

Analysis of Mobile Satellite Communication System

Min PENG

Department of Information Engineering, Hunan Urban Construction College, Xiangtan, China

Email: chenlin_240886393@qq.com

Abstract: Satellite mobile communication system has become the research orientation with relatively rapid development in communication field, and it is a strong and modern means of communication. In this paper, the whole mobile satellite communications system is introduced in details, and the space station and earth stations of the various parts of the system function are presented. Two link design methods are introduced, and link equation method is used for the design of satellite communication link, and the impact from the spread loss of satellite links on satellite communications is analyzed, including the impact of free-space loss, the atmosphere and ionosphere on radio wave. The probability density physical meaning of three commonly used channel with channel characteristics (Rician channel, Reyleigh and Lognormal channel) are analyzed. Moreover, satellite channels (Nakagami fading channel, Corraza models and C. Loo model) are simulated, and the results are analyzed.

Keywords: mobile satellite communication system; link design; channel model simulation

移动卫星通信系统的分析

彭 敏

湖南城建职业技术学院信息工程系, 湘潭, 中国, 411104

Email: chenlin_240886393@qq.com

摘 要: 卫星移动通信系统已经成为当前通信领域中发展比较迅速的研究方向和现代通信强有力的手段之一。本文对移动卫星通信系统进行整体介绍, 并详细介绍空间站和地球站系统的各部分功能; 介绍了两种链路设计的方法, 本文主要是采用链路方程法对卫星通信链路进行设计, 并分析了卫星链路传播损耗对卫星通信的影响, 其中包括自由空间损耗、大气对电波以及电离层对电波传播的影响; 介绍信道的特点, 接着分析信道特性的三种常用信道 (Rician 信道、Reyleigh 信道 和 Lognormal 信道) 概率密度函数的物理意义, 对卫星信道 (Nakagami 衰落信道、Corraza 模型和 C.Loo 模型) 进行仿真, 并对结果进行分析。

关键词: 移动卫星通信系统, 链路设计, 信道模型仿真。

1 引言

移动卫星通信 (MSS) 是近几十年来发展的一种新型通信技术, 它是现代卫星通信技术的主要方式之一, 随着计算机和微电子技术的广泛应用, 使得卫星通信技术更加趋于完善。移动卫星通信是卫星通信新技术的应用, 移动卫星通信的最初应用是由于海上通信的迫切要求, 随着航海事业的发展, 对海上通信提出了更高的要求。总之, 卫星通信技术将向着大容量、低轨道、可移动、智能化、数字化等方向发展。

项目支持: 湖南省教育厅资助科研项目 (08A009) 和 (08B015)、湖南省重点学科建设项目资助

2 移动卫星通信系统的构成

卫星移动通信是利用卫星中继实现地面、空中、海上移动用户间或移动用户与固定用户间的相互通信。卫星移动通信是以地面移动通信为基础, 结合空间卫星技术、计算机和微电子技术, 能将通信终端延伸到地球的每个角落的一种更高级的智能化新型通信系统。它是移动通信和卫星通信相结合的一个新的发展方向, 是地面移动通信的重要补充。尽管陆地移动通信发展迅猛, 但地球上仍有许多地方是陆地移动通信系统覆盖不到的, 如空中、海上和许多人烟稀少的地区, 靠陆地系统难以覆盖, 即使能覆盖到也非常不经济。这些地方不得不依靠卫星来提供移动业务, 这

样便刺激了卫星移动通信的发展。从而使通信网产生质的变化^[1-8]。

卫星移动通信系统主要由空中段的通信卫星、地面段的关口站、用户段的众多的远程终端设备三大部分组成：（1）通信卫星也称中继站，用来转发地面、空中、海上固定站和移动站的信息。（2）关口站也称信关站，是卫星移动通信系统的核心。它负责卫星移动通信网和公众电话网之间的连接，为远端移动站和固定站用户提供话音和数据传输信道（3）远程终端设备可以是固定台及车、船、飞机、步行的人所持的便携台、手持台。

移动卫星通信系统应用主要包括：低轨道移动卫星通信系统、中轨道移动卫星通信系统、同步轨道移动卫星通信系统^[9-16]。

3 链路设计

研究链路设计比较熟悉的计算方法有两种：通量密度计算法和链路方程计算法。

假定自由空间中有一个发射源，向各个方向辐射的总功率为 P_t ，在距离发射源 R 米处穿过球面的通量密度为：

$$F = \frac{P_t}{4\pi R^2} W / m^2 \quad (1)$$

若我们采用孔径面积为 $A(m^2)$ 的理想接收天线，如图所示，则可以根据下式计算接收功率 P_r ，即

$$P_r = F * AW \quad (2)$$

理想天线在面积 $A m^2$ 的区域内接收的功率。

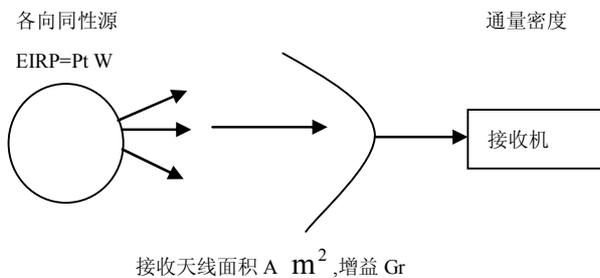


Figure 1: the ideal antenna of the aperture area $A(m^2)$

图 1. 孔径面积为 $A(m^2)$ 的理想接收天线

天线理论中的一个基本关系式是天线增益和面积之间的关系式，即：

$$G = 4\pi A_e / \lambda^2 \Rightarrow A_e = \frac{G\lambda^2}{4\pi} \quad (3)$$

其中 λ 是工作频率对应的波长，单位为米。

计算输入链路 C/N 的第二步是计算关口站接收机的 $(C/N)_{dn}$ 。由于转发器工作在 FDMA 方式，因此各个移动终端信号共享转发器的输出功率。假定 50 个活动终端共享 1MHz 转发器带宽，为了使转发器中的 HPA 工作在准线性状态，要将转发器输入补偿设定为 3dB。因此，转发器的输出功率为 10dBW-3dBW=7 dBW (5W)。5W 的转发器输出功率需要平分给 50 路信号，因而下行链路转发器输出的每路信号的功率为 0.1W=10dBW。

下面，我们便可以建立卫星到网关节点的单信道下行链路链路预算。与计算上行链路预算时一样，我们此处也采用最大路径损耗和最小天线增益进行计算，包括卫星波束边缘效应的其他损耗共计 3.5dB。

根据功率和噪声预算，可计算出噪声带宽 4.8kHz 的网关节点 IF 接收机内输入上行链路的 C/N 为

$$(C/N)_{dn} = P_r / N = -140.5 - (-170.3) = 29.8dB \quad (4)$$

可见，输入链路的 $(C/N)_{dn}$ 比 $(C/N)_{up}$ 高，这是因为关口站点天线增益较高的缘故。由于天线增益高——53.5 dB，相当于直径为 5m、孔径效率为 60% 的天线的增益，天线波束的束宽就会相应较窄，约为 0.4°，因而当卫星经过网关节点上空时，站点必须对卫星进行跟踪。

根据以上求出的上行链路和下行链路的载噪比 C/N ，计算出网关端的总 $(C/N)_o$ 。注意，公式中采用的 C/N 是

比值形式，而不是分贝形式。

$$1/(C/N)_o = 1/(C/N)_{up} + 1/(C/N)_{dn} \quad (5)$$

上行链路载噪比 $(C/N)_{up}=17.7dB \rightarrow 59.9$ ；下行链路载噪比 $(C/N)_{dn}=29.8dB \rightarrow 955.0$ 。因此可以计算出

$$1/(C/N)_o = 1/(C/N)_{up} + 1/(C/N)_{dn} = 55.5 \rightarrow 17.4dB \quad (6)$$

17.4dB 的网关节点接收机载噪比，可以保证系统在采用 BPSK 和 4800bps 的比特速率后，得到很低的比特误码率，并且语音信道的 S/N 将由模数转换器的量化噪声决定。最大允许 BER 为 10^{-4} ，此时的总载噪

比为 $(C/N)_o=9\text{dB}$ 。但是，为了利用裕量进行衰减分析，我们需要分别计算出上行链路和下行链路的链路裕量。

从网关站点到移动终端的输出链路负责传送 BPSK 方式调制的 TDM 比特流，传输速率为 300kbps，单个转发器的带宽为 1MHz。比特流是一系列带有地址信息的包。假定采用的是奈奎斯特滤波器，终端接收机的噪声带宽为 300kHz。输出上行链路和下行链路的载噪比和输入链路的计算方法完全相同，我们可以将功率和噪声预算结合成一个表，从而直接求出载噪比。

上行链路频率为 144GHz 时，1.0dB 的晴空大衰减包含在杂散损耗中。杂散损耗中还包括 3dB 的天线波束边缘损耗。

由于卫星转发器中只有一路信号，转发器可以在接近饱和状态的工作点工作，因而可以不考虑交调干扰的问题。为了避免转发器进入饱和区，我们可以设定 1.0dB 的转发器输出补偿，因而发射功率变为 $P_t=9.0\text{dBW}$ 。杂散损耗中包括 0.5dB 的大气损耗和 3dB 的天线波束边缘损耗。

根据以上结果，可以求得移动端接收机的总 (C/N) 。将各个 C/N 转换为比值形式，即 $(C/N)_{up}=28.6\text{dB}=724.4$ ， $(C/N)_{dn}=14.4\text{dB}=27.5$ 。注意，由于下行链路 C/N 比上行链路 C/N 低的多，所以总 C/N 和下行链路 C/N 十分接近。

4 卫星信道分析与仿真

早在 20 世纪 40 年代，Nakagami 就提出了用来描述长距离 HF 信道快衰落的 Nakagami 模型。研究表明，Nakagami 分布比瑞利分布、莱斯分布和对数正态分布都要更好的接近实验测量数据，且它不含贝塞尔函数，数学分析起来比较容易，可以得到方便运算的闭合解析式。所以 Nakagami 模型自提出至今得到了非常广泛的应用。Nakagami 分布的概率密度函数为

$$p(r) = \frac{2m^m r^{2m-1}}{\Omega^m \Gamma(m)} e^{-\frac{mr^2}{\Omega}}, m \geq \frac{1}{2}, r \geq 0 \quad (6)$$

其中 $\Omega = E[r^2]$ 是多径散射场的平均功率， $m = \Omega^2 / E\{[r^2 - \Omega]^2\}$ 是 Nakagami 的形状因子，它描述由于多径效应引起的衰落程度。随着形状因子 m 的变化，Nakagami 分布涵盖了单边高斯分布、瑞利分

布和莱斯分布，即：当 $m=1/2$ 时，Nakagami 分布就变成了单边高斯分布；当 $m=1$ 时，Nakagami 分布就变成了瑞利分布；当 $m>1$ 时，Nakagami 分布就和莱斯分布很接近。此时，莱斯因子和 Nakagami 形状因子 m 之间有如下近似关系：

$$K = \frac{\sqrt{m^2 - m}}{m - \sqrt{m^2 - m}} \quad m > 1 \quad (7)$$

或

$$m = \frac{(K+1)^2}{(2K+1)} \quad (8)$$

式(6)中的 $\Gamma(m)$ 是伽玛函数，其表示式为：

$$\Gamma(m) = \int_0^{\infty} t^{m-1} x^{-t} dt \quad (9)$$

设接收信号包络 r 服从 Nakagami 分布，则 $s = r^2$ 服从 Gamma 分布，Gamma 分布的概率密度函数

$$p(s) = \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \frac{s^{m-1}}{\Gamma(m)} \exp\left(-\frac{ms}{\Omega}\right) \quad (10)$$

5 结束语

在进行移动卫星通信系统仿真过程中，本文重点对卫星信道进行仿真，因为卫星信道的传播特性是最重要的因素。它关系到能否向用户提供优质、可靠的移动通信服务。本文也对卫星链路进行设计，因为卫星链路的传播损耗也对卫星通信有着不一般的影响。

致谢

感谢湖南工程学院张麇烽老师对本文提供的帮助和宝贵意见，也感谢参考文献中所列的每一位作者。

Reference (参考文献)

- [1] Thorsten Joachims. Making Large-Scale SVM Learning Practical.[J] In: Scholkopf B, Burges C, Smola A, eds. Advances in Kernel Methods—Support Vector Learning. Cambridge: MIT Press, 1999. 169-184.
- [2] Fan, R.-E., Chen, P.-H., & Lin, C.-J.. Working set selection using second order information for training SVM[J]. Journal of Machine Learning Research, 2005,6, 1889--1918.
- [3] E.Osuna,R.Freund, F.Girosi.An improved training algorithm for support vector machines[J]. Proc.IEEE Workshop on Neural Networks and Signal Processing, Piscataway: IEEE Press,1997,

- pp.276~285.
- [4] C.J.C.Burges. A Tutorial on Support Vector Machines for Pattern Recognition[J]. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 1998.
 - [5] Zhang Ling. The relationship between kernel functions based SVM and three-layer feedforward neural networks[J]. *Chinese J Computer*, 2002, 25(7):1-5.
 - [6] Zhang Ling, Zhang Bo. Relationship between support vector set and kernel functions in SVM[J]. *J Comput Sci & Technol*, 2002, 17(5):549-555.
 - [7] Keerthi, S. S., S. K. Shevade, C. Bhattacharyya, and K. R. K. Murthy. Improvements to Platt's SMO algorithm for SVM classifier design[J]. *Neural Computation*, 2001, 13:637-649.
 - [8] Keerthi S S, Gilbert E G. Convergence of a generalized SMO algorithm for SVM classifier design[J]. *Machine Learning*, 2002, 46(1):351-360.
 - [9] Platt J C. Fast training of support vector machines using sequential minimal optimization[A]. SCHLKOPH B, et al eds. *Advances in Kernel Method-Support Vector Learning*[C]. Cambridge, MA: MIT Press, 1999. 185-208.
 - [10] C.-C. Chang and C.-J. Lin. LIBSVM: a library for support vector machines (EB/OL), <http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm>.
 - [11] Laskov P. Feasible direction decomposition algorithms for training support vector machines[J]. *Machine Learning*, 2002, 46(1):315-349.
 - [12] Hsu C-W, LIN C-J. A simple decomposition method for support vector machines[J]. *Machine Learning*, 2002, 46(1):291-314.
 - [13] Lin C-J. On the convergence of the decomposition method for support vector machines[J]. *IEEE Trans on Neural Networks*, 2001, 12(6):1288-1298.
 - [14] Ayat N E, CHERIET M, REMAKI L, et al. KMOD-a new support vector machine kernel with moderate decreasing for pattern recognition, application to digit image recognition[A]. *Proceedings of 6th Int Conf on Document Analysis and Recognition*[C]. Seattle, USA: IEEE, 2001. 1215-1211.
 - [15] Amari S-I, WU S. An information-geometrical method for improving the performance of support vector machine classifier[A]. *Proceedings of 9th Int conf on Artificial neural networks*[C]. Edinburgh, UK: IEEE, 1999. 85-90.
 - [16] Chapelle O, Vapnik V, Bacsquest O, et al. Choosing multiple parameters for support vector machines[J]. *Machine Learning*, 2002, 46(1):131-159.
 - [17] Baesens B, Viaene S, Gestel T V, et al. An empirical assessment for kernel type performance for least squares support vector machine classifiers[A]. *Proceedings of 4th Int Conf on Knowledge-based Intelligent Engineering Systems and Allied Technologies*[C]. Brighton, UK: IEEE, 2000. 313-316.
 - [18] Hsu C-W, Lin C-J. A comparison of methods for multiclass support vector machines[J]. *IEEE Trans on Neural Networks*, 2002, 13(2):415-425.
 - [19] Sebald D J, BUCHLEW J A. Support vector machines and the multiple hypothesis test problem[J]. *IEEE Trans on Signal Processing*, 2001, 49(11): 2865 -2872.