

Ka 频段自相关雨衰预测模型

王艳岭, 达新宇

(空军工程大学电讯工程学院, 710077, 西安)

摘要: 针对目前雨衰预测模型在 Ka 频段雨衰估计中复杂度高、计算量大的问题, 提出了一种结构相对简单、计算量较小的自相关雨衰预测模型. 该模型首先利用前导雨衰数据之间的自相关性, 采用平均误差功率最小的原则计算出模型的参数, 然后结合前导数据迭代推算出 Ka 频段各个频率点的雨衰值. 仿真结果表明, 不同的前导数据量和预测间隔具有不同的预测精度, 在前导数据量为 20、预测间隔为 0.05 GHz 时, 新模型的雨衰量预测误差在整个 Ka 频段均达到 10^{-5} dB 以下.

关键词: Ka 频段; 雨衰; 预测模型; 自相关

中图分类号: TN927.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2011)02-0078-04

A Rain Attenuation Prediction Model with Ka Band Auto-Correlation

WANG Yanling, DA Xinyu

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

Abstract: In order to reduce the complexity of current rain attenuation prediction models, a new auto-correlation rain attenuation prediction model is proposed. The model has the advantages of relatively simple structure and less computational consumption. The new model takes the advantage of the auto-correlation character of preamble dates, and computes the model parameters by minimizing the average error power. Then, the preamble data and model parameters are used to compute the rain attenuation at each frequency point in Ka band. Simulation results show that prediction precision varies with different prediction intervals and different amount of preamble data. The prediction error of the new model is less than 10^{-5} dB in Ka band when the number of preamble data is 20 and the prediction interval is 0.05 GHz.

Keywords: Ka band; rain attenuation; attenuation prediction model; auto-correlation

Ka 频段(20~30 GHz)具有通信容量大、波束宽度窄、功率密度高、隐蔽性强、终端尺寸小、轨道平面内可容纳的卫星多和抗干扰能力强等优点, 是实现全球无缝隙个人通信和 Internet 空中高速通道的理想宽带卫星通信频段^[1-2]. 但是, Ka 频段也具有有一些缺陷, 其中雨衰是影响 Ka 频段链路质量的最主要问题, 因此准确地预测与估算具体地域的雨衰, 对卫星通信系统设计和保障卫星链路质量至关重要.

国际上常用的雨衰预测模型有 ITU-R 模型^[3-5]和 DAH 模型^[6-7], 其中 DAH 模型是 Dissanayake、Allnutt 和 Haidara 等人在 ITU-R 模型的基础上提

出的一种改进模型, 这两种模型虽不需要前导雨衰数据作为预测根据, 但是其计算方法相对复杂, 参数较多, 且在计算雨衰时, 各个参数都与极化方式、频率等有关, 在计算不同极化、不同频率下的雨衰时, 需反复计算各个参数值, 大大增加了计算量. 文献[8]给出了一种频率因子转换的雨衰预测模型, 该模型通过下行频段的雨衰值预测上行频段的雨衰, 虽然减少了参数数量, 但是它具有实用范围小等缺点.

本文基于低频段雨衰测量数据的自相关性, 建立了一种简化的雨衰预测模型, 该模型通过控制不

收稿日期: 2010-05-15. 作者简介: 王艳岭(1985—), 男, 硕士生; 达新宇(联系人), 男, 教授, 博士生导师. 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60802053); 陕西省自然科学基金资助项目(2009JM8001-3).

网络出版时间: 2010-10-19

网络出版地址: http://www.cnki.net/kcms/detail/61-1069_T.20101019.1843.000.html

同的预测阶数、前导数据的数量和预测间隔来满足不同的预测精度要求. 本文以西安地区为例,在不同预测间隔和不同前导数据量下仿真,得出了 3 阶新模型的参数,并在该参数下通过和 DAH 雨衰预测模型的比较,验证了新模型的有效性和高预测精度.

1 Ka 频段自相关雨衰预测模型

1.1 自相关雨衰预测模型的表述

令 $x(n-\Delta f), x(n-2\Delta f), \dots, x(n-p\Delta f)$ 表示频率为 n 附近的前 p 个雨衰前导数据,其中 p 为预测的模型阶数, Δf 为预测间隔,用 M 表示前导数据量的总数,一般 $M > p$. 用 $\hat{x}(n), \hat{x}(n+\Delta f)$ 表示待预测的下 2 个频率点的雨衰预测量

$$\hat{x}(n) = -a_{p1}x(n-\Delta f) - \dots - a_{pp}x(n-p\Delta f) \tag{1}$$

$$\hat{x}(n+\Delta f) = -a_{p1}\hat{x}(n) - \dots - a_{pp}x[n-(p-1)\Delta f] \tag{2}$$

依次迭代类推,可得出更高频段的雨衰量.

1.2 新模型的频率转换预测参数算法

本文模型主要通过 M 个雨衰前导数据的自相关函数来确定模型参数 $a_{p1}, a_{p2}, \dots, a_{pp}$. 由于本文模型相似于 AR 模型,因此可采用 AR 模型的参数计算方法,通过计算前导数据的自相关函数,代入 Yule-Walker 方程中解出各个参数值,算法的具体步骤如下.

(1)根据已知的统计数据,采用有偏自相关函数估计的方法,得到自相关函数

$$\hat{r}_{xx}(m) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^{M-|m|} x(n-i\Delta f)x(n-m\Delta f-i\Delta f) \tag{3}$$

(2)将式(3)计算的相关函数代入 Yule-Walker 方程,求解参数 $a_{p1}, a_{p2}, \dots, a_{pp}$ 和修正误差 ω

$$\left. \begin{aligned} r_{xx}(m) + \sum_{i=1}^p a_{pi}r_{xx}(m-i) &= 0 \\ r_{xx}(0) + \sum_{i=1}^p a_{pi}r_{xx}(i) &= \omega^2 \\ m &= 1, 2, \dots, p \end{aligned} \right\} \tag{4}$$

该计算方法虽然简单,但是有偏自相关函数的估计会引入一定的预测误差,从而也会导致修正误差的偏离. 为避免该误差的存在,本文设计的参数推导算法如下.

(1)确定预测数据的前向误差和后向误差分别为

$$e_{pF}(n) = \hat{x}(n) + \sum_{k=1}^p a_{pk}x(n-k\Delta f) \tag{5}$$

$$e_{pB}(n) = x(n-p\Delta f) + \sum_{k=1}^p a_{pk}x(n-p\Delta f+k\Delta f) \tag{6}$$

式中: $e_{pF}(n)$ 和 $e_{pB}(n)$ 的初始值为 $\hat{x}(n)$.

(2)计算预测误差的平均功率

$$\omega_p = 0.5(\omega_{pF} + \omega_{pB}) \tag{7}$$

式中: ω_{pF} 和 ω_{pB} 分别为前、后向预测误差功率,其计算公式为

$$\omega_{pF} = \frac{1}{M-p} \sum_{n=p}^M |e_{pF}(n)|^2 \tag{8}$$

$$\omega_{pB} = \frac{1}{M-p} \sum_{n=p}^M |e_{pB}(n)|^2 \tag{9}$$

(3)计算自相关模型的参数 a_{pp} . 将式(5)、(6)、(8)、(9)代入式(7)中,采用平均误差功率最小原则,求解出

$$a_{pp} = \frac{-2 \sum_{n=p}^M e_{p-1,F}(n)e_{p-1,B}(n-1)}{\sum_{n=p}^M (|e_{p-1,F}(n)|^2 + |e_{p-1,B}(n-1)|^2)} \tag{10}$$

(4)利用 a_{pp} 求解其他参数

$$a_{pi} = a_{p-1,i} + a_{pp}a_{p-1,p-i} \tag{11}$$

式中: $1 \leq i \leq p-1$.

(5)将参数代入式(1)、(2)中,迭代递推出更高频段的雨衰值.

1.3 新模型的实时预测表述

本文提出的自相关模型可表述为: 令 $x(T-\Delta t), x(T-2\Delta t), \dots, x(T-p\Delta t)$ 为某一时刻 T 之前的 p 个前导雨衰测量数据, Δt 为预测的时间间隔,用 M 表示总前导雨衰测量数据,则 T 时刻的雨衰值可表示为

$$\hat{x}(T) = -a_{p1}x(T-\Delta t) - \dots - a_{pp}x(T-p\Delta t) \tag{12}$$

利用 1.2 节参数的计算方法求解除模型参数,然后迭代式(1),可得出 T 时刻之后的任意时刻的雨衰数据.

2 仿真分析

由于我国没有在全国范围内开展地星之间雨衰的测量工作,因而缺乏实地的实际数据,所以本文采用和国际上通用的 DAH 雨衰预测模型作比较来验证自相关模型的有效性.

仿真中,选取地面站位置为西安(纬度 34.30° , 经度 108.93° , 海拔高度 0.3969 km , 降雨率 39 mm/h);

通信卫星的轨道位置为 92°E ; 预测间隔为 0.1 GHz、0.05 GHz 和 0.01 GHz; 前导雨衰数据量 M 为 10 和 20; 模型阶数 $p=3$; 极化方式为水平极化. 利用自相关模型的计算方法, 可得出模型的参数如表 1 所示.

表 1 自相关模型的参数

M	预测间隔/ GHz	a_{31}	a_{32}	a_{33}
10	0.1	-2.995 2	2.990 5	-0.995 3
	0.05	-2.951 0	2.902 1	-0.951 0
	0.01	-1.551 8	0.103 7	0.448 2
20	0.1	-2.995 3	2.990 8	-0.995 4
	0.05	-2.951 7	2.903 5	-0.951 8
	0.01	-1.564 4	0.128 8	0.435 6

利用表 1 中自相关模型的参数, 递推出本文模型在 Ka 频段的雨衰量的雨衰量, 并与 DAH 模型在 Ka 频段的雨衰量的误差曲进行比较, 结果如图 1 所示. 从图 1 中可以看出, $M=20$ 的预测精度大于 $M=10$ 的预

测精度. 这是因为前导数据量增加可提高数据之间的相关性的估计, 从而优化了模型的预测参数. 另外从图 1 中还可以看出, 本文模型的预测精度并不是随着频率预测间隔的降低而提高. 对于本文所选的预测间隔, 当 $\Delta f=0.05\text{ GHz}$ 时, 其预测精度最高, 原因是随着频率预测间隔的降低, 前导数据之间的相关性增加, 从而可提高预测精度. 但是, 在频率预测间隔降低的同时, 会增加同一频率间隔的预测数量, 从而会导致累积误差的增加. 所以, 应选择合适的频率预测间隔以达到最优的预测精度.

图 2 给出了利用水平极化方式下所得的模型参数应用于垂直极化方式下的预测误差曲线. 与图 1 相比, 在同一频率预测间隔和前导数据下, 垂直极化方式下的误差和水平极化方式下的误差基本相同, 所以可忽略极化方式对自相关雨衰模型参数的影响, 从而也可简化自相关模型在不同极化方式下的预测计算量.

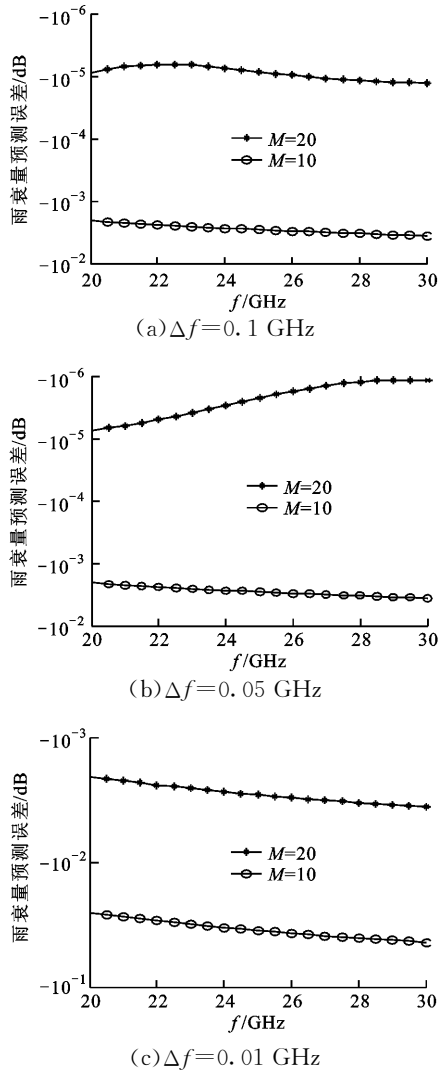


图 1 不同预测间隔下的雨衰量预测误差

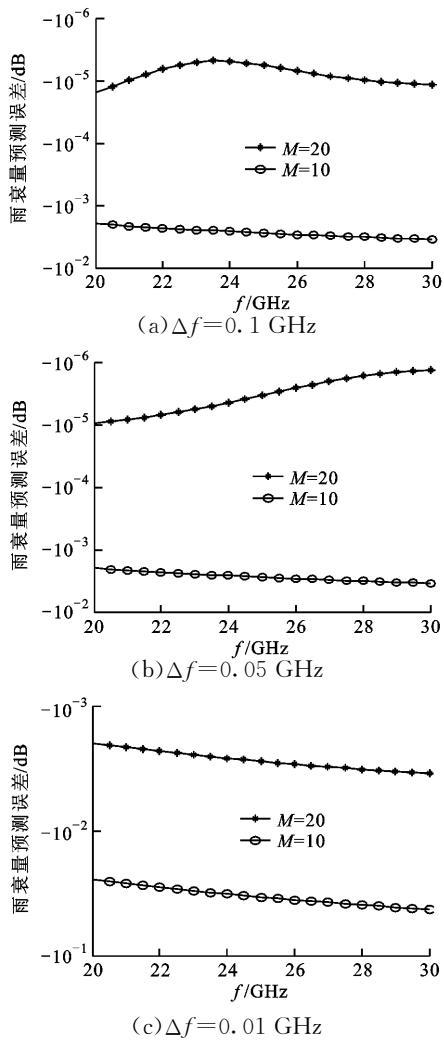


图 2 水平极化预测参数在垂直极化下的雨衰量预测误差

3 结 论

本文基于前导雨衰数据的自相关性,提出了一种 Ka 频段的雨衰预测模型。相比于 ITU-R 和 DAH 模型,本文模型结构简单,参数较少,且可以忽略极化方式对参数的影响。相比频率因子转换的雨衰预测模型,该模型应用范围广,并且在理论上可以对任意一次降雨进行实时预测。从仿真图上可以看出,在 $M=20$ 、 $\Delta f=0.05$ GHz 时,本文模型相对于 DAH 模型的预测误差可达 10^{-5} 以下。但是,由于我国在 Ka 频段的应用研究仍处于初步阶段,缺乏实时数据的支持,故还无法对自相关模型的实时预测进行有效的验证。

参考文献:

- [1] 黄和,王东进,刘发林. Ka 波段移动卫星信道的综合模型及误码率分析[J]. 中国科学技术大学学报, 2005, 35(3): 346-352.
HUANG He, WANG Dongjin, LIU Falin. Modeling of Ka-band mobile satellite channel and ber performance analysis [J]. Journal of University of Science and Technology of China, 2005, 35(3): 346-352.
- [2] 达新宇. Ka 频段卫星通信 ATC-OFDM 系统关键技术研究[D]. 西安:西北工业大学航海学院, 2008.
- [3] International Telecommunication Union. Recommendation ITU-R P. 837-3 Characteristics of precipitation for propagation modelling [S]. Geneva, Switzerland: International Telecommunication Union Electronic Publishing Service, 2004.
- [4] International Telecommunication Union. Recommendation ITU-R P. 618-8 Propagation data and prediction methods required for the design of earth-space telecommunication systems [S]. Geneva, Switzerland: International Telecommunication Union Electronic Publishing Service, 2004.
- [5] 康健,王宇飞. 中国 Ka 波段卫星通信线路的雨衰分布特性[J]. 通信学报, 2006, 27(8): 78-81.
KANG Jian, WANG Yufei. Rain attenuation distribution characteristic of Ka band satellite communication [J]. Journal on Communications, 2006, 27(8): 78-81.
- [6] DISSANAYAKE A W, ALLNUTT J E, HAIDARA F. A prediction model that combines rain attenuation and other propagation impairments along earth-satellite paths [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1997, 45(10): 1546-1558.
- [7] 王宇飞. Ka 频段多波束卫星通信系统降雨衰减补偿方法的研究[D]. 长春:吉林大学通信工程学院, 2006.
- [8] 钟怀东,徐慨,侯柳英. Ka 频段卫星通信上行链路自适应功率控制[J]. 计算机工程, 2009, 35(10): 107-109.
ZHONG Huaidong, XU Kai, HOU Liuying. Uplink adaptive power control in Ka band satellite communication [J]. Computer Engineering, 2009, 35(10): 107-109.

[本刊相关文献链接]

- 重叠保留最小均方误差块线性均衡和块噪声预测算法. 西安交通大学学报, 2010, 44(8): 68-71.
- 子阵和相位平滑的相位差方向估计方法. 西安交通大学学报, 2010, 44(10): 72-76.
- 超宽带通信压缩感知信道估计与信号检测方法. 西安交通大学学报, 2010, 44(2): 88-91.
- 时域同步正交频分复用系统的频偏估计. 西安交通大学学报, 2009, 43(12): 101-105.
- 双选择性衰落信道下的改进型频域判决反馈均衡. 西安交通大学学报, 2010, 44(10): 67-71.
- 被动合成阵列极大似然参数估计的快速方法. 西安交通大学学报, 2009, 43(12): 106-110.
- 三维参数联合估计的免疫记忆量子克隆算法. 西安交通大学学报, 2009, 43(4): 75-79.
- 离散粒子群优化在垂直分层空时系统检测中的应用. 西安交通大学学报, 2008, 42(2): 166-170.
- 交织正交频分多址上行频偏和定时同步联合盲估计算法. 西安交通大学学报, 2007, 41(12): 1436-1440.
- 一种迭代处理单元外部信息转移函数的精确计算方法. 西安交通大学学报, 2009, 43(8): 68-71.
- 正交频分复用分组传输系统中载波频偏和信道的联合估计. 西安交通大学学报, 2008, 42(6): 739-742.
- 一种适合任意阵列流型的相干信号波达方向估计算法. 西安交通大学学报, 2009, 43(6): 72-75.
- 脉冲星信号的模糊阈值小波降噪算法. 西安交通大学学报, 2007, 41(10): 1193-1196.

(编辑 刘杨)