知,在极端气候情况下,如热带雨林降雨(P 为 145 mm/h),雨衰高达 45 dB/km 左右,但这一般只发生在短时间内,而且在网络设计时,可以通过预留

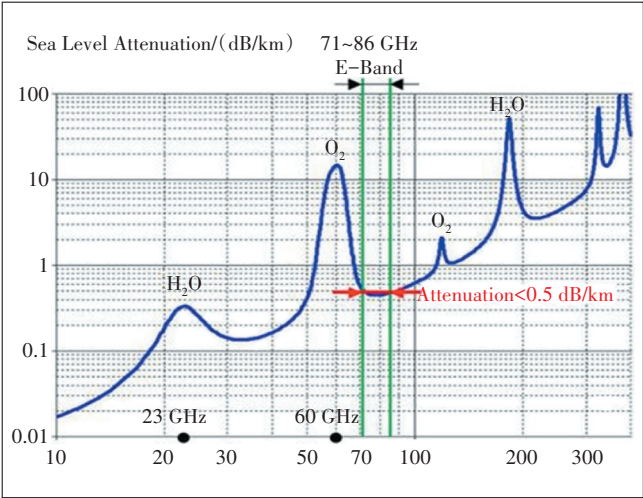


图5 大气衰减示意图

表2 E-Band微波不同雨区雨衰值

频率/ GHz	K_H	K_V	α_H	α_V	降雨 区	降雨量/ (mm/h)	水平极化 V_H /(dB/km)	垂直极化 V_V (dB/km)
80	0.975	0.906	0.769	0.769	K	42	17.27	16.05
80	0.975	0.906	0.769	0.769	M	63	23.59	21.92
80	0.975	0.906	0.769	0.769	N	95	32.35	30.06
80	0.975	0.906	0.769	0.769	P	145	44.78	41.61

余量来适应天气变化。可通过降低调制模式(自适应调制功能)来适应天气的变化,提升网络可靠性。

通常来说,只有赤道附近的N雨区和P雨区的国家和地区每年降雨有0.01%的可能超过100 mm/h,因此雨衰对E-Band微波通信系统的严重影响只限在赤

道附近降雨量丰富的某些特定国家和地区,在地球上绝大多数区域,降雨带来的衰落基本均可以接受。E-Band基本不受云雾的影响。即使是能见度为50 m,密度为0.1 g/m³的浓雾,对E-Band也仅能产生0.4 dB/km的衰落,基本可以忽略不计。

表3为1 GHz波道带宽,调制模式为16QAM,采用0.3 m H极化天线以及1GHz波道带宽,调制模式为16QAM,采用0.6 m H极化天线的E-Band微波链路质量指标计算(P雨区)。

4 E-Band传输距离及容量估算

以降雨量最大的P降雨区为例,E-Band微波典型的传输距离及传输容量估算如表4所示^[8]。

从表4可以看出:受高频段自有特性影响,年可用度在99.9%时,E-Band在P雨区传输距离约3 km。

不同波道带宽年可用度在99.9%可保证的传输容量如表5所示。

5 E-Band微波部署方案

为适应短距离密集业务点传输的需求,E-Band微波紧凑型全室外(Fully Outdoor)以太网传输设备,产品均设计成全室外形态,以便于实现灵活的“零站址”安装,可用于移动通信回传业务、环网连接、专业通信网的大容量数据传输。

为保证通信业务的可靠性和提供大容量业务,E-Band微波一般不单独部署,业界推荐采用与常规频段

表3 E-Band微波链路质量指标计算(P雨区)

序号	指标名称	A站	B站	A站	B站	备注
1	发信功率PTX /dBm	15.0	15.0	15.0	15.0	
2	天线直径D/m	0.30	0.30	0.60	0.60	
3	天线增益GT/dBi	43.0	43.0	49.0	49.0	GT=20×lg(D×F)+20.417+10×lg(32%)
4	中心频率F/GHz	80.00		80.00		
5	站距D(km)	0.50		1.00		
6	自由空间损耗LF /dB	124.44		130.46		LF=92.4+20×lg(F×D)
7	正常收信电平RX(不考虑降雨)/dBm	-23.44		-17.46		RX=PTX+2×GT-2×LK-2×LZ-LF
8	降雨区	P		P		
9	每公里降雨损耗V(概率为0.01%)/(dB/km)	44.96		44.96		
10	有效降雨距离DE/km	0.47		0.89		
11	降雨损耗LR(概率为0.01%)/dB	21.13		39.86		LR=DE×V
12	收信门限电平RTH(BER=10-6)/dBm	-62.00		-62.00		16QAM
13	干扰储备FMI /dB	25.00		25.00		
14	无降雨时的衰落储备FM /dB	13.56		19.54		FM=RX-RTH-FMI
15	年不可用/%	0.0306		0.0575		

表4 E-Band微波典型的传输距离及传输容量估算表

①P雨区,储备27 dB,射频带宽500 MHz,天线0.3 m,可用度99.99%						
站距/km	0.5	1	1.5	2	2.5	3
传输速率/(Gbit/s)	3	1.5				
②P雨区,储备27 dB,射频带宽500 MHz,天线0.6 m,可用度99.99%						
站距/km	0.5	1	1.5	2	2.5	3
传输速率/(Gbit/s)	3.4	3	1.1			
③P雨区,储备27 dB,射频带宽1 GHz,天线0.3 m,可用度99.99%						
站距/km	0.5	1	1.5	2	2.5	3
传输速率/(Gbit/s)	5.4	2.3				
④P雨区,储备27 dB,射频带宽1 GHz,天线0.6 m,可用度99.99%						
站距/km	0.5	1	1.5	2	2.5	3
传输速率/(Gbit/s)	6.2	5.4	1.5			
⑤P雨区,储备25 dB,射频带宽500 MHz,天线0.3 m,可用度99.9%						
站距/km	0.5	1	1.5	2	2.5	3
传输速率/(Gbit/s)	3	2.6	2.3	1.9	1	
⑥P雨区,储备25 dB,射频带宽500 MHz,天线0.6 m,可用度99.9%						
站距/km	0.5	1	1.5	2	2.5	3
传输速率/(Gbit/s)	3.4	3.4	3.4	3	2.6	2.3
⑦P雨区,储备25 dB,射频带宽1 GHz,天线0.3 m,可用度99.9%						
站距/km	0.5	1	1.5	2	2.5	3
传输速率/(Gbit/s)	5.4	4.6	3.8	3	1.5	
⑧P雨区,储备25 dB,射频带宽1 GHz,天线0.6 m,可用度99.9%						
站距/km	0.5	1	1.5	2	2.5	3
传输速率/(Gbit/s)	6.2	6.2	6.2	5.4	4.6	3

微波搭配使用,组成双频微波,充分融合常规微波(链路可用度高,但容量较小)与E-Band微波优点(链路

表5 不同波道带宽年可用度在99.9%可保证的传输容量

信道带宽/MHz	500	750	1 000	1 500	2 000
传输容量/(Gbit/s)	> 3	> 4	> 5	> 7.5	> 10

容量大,但可用度偏低)。

在天气正常时,负载能由各链路分担,多条链路同时传业务是基本要求;当E-Band受天气影响可用度较低、容量变小甚至中断时,业务切换至常规微波,同时通过QoS管理,保证天气变差时先丢低优先级业务,高优先级业务是最后被丢弃的(见图6)。

天线半功率角 $= (65^{\circ} \sim 70^{\circ}) \times \text{波长} / \text{天线口径}$,由此可知,半功率角与频率、天线口径成反比。表6给出了E-Band天线不同天线口径的半功率角。

E-Band微波的天线波束角会比较狭窄,天线对调的难度和工程要求较高,除前面提到的大气吸收和雨衰影响外,设备对风速和振动造成的影响也相对敏感^[4],对杆塔的要求比较高。

摆角对微波链路质量的影响如图7所示(以0.6 m天线为例)。

由图7可知,0.6m E-Band天线在摆角为 $\pm 1^{\circ}$ 左右时,链路衰减值可达30 dB,链路基本不可用。杆塔设计时顶部摆角一般要求不超过 1° ,微波天线应安装在杆塔高度的2/3以下,灯杆、电线杆、拉线塔等摆角较大的杆塔不适合E-Band微波部署(见图8)。

为克服因环境引起杆塔在一定范围内晃动或位

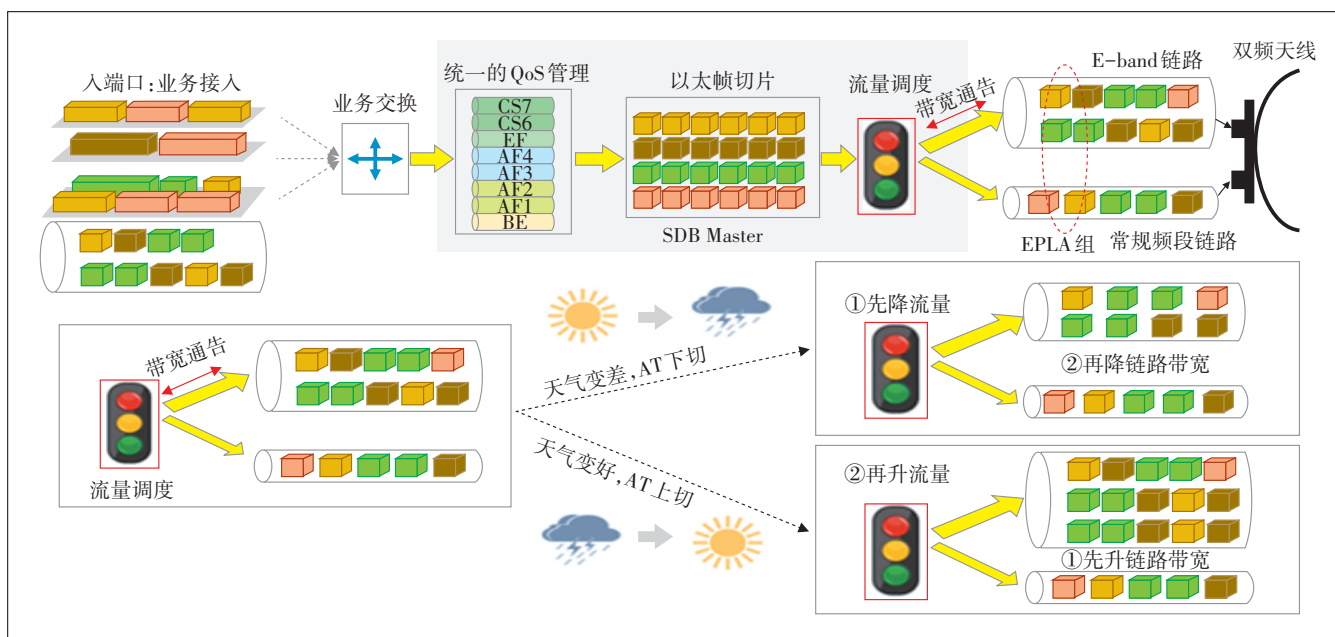


图6 双频微波工作机理

表6 E-Band天线不同天线口径的半功率角

频段	80 GHz	80 GHz
天线口径/m	0.3	0.6
3 dB功率角 α	$0.9^\circ (\pm 0.45^\circ)$	$0.5^\circ (\pm 0.25^\circ)$

注:因E-band微波大口径天线半功率角过小,基站杆塔难以满足,目前E-Band天线只有0.3 m和0.6 m 2种口径。

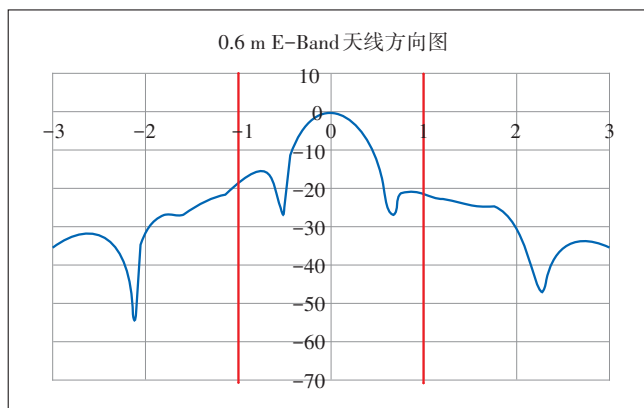


图7 摆角对微波链路质量的影响

移时造成E-Band微波链路质量降低甚至不可用,最近个别厂商推出了智能波束跟踪(Intelligent Beam Tracing, IBT)天线,该天线波束将自动保持恒定方向,可降低E-Band微波对杆塔稳固性的苛刻要求,大大提高E-Band微波部署灵活性。

6 结论

随着移动通信网络技术发展,基站业务对传输带宽提出了更高的要求,在光缆无法到位或是成本过高的情况下,E-Band微波是5G传输的重要手段,是运营商本地传输网络的重要补充,其全室外的解决方案为5G网络的快速部署赢得了宝贵时间,本文提供的E-Band覆盖指标及容量估算结果可供后续网络部署参考。

参考文献:

- [1] Radio-frequency channel and block arrangements for fixed wireless

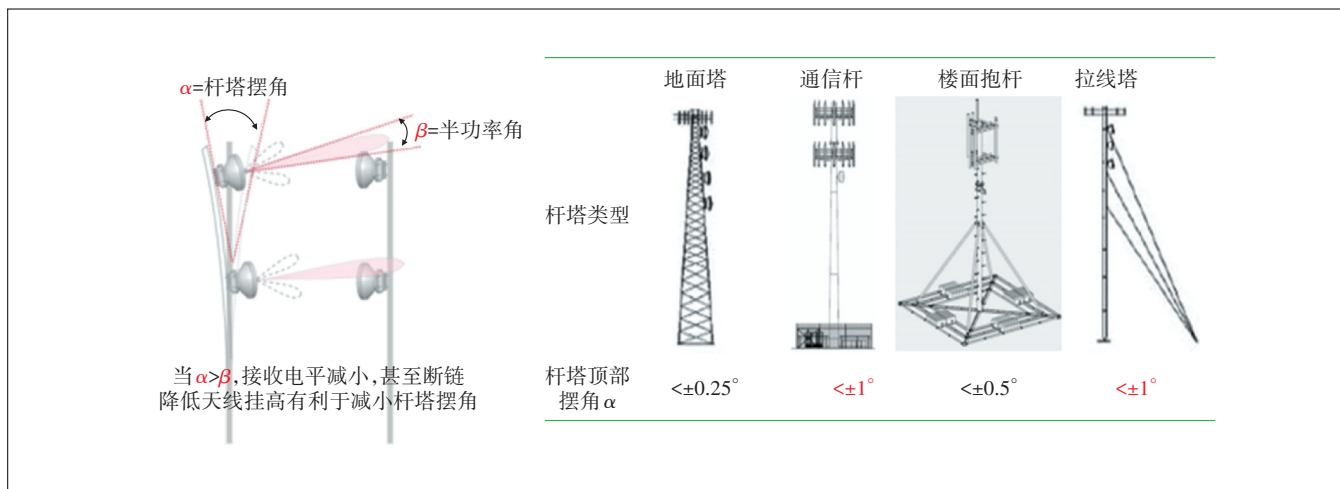


图8 E-Band微波部署场景要求

systems operating in the 71–76 and 81–86 GHz bands; ITU–R F. 2006–2012 [S/OL]. [2021–12–18]. https://xueshu.baidu.com/usercenter/paper/show?paperid=1s2x08d0c41a02u00p5t0gy07k124295&site=xueshu_se.

- [2] 殷晓伟. E-BAND微波-微波传输新星[J]. 信息与电脑(理论版), 2014(5): 171–172.
- [3] 腾讯科技. 第2代E-Band微波: LTE时代的选择[EB/OL]. [2021–03–18]. <https://tech.qq.com/a/20130228/000112.htm>.
- [4] C114中国通信网. E-Band微波,未来移动宽带承载舞台的明星[EB/OL]. [2021–12–18]. <http://www.eepw.com.cn/article/154716.htm>.
- [5] 邓涛. 微波及毫米波技术在网络通信中的应用研究[J]. 通信世界, 2000(24): 24.

- [6] 王京飞. E-Band微波在TD-LTE业务回传等传输接入层场景下应用分析[J]. 电信工程技术与标准化, 2015, 28(4): 58–61.
- [7] 韩超, 杨宁, 马云刚. E-BAND微波助力移动基站前传[J]. 山东通信技术, 2017, 37(2): 15–20.

作者简介:

曾云光,毕业于湖北工业大学,主要从事移动网络咨询设计研究工作;黄陈横,毕业于中国科学技术大学,工程师,硕士,主要从事移动网络咨询设计研究工作。

