

# 临近空间静止通信平台模型研究

鲍荣伟, 陈树新

(空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077)

**摘 要:**在临近空间通信系统中,大气、降雨、闪烁会引起空地链路信道质量的恶化。以临近空间飞艇为通信平台,通过分析 Ka 频段临近空间通信信道的电波传播特性,重点分析了降雨对信号衰落的影响,在此基础上建立了 Ka 频段临近空间静止通信信道,以及 Ka 频段临近空间静止通信信道模型的仿真模型,并在 Matlab 环境下对 Ka 频段临近空间静止信道模型的 BER 性能进行仿真,仿真结果为临近空间链路分析及抗雨衰对策提供理论依据。

**关键词:**临近空间;Ka 频段;信道模型;雨衰

**DOI:**10.3969/j.issn.1009-3516.2010.06.005

**中图分类号:** TN927.2      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1009-3516(2010)06-0022-05

临近空间,通常是指距地面 20-100 km 的空域。它处于通常意义中的“太空”之下,“天空”之上。因此它具有空气稀薄、气温极低,还有严重的臭氧腐蚀和强烈的紫外线破坏,但气象状况远不如航空空间那样复杂,雷暴闪电较少,也没有云、雨和大气湍流现象,由于它比太空低很多,到达那里的难度、费用和风险自然也就小得多;而它比“天空”又高很多,对于情报收集、侦察监视、通信保障以及对空对地作战等,都有很好的前景和潜力。目前,美国、俄罗斯、欧洲航天局、英国、德国、日本、韩国均有临近空间飞行器研究方案,因此临近空间是非常有重要应用价值的空域。

为了确保临近空间信息系统的信息可靠有效地传输,实现临近空间信息系统对航空通信系统和卫星通信系统的有力支持和补充,本文结合临近空间通信的特点和需求,对 Ka 频段在临近空间通信平台(飞艇)的静止通信信道仿真分析研究,切实掌握临近空间静止信道特征,构建临近空间静止通信系统传输模型。

## 1 Ka 频段临近空间信道特性

Ka 频段(20/30 GHz)具有可提供的宽带宽、通信容量大、波束窄、数据传输速率高等特点,同时可以用于静止和移动通信。

临近空间自下而上包括大气平流层区域、中间大气层区域和部分电离层区域,见图 1。为了更好地理解临近空间的信道特性及与卫星信道特性相比较,首先构建临近空间通信系统平台,见图 2。

从构建的临近空间通信平台可以发现,与 Ka 频段的卫星信道相比,Ka 频段临近空间通信信道具有卫星信道一切特征。因此,临近空间静止通信平台的信道主要由 2 部分组成:无线信道衰落和对地链路大气衰减。

无线信道衰落主要包括自由空间衰落、大尺度衰落和小尺度衰落。在这里主要对临近空间静止信道进行讨论。在 Ka 频段,临近空间平台到地面链路部分的传输特性主要由这个频段大气衰减特性决定,与低频段相比,由于大气层对传输信号的吸收、散射等作用的明显加强,接收信号的幅度、相位、极化方式等参数随时间发生明显波动,传输信道为变参的衰落信道。影响 Ka 频段临近空间通信平台链路质量的主要因素有:

\* 收稿日期:2010-08-20

基金项目:陕西省自然科学基金资助项目(2009JM8001-3)

作者简介:鲍荣伟(1983-),男,浙江富阳人,硕士生,主要从事临近空间通信信道与编码技术研究。

E-mail:baorw@163.com

降雨、大气吸收、云雾及对流层闪烁等,其中雨衰是最主要的衰减因素。



图 1 临近空间空域  
Fig. 1 Near space range

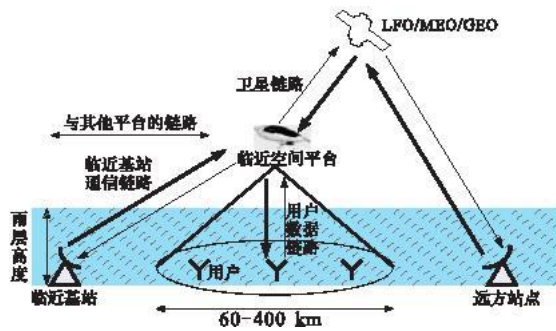


图 2 临近空间通信平台示意图  
Fig. 2 Near space oommunication platform diagram

### 1.1 降雨衰减

降雨衰减(雨衰)是由于电磁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最主要因素。雨衰可用下式计算:

$$L_r = \int_0^{L_0} r_r(r) dr \tag{1}$$

式中: $L_0$  为降雨经历的等效倾斜路径长度; $r_r(r)$  为降雨衰减率。

### 1.2 大气吸收衰减

在 Ka 频段,大气损耗主要是由大气中的  $O_2$ 、 $H_2O$  以及由水汽形成的云雾雨雪等对电波能量的吸收作用造成的,大气吸收衰耗是大气温度、气压和湿度的函数。

理论分析表明,当无线电波在大气中传播距离为  $r_o$  时,由氧分子和水汽分子引起的吸收衰耗  $L_a$  可以表示为<sup>[5]</sup>:

$$L_a = \int_0^{r_o} [r_o(r) + r_w(r)] dr \tag{2}$$

式中  $r_o(r)$  和  $r_w(r)$  分别为氧分子和水汽分子的吸收系数。

测量数据表明,对于 Ka 频段,有:

$$[L_o] + [L_w] \approx 1 \tag{3}$$

### 1.3 对流层闪烁衰减

大气闪烁或大气多径衰落是当电波通过折射率随机起伏的媒质后,会引起传输路径和传输时间的改变,使信号幅度、相位以及在接收天线处射线到达角的快速起伏变化,引起信号的衰落。

### 1.4 云雾衰减

虽然雨是影响微波传播的最重要的凝聚水,但云、雾、雪等也有一定的影响。云、雾通常是由直径为 0.001 - 0.1 mm 的液态水滴和冰晶粒子群组成,它们对电波的衰减主要是由吸收引起的,散射效应可以忽略不计。信号受到衰减量的大小沿着传播路径的云雾液体水的含量及温度有关。在 Ka 频段,ITU - R 给出的云雾衰减表达式为<sup>[6]</sup>:

$$[L_c] = \frac{0.4095fL}{\epsilon''(1 + \eta^2)\sin\theta} \tag{4}$$

式中: $L$  为云雾厚度(近似为 1 km), $f$ (GHz) 为载波频率; $\eta = (2 + \epsilon')/\epsilon''$ , $\epsilon'$  和  $\epsilon''$  分别为水的介电常数的实部和虚部; $\theta$  为仰角。

## 2 Ka 频段临近空间静止信道统计模型

通过对 Ka 频段的临近空间信道特性分析,发现 Ka 频段的卫星信道有一定的相似性。特别是平台对地链路的衰减特点基本一致,而 Ka 频段对地链路的衰减中雨衰是最主要的衰减方式。

对于 Ka 频段临近空间静止通信信道统计模型,可以认为是一个时变的随机模型,可以表示为:

$$r_1(t) = a \exp(j\phi) s_1(t), 0 \leq t \leq T$$

式中:  $s_1(t)$  和  $r_1(t)$  分别表示发送和接收的复基带信号;  $T$  为调制码元宽度;  $a$  和  $\phi$  分别为等效低通信道的包络和相位, 二者均为实随机变量。

卫星对地链路包含了电离层、中间层、平流层和对流层, 由图 1 可知临近空间处在平流层下部和电离层下部, 其对地通信穿越了平流层和对流层, 王爱华和 Wenzhen Li 的研究表明, Ka 频段的空地链路主要受对流层影响, 而在电离层和中间层的通信的非常理想的。因此 Ka 频段的临近空间通信和卫星通信在对流层受到的雨衰一致的。结合王爱华和 Wenzhen Li 论文中关于雨衰部分的研究, 认为 Ka 频段临近空间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<sup>[2,4]</sup>:

$$p(r) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma'} \exp\left(-\frac{(r-m')^2}{2\sigma'^2}\right) \quad (5)$$

$$p(\phi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma''} \exp\left(-\frac{(\phi-m'')^2}{2\sigma''^2}\right) \quad (6)$$

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。

根据对临近空间通信平台的分析, 在 Ka 频段降雨对临近空间信道和卫星信道的影响是一致的。因此采用 Chun Loo 依据 Olympus 卫星、Italsat 卫星和 ACTS 卫星作了许多传播特性测量实验得到的数据进行仿真。表 1 为根据 Chun Loo 的研究, 在仰角为  $14.2^\circ$  时的 Ka 频段临近空间信道在(黑云、雷雨、中雨、小雨)天气条件下的信号包络和相位的概率分布参数<sup>[1]</sup>。

表 1 临近空间静止信道包络相位数据

Tab. 1 Motionless near space channel envelope and phase data

天气条件	均值 $m'$	方差 $\sigma'^2$	均值 $m''$	方差 $\sigma''^2$
黑云	0.346	0.00272	0.0154	0.00864
雷雨	0.436	0.01386	0.0068	0.00414
中雨	0.662	0.02	-0.0089	0.03077
小雨	0.483	0.00003	0.0088	0.00546

因此, 可以建立 Ka 频段静止临近空间信道的统计模型如图 3 所示, 在此模型中, 用  $C(t) = a \exp(j\phi)$  表示信道乘性干扰矢量,  $Z(t)$  表示加性白高斯噪声。

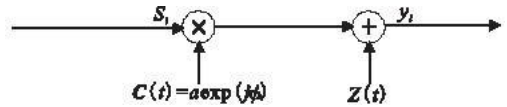


图 3 Ka 频段临近空间信道统计模型

Fig. 3 Ka-band near space statistical model

## 3 Ka 频段临近空间通信系统静止信道建模和性能分析

### 3.1 临近空间静止信道仿真建模

根据临近空间信道统计模型, 可建立如图 4 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, 经过 BPSK 调制及乘性衰落, 经历 AWGN 信道的加性噪声污染, 通过解调恢复出原始信号并通过误码监测与发端信号进行比较来统计误码, 从而实现 Montecarlo 仿真过程。

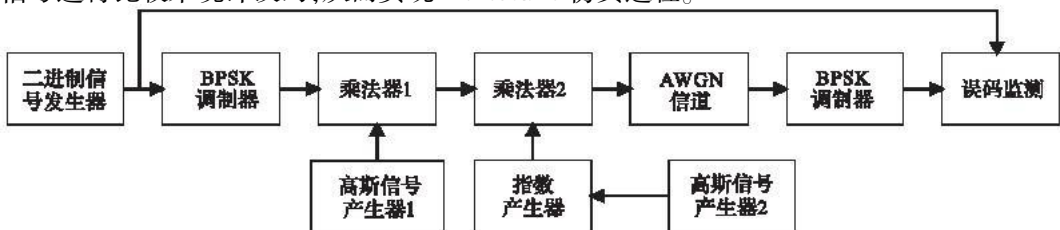


图 4 Ka 频段临近空间通信系统 Matlab 仿真模型

Fig. 4 Ka-band the Matlab simulation model of near space communications system

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  $a$ , 代表信号包络的衰落过程; 同时, 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  $C(t) = a\exp(j\phi)$ ,从而与 AWGN 加性噪声共同完成对于临近空间静止信道的模拟。

### 3.2 系统 BER 性能仿真结果

利用表 1 中的数据对 4 种天气情况(黑云、雷雨、中雨、小雨)和只有 AWGN 信道下对包络和相位同时衰落时编码 BPSK 系统性能进行了仿真。

图 5 显示了在不同天气情况下,系统的误比特率随信噪比的变化曲线。由图 5 可知,小雨天气引起的衰落对于系统误码性能影响比较小,与无衰落的情况相比,在误比特率为  $10^{-5}$  时,大约可以造成 7 dB 的信噪比损失;黑云和中雨对系统误码性能影响比较大,与无衰落的情况相比,在误比特率为  $10^{-5}$  时,大约可以造成 12 dB 的信噪比损失;雷雨天气引起的衰落对于系统误码性能影响最大,在无纠错编码的情况下,与无衰落的情况相比,在误比特率为  $10^{-4}$  时,大约可以造成 23 dB 的信噪比损失。

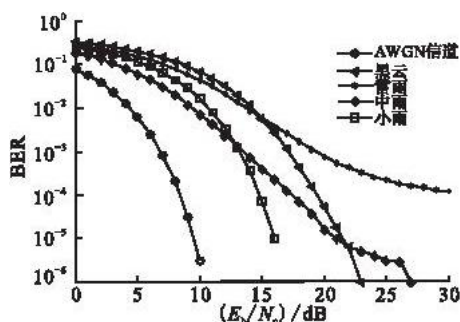


图 5 包络相位同时衰落时的系统性能  
Fig. 5 The performance of envelope and phase decline in the same time

## 4 结束语

本文通过分析临近空间信道的特性,结合 Ka 频段的特性,研究了通信信号通过信道后信号的幅度和相位的概率分布,给出了 Ka 频段在临近空间平台(飞艇)的静止信道模型。最后,通过仿真采用 BPSK 调制信号对临近空间静止信道在各种天气情况下进行了计算机仿真,得到了仿真结果,证明了该模型的可行性和实用性。Ka 频段临近空间静止信道的建立,为临近空间平台通信系统和技术的研究提供了实用的仿真环境。

### 参考文献:

- [1] Loo C. Statical Models for Land Mobile and Fixed Satellite Communication at Ka - band [C]//IEEE 46th Vehicular Technology Conference. Atlanta, GA:IEEE Press, 1996:1023 - 1027.
- [2] Li Wenzhen, Choi Look Law, Dubey V K, et al. Ka - band Land Mobile Satellite Channel Model Incorporating Weather Effects [J]. IEEE Communication Letters, 2001, 5(5):194 - 196.
- [3] 黄楚鹏, 鄧广增. 移动卫星通信信道研究 [J]. 南京邮电学院学报:自然科学版, 1998, 39( Z1 ): 64 - 67.  
HUANG Chupeng, FENG Guangzeng. Study of Mobile Satellite Communication Channel [J] Journal of Nanjing University of Posts and Telecommunications; Natural Science Edition, 1998, 39( Z1 ): 64 - 67. (in Chinese)
- [4] 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. Modelling of Ka - band Satellite Communication Channel and System Performance Simulation [J]. Journal of China Institute of Communications, 2001, 22(9):61 - 69. (in Chinese)
- [5] 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 Performance Analysis and Simulation [D]. Beijing:Beijing Institute of Technology, 2001. (in Chinese)
- [6] 翁木云, 付晓研. Ka 频段卫星信道的衰减特性 [J]. 电讯技术, 2005, 48(5):26 - 30.  
WENG Muyun, FU Xiaoyan. Channel Attenuation Characteristics of Satellite Communications in Ka - band [J]. Telecommunication Engineering, 2005, 48(5):26 - 30. (in Chinese)
- [7] 李洪博, 陈树新. 串行级联 Turbo 码在 Ka 频段静止卫星通信系统中的应用与仿真研究 [J]. 空间电子技术, 2008, 38(3):94 - 99.  
LI Hongbo, CHEN Shuxin. A Study of the Simulation of Serially - concatenated Turbo Codes Used in A Ka - band Motionless Satellite Communication System [J]. Space Electronic Technology, 2008, 38(3):94 - 99. (in Chinese)

## Motionless Communication Channel Model on Near Space

BAO Rong - wei, CHEN Shu - xin

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

**Abstract:** In the near space communication system, the atmosphere, rain, flash will cause the open space link channel quality deterioration. In this paper, near space airship is taken as a communications platform, the Ka - band near space communication channel propagation characteristics of radio waves are analyzed, the focal point is put on analyzing the impact of rainfall on the signal fading. Based on this, the channel model and simulation model of Ka - band near space communication channel are established, and the simulation of the BER performance in Matlab environment is conducted, which provide a theoretical basis for the analysis of close spatial link and the resistance to Rain Fade.

**Key words:** near space; Ka band; channel modeling; rain fade

(上接第 11 页)

[10] 薛薇. SPSS 统计分析方法及应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2009.

XUE Wei. Statistical Analysis Method and Its Application Using SPSS[M]. Beijing: Electronics Industry Press, 2009. (in Chinese)

[11] Shrestha S, Kazama F. Assessment of Surface Water Quality Using Multivariate Statistical Techniques: A Case Study of the Fuji River Basin in Japan[J]. Environmental Modelling & Software, 2007, 22(4): 464 - 475.

(编辑: 徐敏)

## A Method of Solving the Correlation of Evaluation Indices of Aircraft Survivability

WANG Huai - wei, LI Shu - lin, CHEN Ning

(Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China)

**Abstract:** To solve the lack of rationality in the aircraft survivability evaluation index system, the method of solving the potential correlation among the evaluation indices is proposed. Taking the survivability data in the literature for example, under different confidence level we use fuzzy cluster method to classify again the original 10 original evaluation indices, according to the efficient index defined, the best number of the cluster is 4. Then the 4 new evaluation indices are analyzed by factor analysis to prove the result of fuzzy cluster, thus the relation between the new indices and the original indices is acquired. The result shows that the new index system is simple and effective, compared with the old one, its fuzzy cluster method is rational and its effect is good, so the method can be applied in the establishment of evaluation index system for aircraft survivability.

**Key words:** aircraft survivability; evaluation index; correlation; fuzzy cluster; factor analysis