



15 GHz 频段下会议室内信道大尺度衰落特性测量与分析

孙君¹, 谢利娟^{1,2}, 许晖², 刘顺顺³

(1. 南京邮电大学, 江苏 南京 210003; 2. 上海无线通信研究中心, 上海 201200;
3. 上海理工大学, 上海 201200)

摘要:传统移动蜂窝频段的严重短缺,使得高频段的开发与利用受到越来越多的关注与研究。采用了基于PN序列的时域测量系统,在15 GHz频段下对会议室环境的直视场景(LOS)和非直视场景(NLOS)进行了信道测量,分析了其大尺度衰落特性,得到了距离和路径损耗的关系,并计算得出室内会议室环境下的路径损耗指数和阴影衰落因子。测量采用了增益为27 dBi的双脊波导天线和全向天线,通过改变发射天线水平角得到某个距离下的测量数据,分析了特定场景下接收功率随角度的变化特性。

关键词:5G; 15 GHz; 信道测量; 大尺度衰落

中图分类号: TP312

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2016048

Measurement and analysis on channel large scale fading characteristics of conference room at 15 GHz

SUN Jun¹, XIE Lijuan^{1,2}, XU Hui², LIU Shunshun³

1. Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China
2. Wireless Communication Research Center in Shanghai, Shanghai 201200, China
3. Shanghai University of Science and Technology, Shanghai 201200, China

Abstract: The shortage of traditional mobile cellular band makes the development of higher frequency paid more and more attention. The time domain measurement system based on PN sequence was used to measure propagation characteristics of the line-of-sight (LOS) and non-line-of-sight (NLOS) scenarios of conference room at 15 GHz. The channel large scale fading characteristics and the relationship between distance and path loss were analyzed, and path loss exponent and the shadow fading standard variance were calculated. In the measurement, one double ridged guide antenna with 27 dBi gain and one omni antenna were used. Through changing azimuth angles in transmitting terminal in the measurement points, the relationship between received power and different angles were analyzed.

Key words: 5G, 15 GHz, channel measurement, large scale fading

收稿日期: 2015-09-02; 修回日期: 2015-12-31

基金项目: 南京邮电大学校级项目(No.NY211033); 国家高技术研究发展计划(“863”计划)基金资助项目(No.2014AA01A706); 国家科技重大专项基金资助项目(No.2014ZX03003012-001); 上海市科学技术委员会资助项目(No.13511500600)

Foundation Items: The Project of Nanjing University of Posts and Telecommunications (No.NY211033), National High Technology Project of Research and Development (863 program) (No.2014AA01A706), Specially Funded Projects of National Science and Technology (No.2014ZX03003012-001), Shanghai Science and Technology Committee Project (No.13511500600)



1 引言

蜂窝通信和无线局域网工作在 800 MHz~5.8 GHz 频段,新的 60 GHz 无线局域网的研究也逐渐开始。宽带无线业务的逐渐增长导致了全球范围内载波频段的短缺。研究表明,在高频段(>6 GHz)下进行移动通信是可能的,在此频段下,可以利用高增益的小型化天线等来探索信道的特性^[1]。自 2013 年 12 月 4 日,我国第四代移动通信(4G)牌照发放,宣告世界上移动通信用户数量最庞大的国家全面进入 4G 时代,而全球的 4G 网络数也逐渐上升。与此同时,面向下一代移动通信需求的第五代移动通信(5G)技术的研发也已在世界范围内如火如荼地展开。未来 5G 蜂窝技术的发展需要一个合适的信道模型作参考。5G 蜂窝系统可运用比传统频段更高的载波频段以获得更多的频谱,以更大的容量支持各种多媒体业务。足够量的可用带宽、小型化的天线和设备、较高的天线增益是高频段毫米波移动通信的主要优点。高频段在移动通信中的应用是未来的发展趋势,业界对此高度关注^[2]。

随着移动通信业务的发展,人们在诸如办公楼、超市或会议厅等场所传送大量的语音、视频等数据,因此室内通信质量受到越来越多的关注,由于室内无线信道的基本特征影响甚至决定着这些传送的过程和结果,因此,对无线电波在室内传播的研究具有重大的意义^[3]。目前,已经有很多关于室内信道测量与建模分析的参考文献^[4-15]。参考文献[4-7]测量并分析了 60 GHz 室内信道特性,如均方根(RMS)时延扩展和功率延时谱等。参考文献[8]在典型的办公楼室内环境下使用矢量网络分析仪分别在 LOS 和 NLOS 场景中进行 UWB 信道频域测量。参考文献[9]描述了 17 GHz 的宽带信道测量与分析。参考文献[10]测量并分析了 45 GHz 下室内信道的大尺度衰落特性,得到了路径损耗指数和阴影衰落标准差等结果。参考文献[11]通过搭建 140 GHz 发射机和接收机系统研究了 140 GHz 的高速无线通信技术。参考文献[12]介绍了采用基于自动化旋转天线方式的信道测量仪在 28 GHz 频段下对室内信道进行了测量与分析。参考文献[13]介绍了 60 GHz 和 28 GHz 的时延扩展特性。关于室外环境下的信道测量也有一些,参考文献[14]研究了城市微小区环境在毫米波频段 28 GHz 下的路径损耗模型。

2G 通信与 3G 通信繁荣发展的几十年里,至今已经占用了 2 GHz 以下最适合移动通信发展的大部分频谱,其他

可用的频谱越来越分散,加之频谱资源的唯一性及其使用与分配上存在太多的历史继承性,使得 3 GHz 乃至 6 GHz 以下都很难再找到一段合适的完整频谱,供未来移动通信使用。相反的,在 6 GHz 以上,世界范围内存在着大量、可用于移动通信的频谱资源,还未被完全开发出来。根据《中华人民共和国无线电频率划分规定》(2014 版),6~60 GHz 频率范围内以主要业务划分给移动业务的频率范围有 5 925~8 750 MHz 频段、10~10.68 GHz 频段、10.7~13.25 GHz 频段、14.3~15.35 GHz 频段、17.7~18.6 GHz 频段、18.8~23.6 GHz 频段、24.25~29.5 GHz 频段、31~31.3 GHz 频段、36~40.5 GHz 频段、42.5~47 GHz 频段、47.2~50.2 GHz 频段、50.4~52.6 GHz 频段,共 12 个频段。连续的大带宽可以在低成本低功耗的前提下更好地满足 5G 要求的高数据率用户体验,所以频段选择时需要有一定的连续带宽需求,较低频段建议选择大于 500 MHz 的连续带宽,较高频段建议选择大于 1 GHz 的连续带宽。

目前,国际上研究毫米波信道传播特性较多,主要集中在 28 GHz、38 GHz、60 GHz 等频段,15 GHz 也是 5G 的候选频段之一。例如,爱立信助力 NTT DoCoMo 开展的 5G 网络试验将在 15 GHz 频段展示高达 10 Gbit/s 的超高数据传输速率;相对于 28 GHz 等频段,15 GHz 频段的研究刚起步,在未来一段时间内将进一步得到广泛研究。关于 15 GHz 频段下信道特性的大部分测量方法为频域信道测量方式。如参考文献[15]用矢量网络分析仪进行 15 GHz 的信道测量并分析了其时延特性,其采用的测量方法为频域信道测量方式。本文采用的是基于 PN 序列的时域信道测量方法,在 15 GHz 下对室内会议室环境直视场景和非直视场景进行了测量,本文介绍了具体的测量方法和测量过程,经数据处理得到路径损耗拟合曲线和接收功率角度曲线,并分析了 15 GHz 频段下不同场景无线信道的多径分布情况。

2 测量方法和测量场景

2.1 测量方法

宽带信道特性可以由时域测量信道的冲激响应或频域测量信道的频率响应得到。频域信道采用扫频式测量,每次测量需要的时间较长,可能会超过信道的相关时间,使得测量过程中信道是变化的,可能会导致得到的多径信号和噪声信号难以分辨,而时域测量由于需要的时间较短,不会产生上述问题。

本次测量采用基于 PN 序列的时域信道测量系统,在发送端由 PN 序列产生器产生具备良好自相关特性和很差互相关性的 PN 序列,长度为 2 048,自相关性曲线和互相关性曲线分别如图 1(a)和图 1(b)所示。

PN 序列经 QPSK 调制之后,经 4 倍上采样后再经过根升余弦滤波器滤波,滤波器滚降系数为 0.22,长度为 81,将滤波后的信号上变频后由天线发射出去,数据处理过程与上述过程相反。测量过程中利用 Aglient SystemVue 软件搭建发射接收系统,发射系统将发射信号通过 LAN 端口下载到 AWG 任意波形产生器中。测量中采用 AWG 任意波形产生器、PSG 矢量信号产生器、云台和天线组成发射机;PXA 信号分析仪、OSC 数字示波器、云台和天线组成接收机。在发送端,AWG 和 PSG 的 IQ 调制带宽均为 2 GHz,在接收端,OSC 的带宽可达到 8 GHz。AWG 由两路信道产生 I 路信号和 Q 路信号,PSG 将 I/Q 信号上变频到 14.8 GHz,之后将上变频后的信号经过高功率放大器 HPA 放大,再由天线发射出去。在接收端,PXA 用来对信号进行下变频得到 322.5 MHz 的中频信号,OSC 负责采集信号。采集信号时可根据需要按照采样点数或者起止时间进行采集,采集得到的信号包括 I 路信号和 Q 路信号。测量过程中由外部触发信号保证发射机和接收机同步。测量中用到的喇叭

天线和双脊波导天线的水平旋转角度和垂直旋转角度均通过云台控制,云台水平旋转角度范围为 0°~360°,垂直旋转角度范围为-45°~45°,精度可达 0.01°。测量系统的框架如图 2 所示。

测量过程中,发送端发送经过调制的 PN 序列,接收端接收经过无线信道的空口信号并经过高速采样存储到计算机,由于测试所采用的 PN 序列具有良好的自相关性,通过滑动相关法,将存储在计算机中的发送 PN 序列和采集获得的信号序列进行相关运算,得到信道的时域或频域特性。测量的基本参数配置见表 1。本文采用了一种远程高速连续数据的自动化采集系统,远程控制云台旋转并自动采集数据,大大缩减了测量时间,提高了测量效率。

表 1 测量基本参数配置

参数	配置值
频率/GHz	14.8
RF 带宽/MHz	500
Tx 功率/dBm	10
云台旋转	水平:0°~360°;垂直:-45°~45°

2.2 测量场景和测量配置

本文测试环境为会议室,会议室长 20 m,宽 8.8 m,

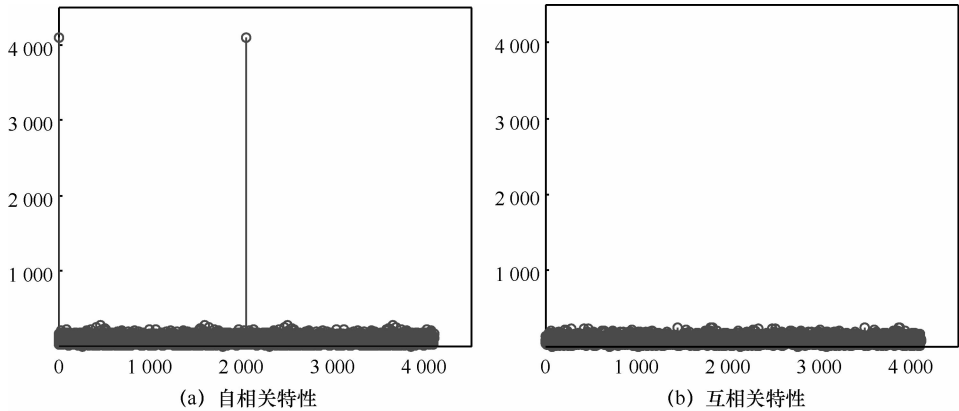


图 1 PN 序列相关特性曲线

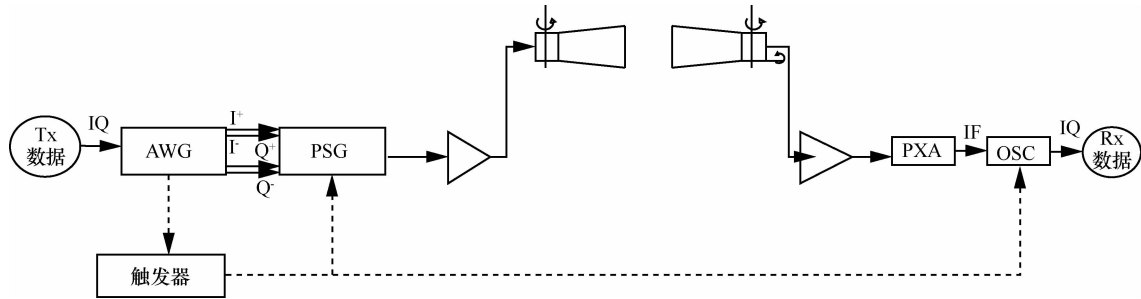


图 2 测量系统框架

高 3 m,会议室内有两个由办公桌围起来的会谈区域,周围对应摆放着椅子,紧靠会议室一端处,有一个由几个沙发座椅围起来的休息区,最靠近会议室墙壁的是一个木制的柜子。墙壁为混凝土材质,房门为木质门。在测量过程中发射机天线和接收机天线处于同一高度。测量平面如图 3 所示。本文对会议室 LOS 场景和 NLOS 场景均进行了测量,发射天线为双脊波导天线,接收天线为全向天线。在 LOS 场景下,采用激光测距仪使发射天线和接收天线对准在一条直线上,分别在发射天线和接收天线距离为 6.3 m、7.4 m、10 m、11.6 m、13 m 和 16 m 时进行测量,在每个距离下的测量过程中,发射天线的水平角在 0°~360°之间变化,每 5°变化一次;在 NLOS 场景下,发射天线与接收天线相距 7.4 m 时也进行了测量,相关的测量配置见表 2。

表 2 测量过程参数配置

参数	配置值
发射天线	双脊波导天线
接收天线	全向天线
天线高度/m	Tx/Rx:1.20
发射天线角度	0°~360°水平旋转,每 5°旋转一次; 0°定义为发射天线与接收天线正对着的方向
接收天线角度	保持不变
测量场景和测量距离/m	LOS:6.3、7.4、10、11.6、13 和 16 NLOS:7.4

3 数据处理与分析

3.1 数据处理方法

根据第 2.1 节介绍的测量系统,采用如下的数据处理方法,如图 4 所示。首先,将 IQ 数据和滤波器系数进行卷积,再进行下采样,之后和 PN 序列进行滑动相关得到功率时延谱。从功率时延谱中,计算得到接收功率,再根据发送功率、发送天线增益和接收天线增益得到每个测量点对应距离下的路径损耗。采用最小二乘法对路径损耗进行拟合。

在大多数情况下,路径损耗和距离的关系常被描述为:

$$PL(d)(dB)=\vartheta+\beta\times10\lg d+X_{\sigma} \quad (1)$$

其中, d 为以 m 为单位的发射机与接收机之间的距离, $PL(d)$ 是以 dB 为单位的对应距离下的路径损耗, β 为路径损耗指数, ϑ 为以 dB 为单位的截距, X_{σ} 是以 dB 为单位的阴影衰落,是均值为 0、标准差为 σ 的正态分布随机变量。

通过最小二乘法,计算得到路径损耗指数为:

$$\beta = \frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d}) \times (PL_i - \overline{PL})}{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2} \quad (2)$$

$$\text{截距为: } \vartheta(dB) = \overline{PL}(dB) - \beta \times 10 \lg d \quad (3)$$

数据处理过程中,用上述的最小二乘法及近场参考距离 $d_0=1\text{ m}$ 下的路径损耗进行处理,对应的路径损耗计算式为:

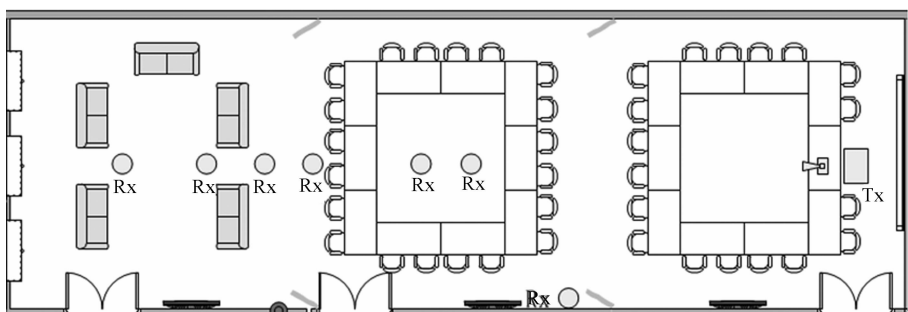


图 3 测量平面

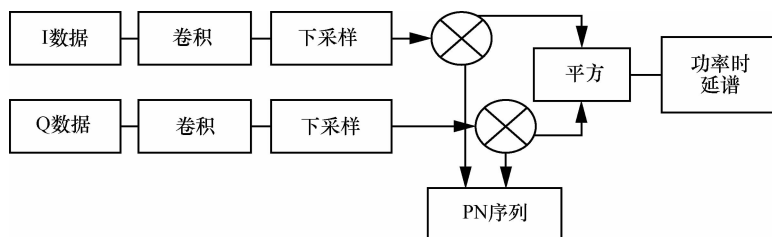


图 4 数据处理流程

$$PL(d)=PL(d_0)+10n\lg\left(\frac{d}{d_0}\right)+X_\sigma \quad (4)$$

其中, n 为路径损耗指数, $PL(d_0)$ 为 $d_0=1$ m 时的路径损耗, 表达式为:

$$PL(d_0)=20\lg\left(\frac{4\pi d_0}{\lambda}\right) \quad (5)$$

通过上述方法得到 σ 和 β 后, 根据式(1)得到:

$$X_\sigma=PL(d)(\text{dB})-\sigma-\beta\times 10\lg d \quad (6)$$

利用 MATLAB 工具 dfittool 对阴影衰落 X_σ 进行正态分布拟合, 可得到 X_σ 的标准差等参数。

3.2 数据结果和分析

3.2.1 路径损耗拟合曲线

采用第 3.1 节的处理方法, 对 LOS 场景下的测量数据进行处理, 可得到路径损耗拟合曲线如图 5 所示, 对应的路径损耗指数 β 为 1.841 9, 截距 σ 为 57.600 3 dB, 分析可得该直视场景下的信道传播特性接近自由空间传播的特性, 和参考文献[14]中介绍的在 38 GHz 频段下直视场景的信道传播接近自由空间传播一致。

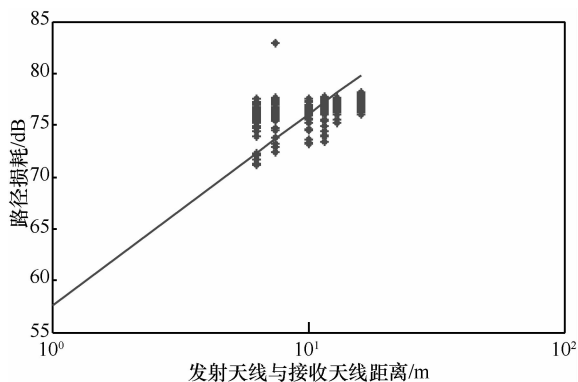


图 5 路径损耗拟合曲线

3.2.2 阴影衰落拟合曲线

图 6 为对式(6)中的阴影衰落值利用 dfittool 工具得到

的拟合曲线, 可得到阴影衰落满足均值约为 0、标准差为 2.280 7 dB 的正态分布。均值的置信区间为 $[-0.101\ 417\ 5, 0.101\ 760\ 48]$, 标准差的置信区间为 $[2.208\ 728\ 6, 2.352\ 611\ 4]$ 。由图 4 中的直视场景环境分析可得, 阴影衰落主要是由于无线电波在传播过程中受到环境中中间的挡板和桌椅的阻挡造成的。

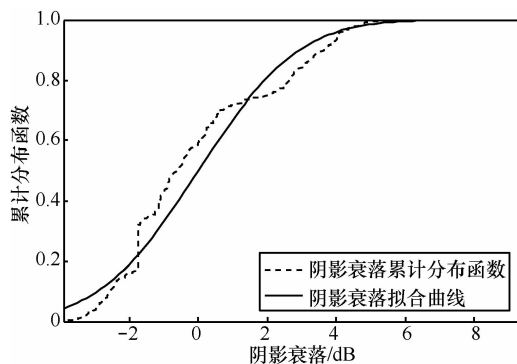


图 6 阴影衰落拟合曲线

3.2.3 多径分布

当发射天线与接收天线距离为 7.4 m 时, 在直视场景中和非直视场景中分别做了测量, 图 7(a)为直视场景中的功率时延谱, 图 7(b)为非直视场景下的功率时延谱。

根据图 7 中的功率时延谱分析得到, 由于发送的是长度为 2 048 的 PN 序列, 发送的时候进行上采样, 处理数据过程中进行相应的下采样, 可得功率时延谱中峰峰值之间相隔的点数也是 2 048。

分析图 4 中的直视场景环境和非直视场景环境可得, 直视场景中由于发射天线与接收天线正对着, 且两端天线处于同一高度, 功率时延谱中最强径主要由发射天线到接收天线之间的直射径组成, 主径右边几乎没有多径分量; 非直视场景中, 发射天线和接收天线并未正对着, 到达接收天线的多径信号由周围物体反射形成的反射径组成, 因

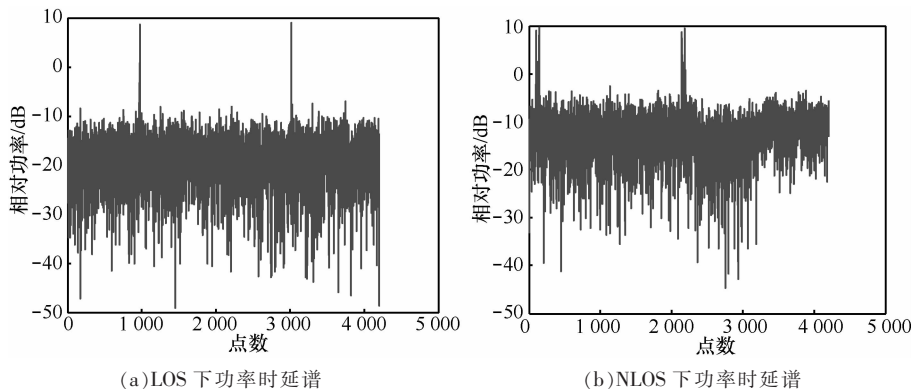


图 7 LOS 和 NLOS 下功率时延谱



此 NLOS 场景下的功率时延谱中主径右边分布着很明显的多径分量。

3.2.4 接收功率角度曲线

图 8 为发射天线与接收天线距离为 16 m 时, 发射天线水平旋转一周, 接收天线的接收功率随发射天线水平角的变化情况, 可以看出, 当发射天线正对着接收天线及向左或者向右偏离一定角度时, 接收功率相对较大, 偏离超过一定角度或者背对着接收天线时, 接收功率相对较小。

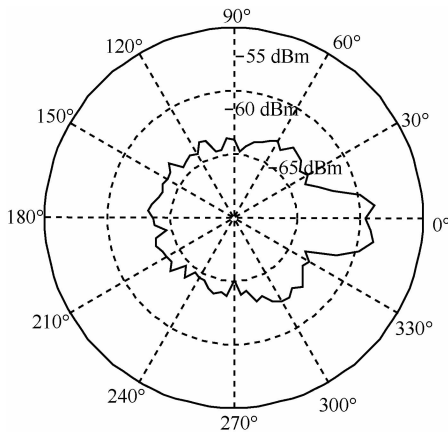


图 8 接收功率角度曲线

4 结束语

为支持 5G 的发展需求, 实现 5G 无时无地不在的空中信息“高速公路”的构建, 包括高频段传输、新型多天线传输、同时同频全双工、终端直通技术、密集网络、新型网络架构在内的传输和网络关键技术的解决方案层出不穷。本文对 15 GHz 高频段下室内会议室环境直视场景和非直视场景进行了信道测量与分析, 得到路径损耗指数为 1.841 9, 阴影衰落满足对数正态分布, 对应的标准差为 2.280 7 dB。在直视场景和非直视场景下对会议室环境测量处理得到的功率时延谱, 呈现出不同的多径分量特性, 为以后分析高频段下信道小尺度衰落特性奠定基础。室外环境的信道测量与分析是下一步的工作内容。

参考文献:

- [1] RAPPAPORT T S, MURDOCK J N, GUTIERREZ F. State of the art in 60 GHz integrated circuits and systems for wireless communications [J]. Proceedings of the IEEE, 2011, 99 (8): 1390-1436.
- [2] 冯岩. 5G 研发争分夺秒[J]. 数字通信世界, 2014(1): 70-72.
FENG Y. Research and development of 5G [J]. Digital

Communication World, 2014(1): 70-72.

- [3] 杨大成. 移动通信传播环境 理论基础分析方法和建模技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003: 105-106.
YANG D C. The Theory, Analysis Method and Modeling Technology of Mobile Communication Propagation Environment [M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 2003: 105-106.
- [4] CHOI M S, GROSSKOPF G, ROHDE D. Statistical characteristics of 60 GHz wideband indoor propagation channel [C]//The IEEE 16th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, September 11-14, 2005, Berlin, Germany. New Jersey: IEEE Press, 2005: 599-603.
- [5] XU H, KUKSHYA V, RAPPAPORT T S. Spatial and temporal characteristics of 60-GHz indoor channels [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2002, 20(3): 620-630.
- [6] SMULDERS P F M, WAGEMANS A G. Wideband indoor radio propagation measurements at 58 GHz [J]. Electronics Letters, 1992, 28(13): 1270-1272.
- [7] GENG S, KIVINEN J, ZHAO X, et al. Millimeter-wave propagation channel characterization for short-range wireless communications[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2009, 58(1): 3-13.
- [8] 吕潇潇, 王浩文, 王雪, 等. 基于网络分析仪的 UWB 频域测试 [J]. 电子测量技术, 2012, 35(5): 132-138.
LV X X, WANG H W, WANG X, et al. UWB frequency domain testing based on network analyzer [J]. Electronic Measurement Techniques, 2012, 35(5): 132-138.
- [9] BOHDANOWICZ A, JANSSEN G J M, PIETRZYK S. Wideband indoor and outdoor multipath channel measurements at 17 GHz [C]//Vehicular Technology Conference, September 19-22, 1999, Amsterdam, Holland. New Jersey: IEEE Press, 1999: 1998-2003.
- [10] ZHU J, WANG H, HONG W. Large-scale fading characteristics of indoor channel at 45-GHz band [J]. IEEE Antennas & Wireless Propagation Letters, 2015(14): 735-738.
- [11] 王成, 林长星, 邓贤进, 等. 140 GHz 高速无线通信技术研究 [J]. 电子与信息学报, 2011, 33(9): 2264-2267.
WANG C, LIN C X, DENG X J, et al. High-speed wireless communication technology research of 140 GHz [J]. Journal of Electronics and Information, 2011, 33(9): 2264-2267.
- [12] HUR S, CHO Y J, LEE J A, et al. Synchronous channel sounder using horn antenna and indoor measurements on 28 GHz [C]//IEEE International Black Sea Conference on Communications and Networking (BlackSeaCom), May 27-30, 2014, Odessa, Russia. New Jersey: IEEE Press, 2014 : 83-87.
- [13] KIM J H, JUNG M W, YOON Y K, et al. 60 and 28 GHz delay spread measurements and simulation at indoor [C]//

International Conference on Information and Communication Technology Convergence(ICTC), October 22-24, 2014, Hangzhou, China. New Jersey: IEEE Press, 2014:148-150.

- [14] MACCARTNEY G R, ZHANG J, NIE S, et al. Path loss models for 5G millimeter wave propagation channels in urban microcells[C]//The IEEE Global Communications Conference, December 9-13, 2013, Atlanta, GA, USA. New Jersey: IEEE Press, 2013: 3948-3953.
- [15] ZHOU X, ZHONG Z, ZHANG B, et al. Experimental characterization and correlation analysis of indoor channels at 15GHz [J]. International Journal of Antennas and Propagation, 2015:1-11.

[作者简介]



孙君(1980-),女,博士,南京邮电大学硕士生导师、副研究员,主要研究方向为直通蜂窝技术、无线网络资源的管理策略和无线网络频谱理论研究等,包括频谱资源共享方案、频谱资源共享中的干扰抑制技术、频谱分配和接入方案、物联网总体架构与关键技术研究等。



谢利娟(1991-),女,南京邮电大学硕士生,主要研究方向为20 GHz频段以下无线信道测量与建模。



许晖(1974-),男,上海无线通信研究中心测试服务部副部长,中国科学院上海微系统与信息技术研究所高级工程师,主要研究方向为新一代无线移动通信系统原型验证、无线新技术测试验证平台开发、无线测试验证外场环境开发。



刘顺顺(1988-),男,上海理工大学硕士生,主要研究方向为20 GHz频段以下无线信道测量与建模。