

# 临近空间 Ka 频段信道建模

苏一栋, 陈树新, 林 诚

(空军工程大学电讯工程学院, 陕西 西安 710077)

**摘要** 构建了一种临近空间 Ka 频段小区制覆盖的通信信道模型。首先, 讨论了临近空间信道的几何特性, 将通信覆盖区域根据不同仰角分为高仰角区、中仰角区和低仰角区; 其次, 分析了影响信道特性的 5 种因素: 大气吸收衰减、对流层闪烁衰减、云雾衰减、降雨衰减以及地面反射体造成的多径效应, 总结出降雨衰减和多径效应对临近空间 Ka 频段通信信道的影响要远大于其他 3 种因素; 最后, 分析了不同仰角情况下, 地面反射体、雨衰对信道的影响, 并且根据 Ka 频段静止卫星通信信道在各种天气条件下信号的概率分布参数, 对临近空间 Ka 频段小区制覆盖的通信信道模型进行了仿真, 分别给出了不同仰角区的误码率性能仿真曲线。对于临近空间通信平台的开发与研究具有指导意义。

**关键词** 临近空间; 雨衰; 多径; 信道建模

**DOI** 10.3969/j.issn.1009-3516.2011.05.016

**中图分类号** TP391.9 **文献标识码** A **文章编号** 1009-3516(2011)05-0076-05

近年来, 临近空间通信作为一种新的通信手段, 正在成为通信领域研究的热点。与卫星通信相比, 具有系统建设费用低、周期短, 信号传输延迟时间小、衰减小, 系统容量大的优点; 相比陆地移动通信, 其具有信号传输多径衰落小, 覆盖面积大的优点。信道的构建对于临近空间通信的研究具有重要的意义。

甘仲民<sup>[1]</sup>指出以临近空间平台作为中继站时, 天线对地面的覆盖为小区制覆盖, 可以按仰角  $\theta$  典型地划分为 3 个区域: UAC ( $\theta > 30^\circ$ )、SAC ( $30^\circ > \theta > 10^\circ$ )、RAC ( $\theta < 10^\circ$ )。文中将这 3 个区域分别称为高仰角区、中仰角区和低仰角区。韩军等<sup>[2]</sup>认为在高、中仰角区域, 电波传播基本为恒参信道, 可以按照一般微波链路进行分析; 在低仰角区, 由于地形、建筑、植被等的反射, 以及升空平台本身的随机摆动与反射, 造成地面接收电平严重衰落, 由恒参信道逐渐变为莱斯信道。鲍荣伟等<sup>[3]</sup>构建的信道模型分析了不同仰角情况下雨衰对 Ka 频段信道的影响, 未考虑地面对信道的影响, 故采用了恒参信道。

结合前面的分析, 根据不同仰角情况下, 地面反射体、雨衰对信道的影响, 提出了一种临近空间 Ka 频段小区制覆盖的信道模型。

## 1 临近空间 Ka 频段小区制覆盖的信道几何模型

按照无线通信的传统概念, 天线波束对地面覆盖区域, 可分为大区制、小区制和微小区覆盖。大区制覆盖是单波束天线覆盖全部区域; 小区制覆盖是由一组同心圆环组成的, 每个小区有 1 个或 2 个邻区; 微小区覆盖与地面蜂窝移动通信系统相类似。因为临近空间通信覆盖区域广, 如图 1 所示, 随着覆盖范围的扩大, 仰角会逐渐减小, 信道的统计特性就会发生一定的变化, 所以几何模型不适合采用大区制覆盖, 同时微小区覆盖采用的是多波束天线, 虽然可以按照用户的动态分布, 自动地调整波束指向, 但是这样比较适合移动通

\* 收稿日期: 2010-12-22

基金项目: 空军工程大学电讯工程学院科研创新基金资助项目(DYCX1006)

作者简介: 苏一栋(1986-), 男, 山西高平人, 硕士生, 主要从事信号处理、信道建模研究。

E-mail: sssyyd@yahoo.com.cn

信,而且会增加设备的复杂度。因此,临近空间固定通信的几何模型选用小区制覆盖。本文构建的信道模型以临近空间平台作为中继站,假设临近空间平台高度  $h$  为 21 km,按仰角  $\theta$  划分为 3 个区域:高仰角区( $\theta > 30^\circ$ )、中仰角区( $30^\circ > \theta > 10^\circ$ )、低仰角区( $\theta < 10^\circ$ ),覆盖半径分别为:36.6 km、113.9 km、516.9 km,见图 1。

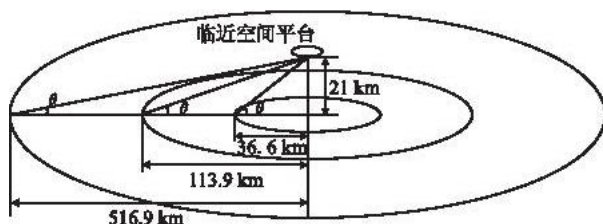


图 1 临近空间通信示意图

Fig. 1 Near space communication schemes

## 2 地面反射体和雨衰对信道的影响

临近空间信道要考虑的因素大体可分为:自由空间衰落、电离层的影响、大气衰减以及地面反射体产生的多径效应。其中,电离层的影响在频率高于 1 GHz 时可以忽略不计;由表 1 可以看出大气衰减只需考虑雨衰的影响<sup>[1]</sup>。

表 1 Ka 频段大气衰减的分类与衰减值

Tab. 1 Ka frequency atmospheric attenuation classification and value

Ka 频段的 大气衰减	大气吸收 衰减	对流层 闪烁衰减	云雾衰减	降雨衰减
衰减值/dB	≈ 1	< 1	≈ 1	42

综上,本文构建的信道模型只考虑地面反射体和雨衰的影响。

### 2.1 不同仰角下地面反射体的影响

临近空间和地面站之间依靠地形和链路的杂乱回波能够统计建模。对于临近空间通信信道,几何特性和统计参数是相关的。图 1 中对于用户在平台下面(仰角很大时),信道能够假设成有很高  $k$  因子的 Rician 分布(接近高斯分布);随着仰角减小,信道能够假设成有较高  $k$  因子的 Rician 分布;随着仰角的进一步减小,多径效应在信号传播中更为严重,信道能够用  $k$  因子比较小的 Rician 分布来描述。 $k$  因子可按表 2 进行赋值<sup>[2]</sup>。

表 2 不同仰角区的统计特性

Tab. 2 The statistical characteristics of different elevation angle area

覆盖区域	统计特性		
	PDF	参数/dB	试验参数/dB
高仰角区	Rician	$10 < k < 20$	$k = 15$
中仰角区	Rician	$8 < k < 10$	$k = 10$
低仰角区	Rician	$2 < k < 6$	$k = 5$

### 2.2 雨衰的影响

降雨衰减(雨衰)是由于电波受雨滴的吸收和散射影响而产生的衰耗,它主要与雨滴的几何尺寸、降雨强度(降雨率,mm/h)、雨区范围、信号频率、极化方式等有关。在 Ka 频段,雨衰是影响通信链路质量的一个主要因素。

雨衰的影响可以表示成一个乘性干扰<sup>[6]</sup>:

$$r(t) = a \exp(j\phi) s(t), \quad 0 \leq t \leq T \quad (1)$$

式中: $r(t)$ 为接收信号; $s(t)$ 为发送信号; $T$ 为调制码元宽度; $a$ 和 $\phi$ 为等效低通信道的包络和相位,二者均为实随机变量。

有关  $a$  和  $\phi$  的概率分布特性,Chun Loo<sup>[7]</sup>对于积累数据进行研究并得到如下结论:当综合所有的衰减因

素时,信号相位和信号包络存在一定的瞬时波动,而且两者的概率统计特性均与高斯分布的随机变量的统计特性相似,在各种不同天气情况下,当采用高斯分布模型对信号包络和相位的概率分布特性进行近似时,信号包络和相位的吻合程度分别达到 99.0% 和 99.5%。因此,在工程上完全可以认为高斯分布模型代表了测量信道的统计特性。

信号包络和相位的概率分布均为高斯分布,它们的概率密度函数分别表示如下:

$$p(r) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma'} \exp\left(-\frac{(r-m')^2}{2\sigma'^2}\right) \quad (2)$$

$$p(\phi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma''} \exp\left(-\frac{(\phi-m'')^2}{2\sigma''^2}\right) \quad (3)$$

式中: $p(r)$ 为信号包络的概率密度函数; $p(\phi)$ 为信号相位的概率密度函数; $\sigma'^2$ 和 $\sigma''^2$ 分别是信号包络和相位的方差;而 $m'$ 和 $m''$ 分别为相应均值。表3给出了Ka频段静止卫星通信信道在各种天气条件下信号的概率分布参数<sup>[5]</sup>,可以用于临近空间通信信道。

表3 Ka频段静止卫星信号的概率分布参数

Tab. 3 Ka frequency static satellite signal probability distribution parameters

天气条件	均值 $m$	方差 $\sigma$	天气条件	均值 $m$	方差 $\sigma$
小雨	0.483	0.000 03	小雨	0.008 8	0.005 46
雷雨	0.436	0.013 86	雷雨	0.006 8	0.004 14
中雨	0.662	0.02	中雨	-0.008 9	0.030 77

### 3 仿真模型

根据上述结论,可建立如图2所示的仿真模型:二进制信号发生器产生连续的二进制比特流,进行BPSK调制,经过临近空间通信信道,通过解调恢复出原始信号并通过误码检测,与发端信号比较来统计误码,从而实现Montecarlo仿真过程。

其中,高斯信号发生器1产生均值为 $m'$ 、方差为 $\sigma'^2$ 的高斯噪声过程 $a$ ,代表了信号包络的衰落过程,同样,高斯信号发生器2产生均值为 $m''$ 、方差为 $\sigma''^2$ 的高斯过程 $\phi$ ,通过指数产生器形成信号的相位衰落过程 $\exp(j\phi)$ ,这样就可以产生总的衰减因子 $a\exp(j\phi)$ ,从而与AWGN加性噪声共同完成对于临近空间通信信道的模拟。

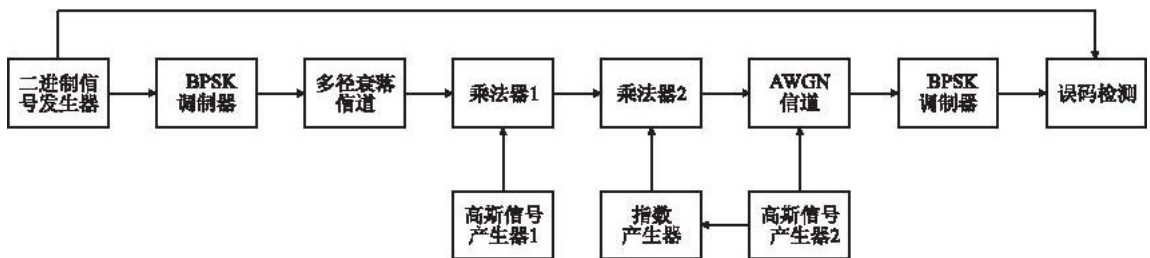


图2 临近空间 Ka 频段信道仿真模型

Fig. 2 Ka frequency near space channel simulation model

### 4 结果分析

根据以上的模型,可以用MATLAB对临近空间信道做数据仿真测试。根据表2设置多径衰落信道模块,根据表3设置高斯信号发生器1、2模块。图3-5分别是不同仰角区不同天气的误码率曲线。ITU-T G703规定, $P_e$ 大于 $10^{-3}$ 时,基站中断服务,LDPC小于 $10^{-6}$ 时,基站才自动恢复服务。这里设定 $P_e$ 不得低于 $10^{-5}$ 。

由仿真曲线可以得到以下结果:

- 1) 在信噪比较小时,中雨比小雨天气  $P_e$  小,在信噪比较大时,中雨比小雨天气  $P_e$  大;
- 2) 无论在哪个区域,雷雨天气信号  $P_e$  都没有达到  $10^{-5}$ ,可见雨衰乘性噪声包络的方差对信号影响最大;
- 3) 高、中仰角区,小雨、中雨天气  $P_e$  可以达到  $10^{-5}$ ;
- 4) 低仰角区,BPSK 调制情况下,增大信噪比,最多可以使  $P_e$  达到  $10^{-3}$ 。

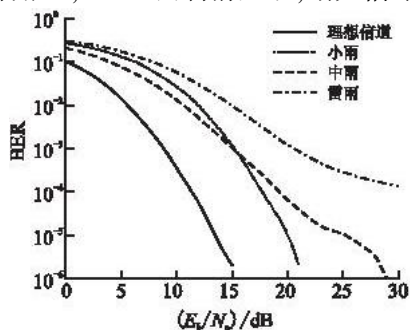


图3 高仰角区不同天气的误码率曲线

Fig. 3 High elevation area different weather BER curve

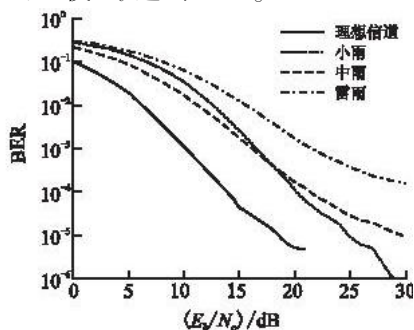


图4 中仰角区不同天气的误码率曲线

Fig. 4 Middle elevation area different weather BER curve

## 5 结束语

本文根据不同仰角情况下,地面反射体、雨衰对信道的影响,提出了一种临近空间 Ka 频段小区制覆盖的信道模型,并给出了误码率性能的仿真结果。由仿真曲线可以得出 2 个结论:一是未编码条件下,所需信噪比过大;二是恶劣天气(如雷雨)或低仰角区,达不到所需的误码率指标。

针对上述问题,需要采取各种措施来提高通信系统的性能。例如,各种抗衰落的调制解调和编码技术、抗衰落接收技术及扩频技术等。其中,明显有效且被广泛应用的措施之一是采用各种信道编码技术。如 LDPC 码,其译码复杂度较低,结构灵活,目前已广泛应用于深空通信、光纤通信、卫星数字视频等领域。

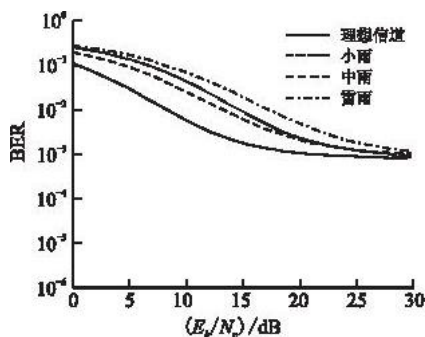


图5 低仰角区不同天气的误码率曲线

Fig. 5 Low elevation area different weather BER curve

## 参考文献:

- [1] 甘仲民. 临近空间平台:应急通信的有效手段[J]. 数字通信世界,2008,4(6):45-49.  
GAN zhongmin. Near space platform:emergency communication effective means[J]. Digital communication world, 2008,4(6):45-49. (in Chinese)
- [2] 韩军,徐辉,吴惠杰. HAPS 通信在低仰角区的性能分析[J]. 无线电通信技术,2003,29(6):51-52.  
HAN Jun, XU Hui, WU Huijie. HAPS communication in the low elevation angle the performance analysis[J]. Radio communication technology, 2003,29(6):51-52. (in Chinese)
- [3] 鲍荣伟,陈树新. 临近空间静止信道模型研究[J]. 空军工程大学学报:自然科学版,2010,11(6):22-26.  
BAO Rongwei, CHEN Shuxin. Near space static channel model research[J]. Journal of air force engineering university:natural science edition, 2010,11(6):22-26. (in Chinese)
- [4] 王爱华. 卫星通信系统综合性能分析与仿真[D]. 北京:北京理工大学,2001.  
WANG Aihua. Satellite communication system comprehensive performance analysis and simulation[D]. Beijing:Beijing university of technology, 2001. (in Chinese)
- [5] Lutz E, Cygan D, Dippold M, et al. The land mobile satellite communication channel - recording, statistics and channel model [J]. IEEE transactions on vehicular technology, 1991, 40(2):375-386.
- [6] WANG Aihua, WANG Chunting. Performance analysis and simulation of higher order modulations for Ka - band fixed satellite

communication[J]. Journal of Beijing institute of technology, 2003, 12(S1): 75 - 80.

[7] Chun Loo. Land mobile satellite channel measurement at Ka band using olympus [C]//IEEE vehicular technology conference. Canada: IEEE press, 1994: 919 - 923.

[8] 王爱华, 罗伟雄. Ka 频段卫星通信信道建模及系统性能仿真[J]. 通信学报, 2001, 22(9): 61 - 69.

WANG Aihua, LUO Weixiong. Ka frequency satellite communications channel model building and system performance simulation[J]. Journal of communication, 2001, 22(9): 61 - 69. (in Chinese)

(编辑: 徐楠楠)

## Near Space Ka frequency Channel Modeling

SU Yi - dong, CHEN Shu - xin, LIN Cheng

(Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China)

**Abstract:** In this paper, a Near Space Ka frequency village system covering Channel Model is built. Firstly, Near Space Channel's geometry is discussed, according to different elevations, the communication coverage area is divided into high elevation area, middle elevation area and low elevation area. Secondly, the five factors those have an impact on channel characteristics, i. e. atmospheric absorption attenuation, troposphere flashing attenuation, cloud attenuation, raining attenuation and multipath effects caused by the ground body reflection, are analyzed. The summary is given that the influence of the raining attenuation and that of the multipath effects on Near Space Ka band communication channel are much larger than those of the other three factors. Finally, the impact of ground reflector and that of raining attenuation on the channel in different elevation cases are analyzed. And according to Ka band geostationary satellite communication channel signal's probability distribution of parameters in various weather conditions, Near Space Ka frequency village system covering Channel Model is simulated, and the BER performance simulation curves of different elevation areas are given. The model in this paper is of guiding significance in exploration and research of Near Space communication.

**Key words:** Near Space; rain fade; multipath; channel modeling