

# Ka 频段卫星通信上行链路自适应功率控制

钟怀东, 徐 慨, 侯柳英

(海军工程大学电子工程学院通信工程系, 武汉 430033)

**摘要:** 为提高 Ka 频段(30 GHz/20 GHz)卫星通信系统上行链路功率控制的可靠性, 提出一种上行链路自适应功率控制算法。该方法基于自回归滑动平均模型, 能由测量到的下行链路降雨衰减预测出上行链路的降雨衰减, 从而提高功率控制精度。仿真结果表明, 该方法对降雨衰减具有较好的补偿效果。

**关键词:** Ka 频段; 卫星通信; 功率控制; 降雨衰减

## Uplink Adaptive Power Control in Ka Band Satellite Communication

ZHONG Huai-dong, XU Kai, HOU Liu-ying

(Dept. of Communication Engineering, College of Electronic Engineering, Naval Univ. of Engineering, Wuhan 430033)

**【Abstract】** In order to increase the validity of uplink power control in Ka band satellite communication(30 GHz/20 GHz), an algorithm of uplink adaptive power control is presented. The method based on the Autoregressive Moving Average(ARMA) model can predict the rain attenuation of uplink from the rain attenuation of downlink measured and improve the precision of power control. Simulation results show that better compensation effects for rain attenuation can be achieved.

**【Key words】** Ka band; satellite communication; power control; rain attenuation

### 1 概述

随着卫星通信的发展及业务需求量的加大, C 波段(6 GHz/4 GHz)和 Ku 波段(14 GHz/12 GHz)越来越拥挤, 因此, 为了适应军事和民用的需求, Ka(30 GHz/20 GHz)波段甚至更高频段的卫星通信越来越受到人们的重视<sup>[1]</sup>。但是高频段卫星通信的一个重要局限性在于它受降雨影响相当大, 特别是在强降雨时, 卫星链路可能中断, 因此, 研究抗雨衰技术显得尤为重要。目前, 国内外研究探讨的抗雨衰技术主要有位置分集技术、自适应功率控制技术、自适应 TDMA(时分多址)、自适应 CDMA(码分多址)和自适应调制编码技术等<sup>[2]</sup>。

由于 Ka 波段卫星链路上行频率比下行频率大很多, 导致上行链路降雨衰减要比下行链路严重得多。许多卫星链路工作时, 最先掉线的那部分就是上行部分。因此, 如果降雨时能增大上行链路的有效全向辐射功率(EIRP), 链路可用率将得到较大提高。这就是上行链路功率控制, 它主要适用于大中型的地面站<sup>[3]</sup>。

本文主要基于 ARMA 模型, 提出了一种上行链路自适应功率控制方法, 即利用频率转换法则, 由已知的上行链路降雨衰减预测出下一阶段上行链路降雨衰减, 进而对功率进行控制, 以达到补偿降雨衰减的目的。通过仿真验证了该方法具有可行性。

### 2 上行链路自适应功率控制原理

上行链路功率控制就是根据所获得的卫星上行链路的降雨衰减相应地调整地面站的发射功率, 以抵消降雨对卫星信号的衰减, 保证链路质量。通常以开环、闭环和反馈环路的形式用于工程中。而开环功率控制主要依靠一些独立的方法, 如监测卫星信标信号或辐射计测量来估计上行链路的衰落问题<sup>[4]</sup>。从实现的难易程度来讲, 开环功率控制最简单, 因为该方法可用于一个单独的地面站而不用考虑全系统。

由于上行链路和下行链路并不是直接相干的, 如果把信号在传输过程中引起的衰落因素考虑进去, 再根据一定的频率比例关系进行转换, 把下行链路的衰减变换到上行的衰减, 从而估算出上行链路功率的衰减量, 并对功率进行调整, 这样就得到了较高的控制精度。

### 3 不同频率衰减变换的算法

文献[5]中对不同频率降雨衰减变换提出了很多方法, 本文选用 IRU-R 提供的变换公式。经长期的统计数据验证, 公式具有较高的精确度。

$$\frac{A(f_2)}{A(f_1)} = \left(\frac{\phi_2}{\phi_1}\right)^{1-H(\phi_1, \phi_2, A_1)} \quad (1)$$

其中,

$$\phi(f) = \frac{f^2}{1+10^{-4}f^2};$$

$$H(\phi_1, \phi_2, A_1) = 1.12 \times 10^{-3} \left(\frac{\phi_2}{\phi_1}\right)^{0.5} (\phi_1 A_1)^{0.55}。$$

其中,  $A_1, A_2$  是频率在  $f_1$  和  $f_2$  时卫星链路的降雨衰减(dB)。该变换公式适用于频率范围在 7 GHz~50 GHz 时的情况。图 1 为 30 GHz 与 20 GHz 时衰减的比值关系,  $A_1$  为下行链路 20 GHz 时降雨衰减,  $A_2$  为上行链路 30 GHz 时降雨衰减, 纵轴表示两者的比值。由图可以看出, 随着下行链路降雨衰减的增大, 两者的比值逐渐减小。根据以上关系, 可以由下行链路 20 GHz 的降雨衰减推导出上行链路 30 GHz 的降雨衰减。

**作者简介:** 钟怀东(1984 -), 男, 硕士研究生, 主研方向: 通信与信息系统; 徐 慨, 副教授、在职博士研究生; 侯柳英, 硕士研究生

**收稿日期:** 2008-11-10 **E-mail:** xxxxxx\_618@sina.com

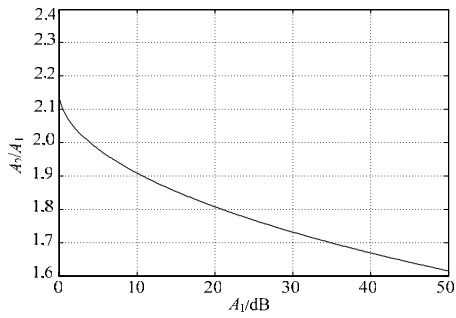


图1 30 GHz与20 GHz时衰减的比值关系

## 4 基于 ARMA 模型的上行链路自适应功率控制

### 4.1 ARMA(p,q)一般模型

ARMA 模型(自回归滑动平均模型)可以用线性差分方程形式表示<sup>[6]</sup>：

$$y^-(t) = \sum_{m=1}^p \alpha_m \cdot y(t-m) + e(t) + \sum_{n=1}^q c_n \cdot e(t-n) \quad (2)$$

### 4.2 基于 ARMA(p,q)模型的自适应功率控制算法

对式(2)，令  $y^-(t)$  为  $t$  时刻 30 GHz 上降雨衰减预测值， $y(t-m)$  为前  $t-m$  时刻 30 GHz 上降雨衰减实测值， $e(t)$  为  $t$  时刻的预测误差，表达式为

$$e(t) = y^-(t) - y(t-1) \quad (3)$$

经分析，将式(2)化为

$$y^-(t) = \sum_{m=1}^p \alpha_m(t-m) \cdot y(t-m) + \sum_{n=0}^q b_n(t-n) \cdot e(t-n) \quad (4)$$

其中， $\alpha_m(t)$  和  $b_n(t)$  为模型参数，计算方法可由 LMS 算法(最小均方算法)得到( $\mu_1$  和  $\mu_2$  为控制自适应速度和稳定性的常数)<sup>[7]</sup>，即：

$$\alpha_m(t-m) = \alpha_m(t-m-1) + 2 \cdot \mu_1 \cdot e(t-m-1) \cdot y(t-m-1) \quad (5)$$

$$b_n(t-n) = b_n(t-n-1) + 2 \cdot \mu_2 \cdot e(t-n-1) \cdot e(t-n-1) \quad (6)$$

### 4.3 算法仿真分析

本仿真选取某次降雨过程中的 620 个采样点进行预测，采样时间间隔为 5 s 一次。由于不是一个完整的降雨过程，因此仿真预测更体现实时性。仿真分析采用 Matlab 软件。图 2、图 3 为  $p=2, q=1$  时降雨衰减预测情况及预测误差；图 4、图 5 为  $p=3, q=3$  时降雨衰减预测情况及预测误差。

图 2、图 3 显示，在初期会有一个学习过程，预测误差会逐减小，在稳定之后，预测算法对降雨衰减过程能进行较好的预测。图 4、图 5 显示， $p, q$  值较大时，学习过程较短；但  $p, q$  越大，预测的准确性会变弱。除去学习过程，当  $p=2, q=1$  时，90% 以上的点的预测误差都在 0.5 dB 以内；当  $p=3, q=3$  时，预测误差在 0.5 dB 以内的点只有 80%。

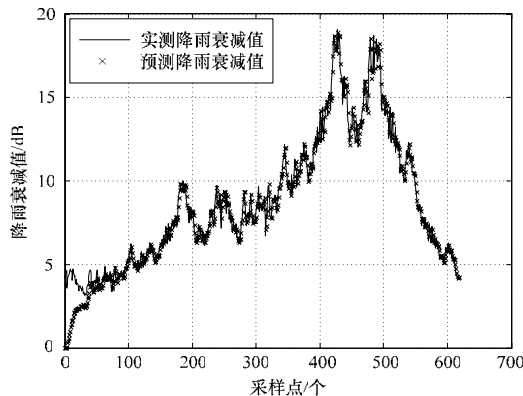


图2 降雨衰减预测情况

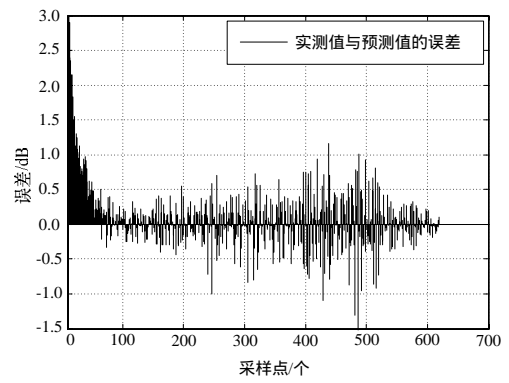


图3 预测误差

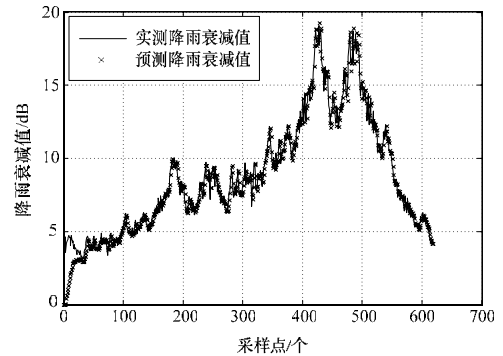


图4 降雨衰减预测情况

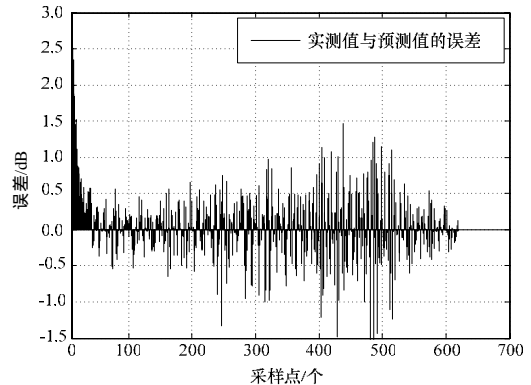


图5 预测误差

在实际应用中，由于天气条件存在很大的不确定性，加上实时控制对设备的要求较高，运营成本大，因此选择合适的采样间隔非常重要。选取的基本原则是看链路衰减的实时变化率，如果变化率很大，则应选取较小时间间隔；如果变化率不大，则可以选取较大的时间间隔。而对于  $p, q$  值，应根据需要及成本进行选择。另外，由于预测算法本身的学习属性，因此无论从哪个时间点开始进行预测，都能达到较好的预测效果。

## 5 结束语

基于 ARMA 模型，提出了一种上行链路自适应功率控制方法，即利用频率转换法则，先由下行链路降雨衰减值得出上行链路降雨衰减值得，而后根据提出的自适应功率控制算法，预测出下一采样时刻上行链路降雨衰减值得，进而对功率进行控制，以达到补偿降雨衰减的目的。通过仿真分析可知，该方法是可行的。在实际应用阶段，可以根据不同的天气选取不同的采样时间间隔，以达到对设备资源的有效利用。

(下转第 117 页)