

5G 覆盖能力综合分析

Comprehensive Analysis of 5G Coverage Capability

汤建东,肖清华(华信咨询设计研究院有限公司,浙江 杭州 310014)

Tang Jiandong, Xiao Qinghua(Huaxin Consulting Co.,Ltd.,Hangzhou 310014,China)

摘要:

简要介绍5G系统的频段,概括分析大规模阵列天线的信道及增益模型,在介绍信道RB分配和MCS调制与频谱效率的基础上,具体阐述了5G上下行链路的覆盖能力。通过对业务信道和控制信道的链路预算分析,对其上下行覆盖瓶颈做出了详细的归纳和总结。另外,结合不同频段以及不同通道数的MIMO条件下5G的覆盖能力,对即将到来的5G的组网及优化给出了建议。

关键词:

5G;链路预算;控制信道;业务信道;大规模阵列天线

doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2019.06.007

中图分类号:TN929.5

文献标识码:A

文章编号:1007-3043(2019)06-0028-05

Abstract:

It briefly introduces the frequency band of 5G system and analyzes the massive MIMO channel and its gain model in general. On the basis of introducing channel RB allocation and MCS modulation and spectrum efficiency, it gives the 5G system coverage ability including uplink & downlink. By analyzing the link budget of traffic channel and control channel respectively, the bottlenecks of uplink and downlink coverage are summarized in detail. In addition, combined with the coverage of 5G under different frequency and MIMO conditions, the relevant guidance for the upcoming 5G networking and optimization is given.

Keywords:

5G; Link budget; Control channel; Traffic channel; Massive MIMO

引用格式:汤建东,肖清华. 5G覆盖能力综合分析[J]. 邮电设计技术,2019(6):28-32.

0 前言

随着移动互联网与物联网呈指数级发展,新业务层出不穷,4G已经逐渐无法满足用户越来越高的体验要求。在此情形下,5G^[1]应运而生,它将更加智能化与自动化,能够支持更多样化的场景,融合更多种无线接入方式^[2]。但相对4G网络而言,5G应用技术到目前为止仍然欠完善,产业链仍然欠成熟。因此,需要投入更多的精力去研究如何根据差异化的场景去部署和优化5G网络^[3]。

本文主要致力对运营商应用最广的5G增强移动宽(eMBB)系统覆盖能力进行研究。截至目前,尚没有足够的文献能够系统地对5G系统的链路预算及其覆盖能力进行研究,原因是5G系统采用了比4G更灵活复杂的多流MIMO^[4],且5G的频段分布更为宽泛。早在2018年初,笔者就详细分析了5G在国内频段的分配情况^[5],由于全球在分配5G频谱的节奏不统一,带宽也不一致,这也会导致5G在不同国家或区域呈现出协同定位、兼容性的问题,这也需要后期加以关注并跟踪。

江巧捷等人^[6]重点剖析了5G传播模型,这对于测算5G覆盖半径大有裨益。王凤明等人^[7]简单地叙述

收稿日期:2019-03-18

了5G的链路预算与站址规划等相关内容。陈杨等人^[8]在此基础上相对深入地分析了5G系统的覆盖能力,但对于链路预算与MIMO流、系统频段的关系则只字未提。

1 系统频段与 Massive MIMO

根据笔者在文献[5]中的观点,5G系统将来主要使用小于6 GHz的低频段和大于24 GHz的高频段。考虑到产业链的成熟度问题,在5G部署前夕,将更可能先运用低频段,一方面覆盖能力更强,有助于节省运营商的投资,另一方面也容易与3G/4G网络融合。在小于6 GHz的低频段中,3 300~3 400 MHz已经基本明确运用于室内分布,3 400~3 600 MHz(3.5 GHz频段)产业链最成熟,应用将最广。而4 800~4 900 MHz的低频段(5 GHz频段)也可能是一个运用较多的频段。因此,本文主要针对3.5 GHz与5 GHz这2个频段进行分析。在区域类型方面,诸如密集市区、一般市区、郊区和农村等4个最为典型的区域,限于篇幅,本文选择最广泛使用的一般市区场景进行分析。

5G系统已经明确采取大规模天线Massive MIMO,能够实现在三维空间产生灵活指向用户的窄波束,通过精确的信道相关性估计、干扰抑制等,实现多流复用,从而极大提升频谱效率。对于Massive MIMO的性能,本文不展开研究,只分析与5G覆盖能力相关的天线增益。

如图1所示,假设Massive MIMO由M个阵列组成,每个阵列由N个阵元构成,每个阵元又包含T个双极化阵子,总体相当于 $2 \times M \times N$ 个通道的MIMO天线。该MIMO天线的增益计算如下:

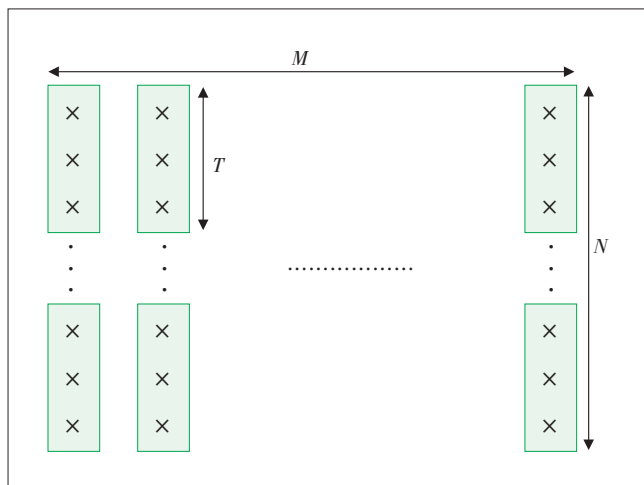


图1 Massive MIMO 天线模型

$$Gain_{MIMO} = Gain_{ZY} + Gain_{ZYF} + Gain_{BF} + Gain_{DP} \quad (1)$$

式中:

- Gain_{ZY}——阵元增益
- Gain_{ZYF}——阵元的分集增益
- Gain_{BF}——该天线的赋型增益
- Gain_{DP}——阵子的双极化增益

在下文的链路预算中,将把天线的增益统一纳入到Gain_{MIMO}中,不再细分天线增益。以目前应用最广泛的64通道MIMO为例, $M=8, N=4, T=3$,则其下行信道总体增益 $Gain_{MIMO} = Gain_{ZY} + Gain_{ZYF} + Gain_{BF} + Gain_{DP} = 6 + 10\lg(N \times T) + 10\lg M + 10\lg 2 = 28$ dB,而对于上行控制信道,由于缺少Gain_{BF}= $10\lg 2 = 3$ dB,其总体信道增益为25 dB。类似地,如果是256通道的MIMO,其上、下行信道增益分别是31、34 dB。

2 RB分配与 MCS

5G系统由于使用了OFDM/NOMA调制,用户的数据速率由其分配的PRB个数及选择的MCS等级所决定,而RB分配也与MCS相关,MCS取决于SINR值, RB分配量会影响SINR值,所以MCS、分配RB量、SINR值和用户速率四者之间会相互影响,这也是导致5G调度算法比较复杂的原因。5G控制信道与业务信道采取不同的编码方式,前者采用Polar极化码,后者采用准循环LDPC码,不同信道、不同的编码方式也导致了在不同的调制方式下,即使在同样的BLER目标下,所需要的SNR也不同,比较而言高阶调制方式对SNR值要求更高。图2给出了业务信道LDPC码在

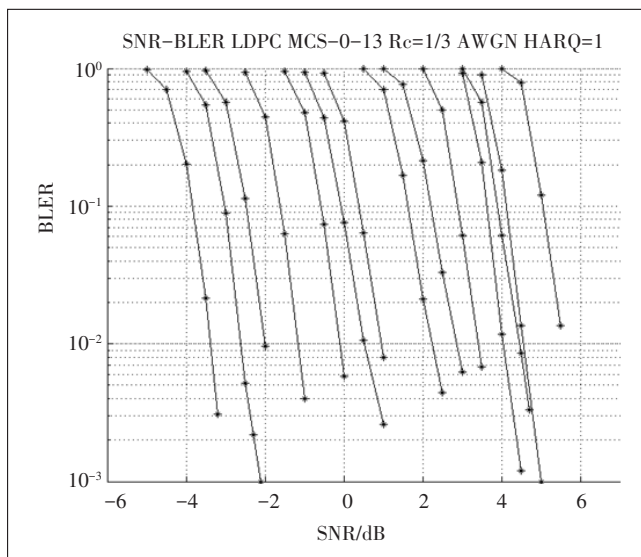


图2 LDPC码MCS0-13的SNR仿真

MCS0~MCS13的SNR仿真结果,其他的类推。
不同的MCS对应不同的频谱效率,如表1所示。

表1 MCS与频谱效率

支持256QAM调制方式				不支持256QAM调制方式			
MCS Index	调制阶	目标码率×1024	频谱效率	MCS Index	调制阶	目标码率×1024	频谱效率
0	2	120	0.234 4	0	2	120	0.234 4
1	2	193	0.377 0	1	2	157	0.306 6
.....							
4	2	602	1.175 8	4	2	308	0.601 6
27	8	948	7.406 3	27	6	910	5.332 0
28	2	reserved		28	6	948	5.554 7
.....							
31	8	reserved		31	6	reserved	

RB分配量测算方式如式(2)所示:

$$All_{RB} = \frac{V_{e_{sv}}}{Sc_{car}} \cdot \frac{F_{e_{MCS}}}{LE_{ch}} \quad (2)$$

式中:

- $V_{e_{sv}}$ ——业务速率
- $F_{e_{MCS}}$ ——信道采取相应MCS的频谱效率
- Sc_{car} ——子载波宽度
- LE_{ch} ——链路开销

需要说明的是, Sc_{car} 表示1个RB占用的12个连续子载波,而与LTE不同的是,子载波带宽可在15、30、60、120、240 kHz中任意选取,一般选择常用的30 kHz。链路开销区分上、下行链路。上行链路包括PUCCH、PRACH等,下行链路包括PDCCH、PBCH等,不同信道在不同的子载波带宽条件下开销是不同的,具体可参见文献[9],本文不再赘述,只给出结果:上行链路在30 kHz子载波带宽下的合计链路开销约为25%,下行链路则约为29%。

3 5G上下行链路预算

5G链路预算的测算机理与流程与LTE类似,只是上述关键参数取值存在差异而已。

3.1 5G上行链路预算

上行链路预算又可分为控制信道和业务信道的链路预算,两者均适用于:

$$PL_{UL} = P_{out_UE} - L_{f_{hm}} - S_{NR} + Ga_{MIMO} - L_{kj} - L_p - M_f - M_i \quad (3)$$

式中:

- PL_{UL} ——上行链路最大传播损耗(dB)
- P_{out_UE} ——终端最大发射功率(dBm)
- $L_{f_{hm}}$ ——人体损耗(dB)
- S_{NR} ——基站接收灵敏度(dBm)
- Ga_{MIMO} ——MIMO天线增益(dBi)
- L_{kj} ——馈线和接头损耗(dB)
- L_p ——建筑物穿透损耗(dB)
- M_f ——阴影衰落余量(dB)
- M_i ——干扰余量(dB)

3.1.1 业务信道

在取定上文的典型参数和常规参数前提下,以10和20 Mbit/s数据业务为例,给出5G上行链路的业务信道链路预算如表2所示。

表2 5G上行业务信道链路预算

系统参数	业务速率		一般市区3.5 GHz,64MIMO	
	10 Mbit/s	20 Mbit/s		
载波带宽/MHz	100	100		
子载波带宽/kHz	30	30	A	$\mu=1$
MIMO通道	64	64		
发射功率/dBm	23	23	B	20W
人体损耗/dB	2	2	C	
天线口功率/dBm	21	21	D	$E=B+C-D$
RB分配	35	70	E	$\mu=1$ 时,总共275个RB
热噪声/dBm	-102.89	-99.88	F	$F=-174+10lg(KTB)$
噪声系数/dB	7	7	G	
接收基底噪声/dBm	-95.89	-92.88	H	$H=F+G$
SNR/dB	-0.5	0	I	MCS4
接收机灵敏度/dBm	-96.39	-92.88	J	$J=H+I$
MIMO增益/dBi	25	25	L	
馈线和接头损耗/dB	0.1	0.1	M	
建筑穿透损耗/dB	20	20	N	
阴影衰落余量/dB	8.3	8.3	O	
干扰余量/dB	2	2	P	
最大路径损耗/dB	111.99	108.48	Q	$Q=D-J+L-M-N-O-P$

3.1.2 控制信道

上行控制信道主要是PRACH和PUCCH,由于大部分参数与业务信道相同,在此只列出不同的部分,如表3所示。

对比上行控制信道和业务信道的链路预算,可知:

- a) 上行控制信道的覆盖能力受限于PUCCH。
- b) 即便是PUCCH,其覆盖能力也好于上行业务信道,所以上行链路是业务信道PUSCH受限。

表3 5G上行控制信道与业务信道链路预算差异

序号	项目	上行控制信道		上行业务信道/(Mbit/s)	
		PRACH	PUCCH	10	20
1	所需RB数量	3	12	35	70
2	SINR/dB	-3	-2.1	-0.5	0
3	接收灵敏度/dBm	-109.56	-102.64	-96.39	-92.88
4	链路预算/dB	125.16	118.24	111.99	108.48

c) 上行业务信道覆盖范围随着小区边缘目标的速率增加而减少。

3.2 5G下行链路预算

类似地,可先对下行链路进行链路预算的分析。

$$PL_{DL} = P_{out_NR} - L_{f_{kj}} - S_{UE} + G_{a_MIMO} - L_{f_{hm}} - L_p - M_f - M_I \quad (4)$$

式中:

- PL_{DL} ——下行链路最大传播损耗(dB)
- P_{out_NR} ——基站最大发射功率(dBm)
- $L_{f_{kj}}$ ——馈线和接头损耗(dB)
- S_{UE} ——终端接收灵敏度(dBm)
- G_{a_MIMO} ——MIMO天线增益(dBi)
- $L_{f_{hm}}$ ——身体损耗(dB)
- L_p ——建筑物穿透损耗(dB)
- M_f ——阴影衰落余量(dB)
- M_I ——干扰余量(dB)

3.2.1 业务信道

以20~50 Mbit/s数据业务为例,具体链路预算参数如表4所示。

3.2.2 控制信道

下行控制信道包括PBCH、PDCCH等,由于大部分参数与业务信道相同,在此只列出不同的部分,如表5所示。

对比下行控制信道和业务信道的链路预算,可知:

a) 下行控制信道的覆盖能力受限于业务信道, PBCH能够达到最大覆盖。

b) 在4G中下行信道是受限于PDCCH,但与下行业务信道能力相差不大。而5G中增加了MIMO信道增益,同时下行的速率要求也比4G高出许多,这也是导致下行业务信道受限的原因。

c) 下行业务信道覆盖范围随着小区边缘目标的速率增加而减少。

4 5G的覆盖能力综合分析

结合上文对5G不同业务、不同信道、不同链路的

表4 5G下行业务信道链路预算

系统参数	业务速率/(Mbit/s)				一般市区3.5 GHz, 64MIMO	
	20	30	40	50		
载波带宽/MHz	100	100	100	100		
子载波带宽/kHz	30	30	30	30	A	$\mu=1$
MIMO通道	64	64	64	64		
发射功率/dBm	43	43	43	43	B	20 W
馈线和接头损耗/dB	2	2	2	2	C	
天线口功率/dBm	41.00	41.00	41.00	41.00	D	$D=B-C$
RB分配	70	105	140	175	E	$\mu=1$ 时,总共275个RB
热噪声/dBm	-99.88	-98.12	-96.87	-95.90	F	$F=-174+10\lg(KTB)$
噪声系数/dB	7	7	7	7	G	
接收基底噪声/dBm	-92.88	-91.12	-89.87	-88.90	H	$H=F+G$
SNR/dB	0	0	0	0	I	MCS4
接收机灵敏度/dBm	-92.88	-91.12	-89.87	-88.90	J	$J=H+I$
MIMO增益/dBi	28	28	28	28	L	
人体损耗/dB	0.1	0.1	0.1	0.1	M	
建筑穿透损耗/dB	20	20	20	20	N	
阴影衰落余量/dB	8.3	8.3	8.3	8.3	O	
干扰余量/dB	2	2	2	2	P	
最大路径损耗/dB	131.48	129.72	128.47	127.50	Q	$Q=D-J+L-M-N-O-P$

表5 5G下行控制信道与业务信道链路预算差异

项目	下行控制信道		下行业务信道/(Mbit/s)			
	PBCH	PDCCH	20	30	40	50
所需RB数量	24	8CCE	70	105	140	175
SINR/dB	-0.5	0	0	0	0	0
接收灵敏度/dBm	-98.03	-95.77	-92.88	-91.12	-89.87	-88.90
链路预算/dB	136.63	134.37	131.48	129.72	128.47	127.50

覆盖能力,以3.5 GHz在64通道MIMO条件为例,5G的上下行链路预算分析如图3所示。

可知:

a) 5G的上行受限于业务信道。

b) 5G的下行同样受限于业务信道。

c) 在上下行业务信道目标速率相同时,下行覆盖远优于上行,即上行业务受限。

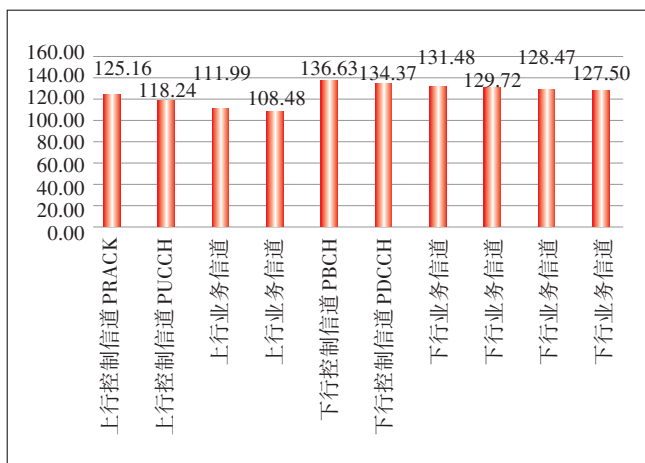


图3 5G的上下行链路预算分析

d) 对比上下行覆盖范围,5G系统覆盖受限于上行业务信道。

为了更直观地比较5G系统在不同频段,不同MIMO配置下的覆盖能力,下面分别以3.5 GHz-64MIMO、3.5 GHz-256MIMO和5 GHz-256MIMO 3种场景进行比对,如图4所示。

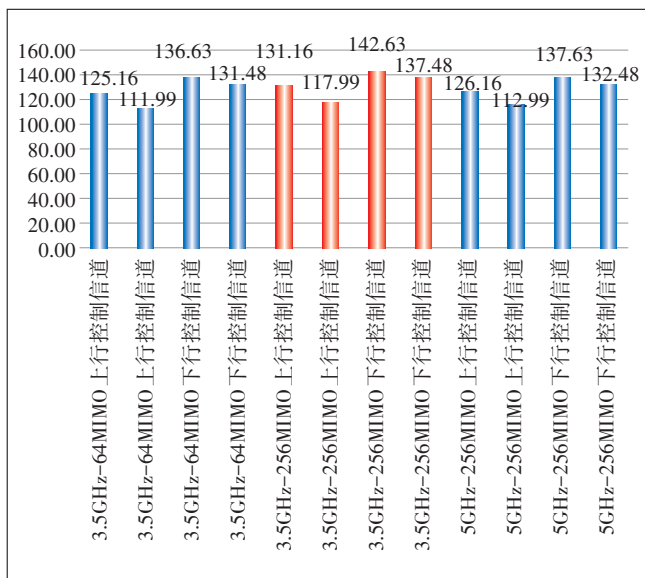


图4 5G不同场景下的覆盖能力对比

由此可见:

a) 3种场景下,以3.5 GHz-256MIMO的覆盖能力最强,无论是上行还是下行,其次是5 GHz-256MIMO。

b) 在3种低频段的场景下,无论是控制信道还是业务信道,MIMO增加通道数带来的覆盖增强效果比低频覆盖更直接。

c) 即便如此,5G在低频段高通道数下的单站覆

盖能力也不甚理想,一般市区内的平均站间距在200~500 m,对于今后的无缝覆盖投资是一个需要谨慎考虑的问题。

5 结束语

5G的覆盖性能是对系统进行评估的重要指标,决定了是否可以带给用户稳定、可靠的业务感知。本文基于5G系统的一些重要技术,具体分析了在一般市区下的上下行控制及业务信道的链路预算,并且针对差异化的频段和MIMO条件分别对5G的覆盖能力进行综合对比分析,对于今后从事5G的网络规划有指导作用。

当然,5G的覆盖性能与RB资源块的分配算法、调度模式、信道调制方法紧密相关,所以在实际中也是千变万化的。本文也只是以典型案例进行介绍,限于篇幅,对于eMBB在5G高频段、更高阶调制以及uRLLC和mMTC其他典型场景等均未作分析。

参考文献:

- [1] NR Physical channels and modulation; 3GPP TS 38.211 [S/OL]. [2018-12-22]. [ftp://3gpp.org/](http://3gpp.org/).
- [2] 鲁照华,张晓丹. 未来毫米波移动宽带通信系统探析[J]. 专业研究,2013(10):13-16.
- [3] 郑文生,刘永豹. 5G网络部署策略[J]. 电信技术,2018(8):5-6.
- [4] 黄小光,董俊华. 采用Massive MIMO进行5G覆盖试点规划[J]. 电信工程技术与标准化,2017(8):50-54.
- [5] 肖清华. 国内5G频谱指配分析及建议[J]. 移动通信,2018(2):1-5.
- [6] 江巧捷,林衡华. 5G传播模型分析[J]. 移动通信,2018(10):19-23.
- [7] 王凤明,周玮. 浅析5G链路预算与站址规划[J]. 数字通信世界,2018(11):55-55.
- [8] 陈杨,杨芙蓉. 5G覆盖能力研究[J]. 通信技术,2018(12):2866-2873.
- [9] Physical layer procedure for data; 3GPP TS 38.214 [S/OL]. [2018-12-22]. [ftp://3gpp.org/](http://3gpp.org/).

作者简介:

汤建东,华信咨询设计研究院有限公司副总经理,高级工程师,主要从事移动通信网络规划设计及行业信息化研究工作;肖清华,华信咨询设计研究院有限公司网研院副院长,教授级高工,博士,主要从事无线网络规划与设计相关工作。

