

Ka 频段卫星上行链路开环功率控制算法研究

谢德芳, 翁木云, 郭兴阳

(空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077)

摘要:在 Ka 频段卫星通信中,降雨引起的信号衰减会影响卫星业务质量,上行链路开环功率控制是最经济的抗雨衰技术之一。文中提出的一种实时信标晴空参考电平获取方法,克服了雨衰强度快速变化对其的影响,并对开环功率控制算法的关键部分——衰减估计的具体实现电路进行了详细研究。

关键词:降雨衰减;上行链路开环功率控制;频率转换因子;晴空参考电平

中图分类号:TN927.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2002)01-0039-04

影响卫星链路电波传播的因素一般有对流层闪烁、降雨衰减、云吸收、大气吸收衰减。在 Ka 频段,各种因素对信号的影响都随频率的升高而增大。对流层闪烁造成的影响使得信号幅度发生较快速的波动,波动基本上是围绕信号幅度值上下对称的。资料表明,波动每秒钟可能发生 0.5~10 次^[1,3,5]。

雨、云和大气的吸收衰减变化与对流层闪烁相比是慢变化。大气吸收主要是由氧气和水蒸气造成的,其中水蒸气吸收量在不同的气象条件下差别较大。但总的来说,慢变化衰减中降雨吸收衰减是最重要的影响因素。不考虑幅度闪烁的情况下,晴天有一个较固定的大气吸收量。雨天时由于雨、云、水蒸气等变化量的影响,卫星接收到的信号强度相对于晴天有一个缓慢变化的衰减量。

1 开环功率控制算法

上行链路开环功率控制是卫星通信最实用的抗雨衰技术之一,其主要作用是在降雨期间对上行链路衰减量进行估算,然后根据衰减量相应增大发射功率,使卫星接收的信号功率保持在一定的范围之内,其目的是补偿慢变化的衰减量和幅度闪烁。温度等其它因素所引起的慢变化衰减,在补偿过程中,都当雨衰来处理。

卫星通信中上、下行信号在相同频率点上受传播因素影响的程度相同。可以使用下行信标(其频率在上行 30 GHz 频段内)进行上行链路雨衰、闪烁的估计,但在强发射信号频率附近接收弱信标信号有一定难度。因此,采用下行链路频率段内的 20 GHz 下行信标,通过频率转换估计 30 GHz 上行信号的雨衰量和闪烁引起的变化量。

即使地球站接收到的信标没受到雨衰、闪烁和噪声的影响,其强度也是缓慢变动的。这个变动不能计算到慢变化衰减中,因为它不是传播因素引起的。它产生的原因是卫星漂移造成地面天线指向的误差、卫星发射信标功率的不稳定、地球站气温变化造成接收机增益的变化,前两者的影响具有 23 小时 56 分 04 秒的周期性。

开环功率控制算法最关键的部分,是上行链路衰减量的估算。其方法是首先实时地估计不受闪烁、雨衰和噪声影响的信标强度,称为晴空信标参考值。由于闪烁分量功率谱与雨衰分量功率谱不重叠,用滤波方法把实时信标的闪烁分量分离出来,再用雨衰和信标的合成分量减去晴空信标参考值就得到了慢变化的雨衰分量。闪烁分量和雨衰分量各自经过频率转换后,相加得到 30 GHz 上行信号总的衰减量,如图 1 所示。---

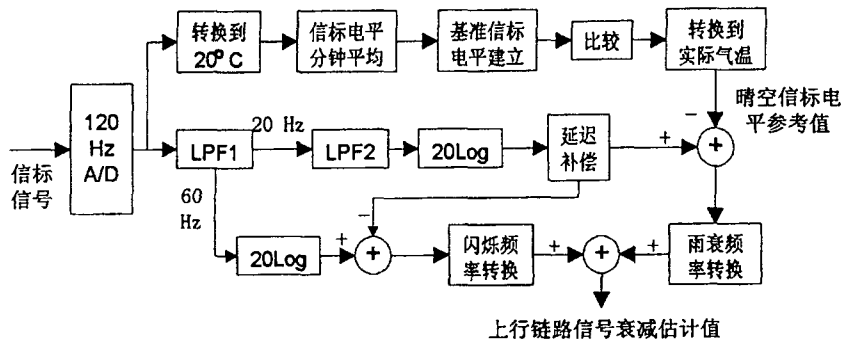


图1 上行链路衰减估算框图

对于慢变化衰减,云衰和雨衰的频率转换因子基本相同^[3],另外几个因素频率转换因子虽各不相同,但其对系统的影响很小。功率控制算法对慢变化衰减的补偿,也主要是补偿降雨和浓云引起的慢变化衰减,因此慢变化衰减使用降雨衰减的频率转换因子,其结果对功率控制精度影响不大。降雨衰减的频率转换因子^[2]为:

$$\frac{A_u}{A_d} = \frac{\phi(f_u)}{\phi(f_d)}$$

其中

$$\phi(f) = \frac{f^{1.72}}{1 + 3 \times 10^{-7} f^{3.44}} \tag{1}$$

闪烁分量的频率转换因子^[3]为:

$$\frac{S_u}{S_d} = \left(\frac{f_u}{f_d}\right)^{\frac{7}{12}} \tag{2}$$

总的信号衰减量 A 为: $A = A_u + S_u$ (3)

其中上行雨衰 A_u 、下行雨衰 A_d 、上行闪烁衰减 S_u 、下行闪烁衰减 S_d 、总衰减量 A 都是分贝值,上行频率 f_u 、下行频率 f_d 单位都是 GHz。

2 功率控制算法实现

2.1 信标接收机

信标接收机接收到 20 GHz 的下行信标信号,进行处理后,通过一个窄带带通滤波器输出,获得衰减估算算法所需要的输入信标信号。为便于窄带滤波器的实现,信标接收机将输出信标信号变到较低的频率,并用一个 AFC 电路对信标频率进行校正,消除信标本身的频偏和多普勒频移的影响,其方框图如图 2 所示。

2.2 信标中频欠采样

对信标接收机输出的信号进行 120 Hz 抽样率的中频采样,将中心频率搬移到零中频。中频欠采样的原理如下所述:

信标接收机输出的信号为

$$S_r(t) = A(t) \cdot x_1(t) \cdot x_2(t) \cdot \cos\omega t + N(t) \tag{4}$$

其中, $A(t)$ 是无闪烁影响的晴天信标幅度值, $x_1(t)$ 是慢变化衰减分量, $x_2(t)$ 是信标幅度闪烁, $N(t)$ 为噪声。 $x_1(t)$ 、 $x_2(t)$ 都是大于 0 的变量。

若输出的单频频率为抽样率的整数倍,经带通抽样后产生信号序列 $S(n)$,

$$S(n) = S_r(nT_s) =$$

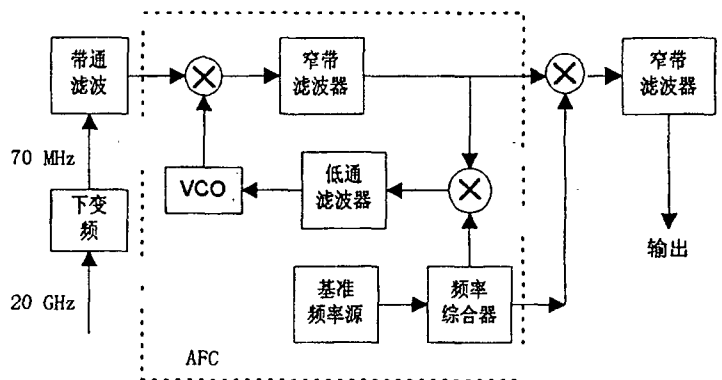


图2 接收机结构框图

$$\begin{aligned} A(nTa) \cdot x_1(nTa) \cdot x_2(nTa) \cdot \cos(2\pi f nTa) + N(nTa) = \\ A(n) \cdot X_1(n) \cdot X_2(n) + N(n) \end{aligned} \quad (5)$$

开环功率控制就是为了提取出 $X_1(n)$ 和 $X_2(n)$ 。

由于检测雨衰和闪烁只需要信标信号的幅度信息,也可以通过检波得到一个基带信号,然后再进行采样,最后也可得到 $A(n) \cdot X_1(n) \cdot X_2(n)$ 。

2.3 晴空信标参考值计算

2.3.1 基准信标电平

晴天时把 1 分钟内所有信标样点进行平均,消除噪声和闪烁对信标的影响。利用公式(6),将第 t 分钟的信标平均值 $X(T, t)$,转换为气温 20°C 时第 t 分钟信标平均值 $\Phi(t)$, $f(T)$ 是温度为 T 时接收机的综合幅度增益与温度为 20°C 时平均值的比值,可以通过测量得到。

$$X(T, t) = f(T) \Phi(t) \quad (6)$$

$\Phi(t)$ 的起伏比较缓慢。晴天时,首先将一天内每小时的 60 个 $\Phi(t)$ 平均,得到 24 个值,存为初始基准信标电平,以后每天进行更新。实际的晴天信标经常受到云和水蒸气的影响,当这个影响小于 0.5 dB 时对基准信标电平影响不大,仍将其认为是晴天基准信标电平。基准信标电平的更新是这样进行的:每一小时结束时,用 $\Phi(t)$ 的平均值减去对应小时的基准信标电平,若差值大于 -0.5 dB, $\Phi(t)$ 平均值取代原存储的基准信标电平值;若小于 -0.5 dB,认为该小时内雨衰较大,原存储值不更新;每天最后将新的 24 点基准信标电平进行平滑、存储,完成更新过程。进行平滑时,先将 24 个数据点扩展成周期序列,再进行离散傅立叶变换,将变换结果的低频几项相加可达到平滑效果。设扩展后的周期序列是 $x(n)$,平滑后得到 $y(n)$,则平滑公式如下。

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j(2\pi/N)nk} \quad N=24 \quad (7)$$

$$y(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=-3}^3 X(k) e^{j(2\pi/N)nk} \quad N=24 \quad (8)$$

雨天时基准信标电平就用来计算晴空参考值。虽然 $\Phi(t)$ 的周期不等于 24 小时,但相差很小,且每天都进行基准信标电平的更新,当天建立的基准信标电平用于第 2 天是相当精确的,另外由于 1 年中绝大部分时间是晴天,因此基准信标电平的计算方法是有效的。

2.3.2 计算晴空信标参考值

晴空信标参考值起伏缓慢,1 分钟输出一个值,每分钟的 $\Phi(t)$ 与该小时的基准信标电平相比较(该小时的存储值还未更新),若大于该小时的基准信标电平,将 $\Phi(t)$ 转换到当前温度的每分钟平均信标值,作为晴空信标参考值输出;若小于该小时的基准信标电平,如相差不到 0.5 dB,则仍将 $\Phi(t)$ 转换到当前温度的每分钟平均信标值输出,如相差在 0.5 dB 以上,又分为两种情况:与前 1 小时计算的基准信标电平差值大于 -0.5 dB,用存储的当前小时基准信标电平加上这个差值,温度转换后输出;与前 1 小时计算的基准信标电平差值小于 -0.5 dB,将前 1 小时基准信标电平经温度转换后输出。

2.4 滤波器设计

由于公式(5)中 $A(n) \cdot X_1(n)$ 是缓慢变化的,所以 $S(n)$ 在对应模拟频率 0.5 ~ 10 Hz 之间的功率谱就是 $X_2(n)$ 分量。在 120 Hz 抽样率下,闪烁分量 $X_2(n)$ 的功率谱数字频率区间为 $\pi/120 \sim \pi/6$ 。低通滤波器 LPF1 带宽为 $\pi/6$,用于滤除 10 Hz 以上的噪声,10 Hz 以下的噪声不考虑;由于 LPF1 的滤波,LPF2 输入采样率压缩为 20 Hz 不会引起信号的谱重叠,低通滤波器 LPF2 带宽为 $\pi/20$,对应模拟频率 0.5 Hz,其输出为 $A(n) \cdot X_1(n)$ 。LPF1 的输出采样率为 60 Hz,功率控制器的输出也为 60 Hz。用等波纹逼近法设计线性相位 FIR 数字滤波器,两个滤波器的阶数 LPF1 为 25、LPF2 为 41 就可满足要求。

由于传播因素变化的时间常数远小于 $100 \text{ ms}^{[3]}$,雨衰强度的变化速率在 30 GHz 时很少能超过 $0.225 \text{ dB/s}^{[4]}$,因此将 LPF1 的延迟设计为 100 ms,LPF2 延迟 1 s,这样就能有效地实时补偿雨衰和幅度闪烁。但 LPF2 延迟 1 秒有可能造成功率控制误差增大,如再采用时间延迟补偿电路就能进一步减小误差。其解决办法是计算出前 1 秒内雨衰强度的变化量,用该变化量对当前 LPF2 输出值进行调整。

最后用时间延迟补偿电路的输出减去晴空信标参考值,得到 20 GHz 降雨衰减量,转换到 30 GHz 降雨衰减量。另外用 LPF1 的输出减去时间延迟补偿电路的输出值,得到 20 GHz 闪烁衰减量,也转换到 30 GHz 闪烁衰减量,两个转换后的结果相加,就得到实时的 30 GHz 上行链路衰减估计值。

3 功率控制算法的验证方法

具有上行链路功率控制算法功能的实验站接收卫星的 20 GHz 下行信标,再控制发射一个 30 GHz 载波。利用另一个远端站接收该实验站发射的经透明转发器变换后的载波和 20 GHz 下行信标,由于载波和下行信标两者受到的下行传播影响相同,相减结果就是上行链路功率控制算法的误差。该误差的大小就反映了功率控制算法的精度。

参考文献:

- [1] Lin K T, Zarks C, Dissanyake A W. Results of an experiment to demonstrate the effectiveness of open-loop uplink power control for Ku-band satellite links [A]. ICAP 93 [C]. Edinburgh:IEE,1993,202-205.
- [2] Sweeney D G. Implementing adaptive power control as a 30/20-GHz fade counter measure [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1999, 47(1): 40-46.
- [3] Dissanyake A W. Application of open-loop uplink power control in Ka-band satellite links [J]. Proceedings of the IEEE, 1997, 85(6):959-969.
- [4] Stutzman W L, Pratt T, Safaai-Jazi A. Results from the Virginia Tech propagation experiment using the Olympus satellite 12, 20 and 30 GHz beacons [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1995, 43(1):54-62.
- [5] 高娜娜,黄国策. 码分多址卫星通信网中干扰与噪声的分析计算[J]. 空军工程大学学报(自然科学版),2001,2(5):45-47.

(编辑:门向生)

A Study on Open-Loop Uplink Power Control Algorithm in Ka-Band Satellite Links

XIE De-fang, WENG Mu-yun, GUO Xing-yang

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

Abstract: In the Ka-band satellite communications, signal fading caused by rain reduces service quality of satellite links, and open-loop uplink power control is one of the most cost-effective rain fade countermeasure technique. In this paper, an identification method to the real time clear-sky reference level is presented, it alleviates affects of rapid variations in rain intensity. The specific realized circuits of fade estimation are studied in detail, and the fade estimation is a key part in open-loop uplink power control algorithm.

Key words: rain attenuation; open-loop uplink power control; frequency scaling ratio; clear-sky reference level