

日凌对卫星通信系统的影响预测

刘 剑, 杨友民, 黄国策, 郑秋容
(空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077)

摘 要:解释了日凌产生的原因,通过链路计算及对日凌发生时天线噪声的计算进而计算出日凌影响最强时接收信号的 E_b/N_0 ;给出了日凌发生时间的计算方法及预测日凌中断程序的流程图。

关键词:卫星通信;日凌; E_b/N_0

中图分类号:TN927 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2002)06-0056-04

静止轨道卫星通信中,每年春秋分前后的一段时间内,太阳“移到”卫星背后与地球站成一条直线时,地球站天线对准卫星同时会对准太阳(如图1所示)。由于太阳是一个强大的噪声源,增加了天空噪声,系统的总噪声增加,地球站的有效品质因数 G/T 值下降,接收信号的每比特信号能量噪声密度比 E_b/N_0 (模拟信号的载波噪声密度比 C/N_0)降低。我们称这种现象为日凌。日凌发生时,如果 E_b/N_0 (或 C/N_0)低于门限值,则会破坏系统的正常业务,造成通信中断,称之为日凌中断。传统的C波段或Ku波段系统一般会发生日凌中断^[1]。

本文从卫星通信系统的链路计算入手,计算日凌对天线噪声的影响,进而计算其对通信质量的影响,然后给出日凌中断发生日期的计算方法及预测程序流程图。

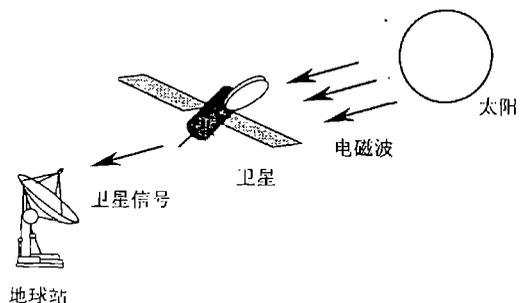


图1 日凌示意图

1 日凌影响最强时 E_b/N_0 的计算

1.1 链路计算

地球站通过卫星与另一地球站进行通信时,考虑整条链路(以下公式中,方括号内表示分贝值,圆括号内表示真值),有

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_c^{-1} = \left(\frac{C}{N_0}\right)_u^{-1} + \left(\frac{C}{N_0}\right)_d^{-1} \quad (1)$$

式中, $\left(\frac{C}{N_0}\right)_c$ 为总的信号噪声密度比(由地球站到卫星再到地球站), $\left(\frac{C}{N_0}\right)_u$ 为上行信号噪声密度比, $\left(\frac{C}{N_0}\right)_d$ 为下行信号噪声密度比。

$$\left[\frac{C}{N_0}\right]_u = [EIRP]_{TX} + [G/T]_s - [L]_u - [k] \quad (\text{dBHz}) \quad (2)$$

$$\left[\frac{C}{N_0}\right]_d = [EIRP]_s + [G/T]_{RX} - [L]_d - [k] \quad (\text{dBHz}) \quad (3)$$

收稿日期:2002-05-16

作者简介:刘 剑(1978-),男,山东潍坊人,硕士生,主要从事卫星通信研究。

式中, $[EIRP]_{TX}$ 为发送地球站的 EIRP (dB), $[EIRP]_S$ 为卫星的 EIRP (dB); $[G/T]_S$ 为卫星上接收机的品质因数 (dB), $[G/T]_{RX}$ 为接收地球站的品质因数 (dB); $L = (4\pi d/\lambda)^2$, 是路径损耗, d 为地球站到卫星的距离, λ 为卫星或地球站接收信号的波长; $[k] = -228.6 \text{ dBW/kHz}$, 为 Boltzmann 常数。

在计算 $[G/T]_{RX}$ 时, G 和 T 应折合到同一位置, 一般同时折合到天线与馈线连接的法兰盘处或同时折合到低噪声放大器 (LNA) 前端。本文按第一种方法计算。

$$G_{RX} = \frac{4\pi A}{\lambda^2} \cdot \eta \tag{4}$$

其中, A 为天线的口径面积, $A = \frac{\pi D^2}{4}$, D 为天线直径 (设天线横截面为圆形); η 为天线效率。

$$T_{RX} = T_a + \Delta T_a + (L_F - 1) T_0 + T_{LNA} \cdot L_F \tag{5}$$

式中, T_a 为天空噪声温度; ΔT_a 为日凌引起的天空噪声温度增量; L_F 为馈线损耗, 等于输入功率与输出功率之比; T_0 为环境温度 (K); T_{LNA} 为低噪声放大器在其输入端的等效噪声温度。

式(5)中忽略了 LNA 以后的噪声。因为 LNA 是高增益的, 而 LNA 以后的系统噪声温度折合到 LNA 输入端时要除以这个增益, 其影响可以忽略。

而链路中 C/N_0 与 E_b/N_0 的关系为^[2]

$$\left[\frac{C}{N_0} \right] = [E_b/N_0] + [R_b] \tag{6}$$

式中, R_b 为经过信道编码后的基带信息速率 (bps)。

日凌发生时, ΔT_a 显著变大, 成为 T_{RX} 中的主要部分, 所以地球站的 G/T 显著减小, 下行链路的信噪比降低, 从而整条链路的信噪比下降, 通信质量下降, 严重时通信中断。也就是说, 只要计算出日凌发生时 ΔT_a 的大小, 就可以算出日凌对通信的影响。

1.2 日凌发生时天线噪声增量的计算

太阳在微波波段的电磁辐射是随机极化的, 而地球站一般都采用单极化技术, 故在所用通带内, 接收到的噪声是入射辐射功率的一半。所以, 日凌引起噪声温度的实际增加量, 等于太阳可视表面对接收方向图积分的加权平均值, 再乘以极化因子 $p (=0.5)$ 。

太阳亮度温度曲线平均值的计算公式为^[1,3]

$$T_s = 120\,000 \cdot f^{-0.75} \text{ (K)} \tag{7}$$

式中, f 为频率 (GHz)。所以可用下式来估算日凌期间天线噪声温度的增加量:

$$\Delta T_a = p \cdot \frac{T_s}{4\pi \int_{\text{太阳可视表面}} g(\theta, \phi) \sin\theta d\theta d\phi} \tag{8}$$

式中, $p = 0.5$, 单极化衰减因子; T_s 为太阳黑体温度; $g(\theta, \phi)$ 为归一化天线增益方向图, 可近似表示为^[2]

$$g(\theta, \phi) = e^{-2.27(\frac{\theta}{\theta_{1/2}})^2} \tag{9}$$

其中, $\theta_{1/2} = 70 \cdot \frac{\lambda}{D}$ 为接收天线的半功率点宽度。

尽管式(8)非常精确, 但计算繁琐, 一般计算时可以采用下面的方法^[1,4]

$$\Delta T_a = p \cdot T_s \cdot \eta \cdot r^2 \tag{10}$$

式中, $r = \begin{cases} \text{太阳表面直径对波束宽度的比值} & \text{若天线波束宽度大于太阳直径} \\ 1 & \text{其它情况} \end{cases}$

1.3 日凌影响最强时 E_b/N_0 的计算

太阳的中心点在天线波束的正中央时日凌影响最强, 此时, 由式(8)或式(10)可求得 ΔT_a 的极大值, 从而求得 T_{RX} , 由链路计算便可求得整条链路的载噪比 $\left(\frac{C}{N_0}\right)_c$, 在接收端

$$[E_b/N_0] = \left[\frac{C}{N_0} \right]_c - [R_b] \tag{11}$$

求得此值便可得知日凌影响的大体情况, 若此时不发生通信中断, 一般用户可不考虑日凌的影响; 若发生中断, 则可以通过进一步的计算对日凌中断进行预测。

2 日凌最强时间的计算

以地球为参考,在南北回归线之间,太阳以 $0.25^\circ/\text{min}$ 的视角速度由东向西“绕”地球运动,南北方向运动的纬度速度为 $0.3854^\circ/\text{d}^{[1,5]}$ 。以此易计算出,日凌发生在春分或秋分前后 23 天内,北半球发生在春分前秋分后,且地球站天线方位角为南偏东时,日凌发生在午前,方位角南偏西时,日凌发生在午后;而南半球正好相反。

如图 2 所示,令 P 点为地面站站址,北纬 $\angle POK_1 = \Phi$ (如果地球站在南半球,则 Φ 取南纬纬度的负值),弧 $\widehat{NP}K_1$ 交赤道于点 K_1 ,东经 K_1 度, S 为赤道上静止卫星。 O 为地心,星下点经度为东经 K_2 度,星下点经度与站台站址经度差 $\Delta K = K_1 - K_2$, OS 为地心到卫星的距离, $OS = 42\,164\text{ km}$,地球平均半径为 $R = 6\,371\text{ km}$,过 P 点作 PD 垂直于赤道平面交 OK_1 于点 D ,作 $DD'' \perp OS$,作 PD' 垂直于 PD ,则 $PDD''D'$ 为矩形。

地球自转和太阳直射点的南北移动同时满足两个条件时发生日凌。① $S'O$ 与 $D'S$ 平行并与 OS 夹角为 α ,② $S''O$ 与 DS 平行并与 OS 夹角为 β 。所以有:

$$\alpha = \arctg \frac{\sin \Phi}{6.618 - \cos \Phi \cos \Delta K} \quad (12)$$

$$\beta = \arctg \frac{\cos \Phi \sin \Delta K}{6.618 - \cos \Phi \cos \Delta K} \quad (13)$$

α 值确定发生日凌时太阳光直射纬度位置 M_2 , M_2 在春秋分前后 46 天里的平均南北移动角速度为 $\omega = 0.3854^\circ/\text{d}$,故每年的 2 次日凌最强日为 T_1 对应的那一天, T_1 由下式给出:

$$T_1 = \text{春(秋)分时间} - (+)\alpha/\omega \quad (14)$$

β 值确定发生日凌时太阳光直射经度位置 M_1 ($M_1 = K_2 + \beta$),发生日凌时的北京时间可用下式计算:

$$T_2 = 12\text{ h } 00\text{ min} - (M_2 - 120) \times 4\text{ min} \quad (15)$$

因为太阳并不是一个理想的点光源,其立体角约为 0.532° ,以上计算为日凌最强时间,在其前后几天内也会有日凌现象。具体多少天有日凌现象要看链路计算的结果。如果 E_b/N_0 显著变小,则日凌发生。

3 日凌中断预测的实现

在以上理论分析基础上,我们可以编制程序计算日凌的发生时间,程序流程如图 3 所示。需要说明的有以下几点:

因为黑子等太阳活动对太阳电磁辐射有强烈的影响,所以必须考虑,程序中体现为太阳活动参数,即以无太阳活动的太阳噪声温度乘以一个加权系数。

在计算日凌的发生日期与具体时刻时,采用验证的方法,即取某一时刻,计算接收端的 E_b/N_0 ,如果大于门限值,则认为不发生日凌中断,反之则发生日凌中断,同时认为此时刻两侧的一段时间内有相同的结果。显然,计算的时间点越多则预测越精确,实际中,一般要求精确到 1 min 即可。

输出数据包括:站名、地球站位置、卫星定点位置、是否会发生日凌中断,若发生,则给出日凌中断发生的日期,日凌最严重时刻以及日凌中断的起止时刻、持续时间。

4 结束语

日凌是静止卫星通信中不可避免的问题,本文全面阐述了日凌现象:解释了日凌产生的原因,通过链路

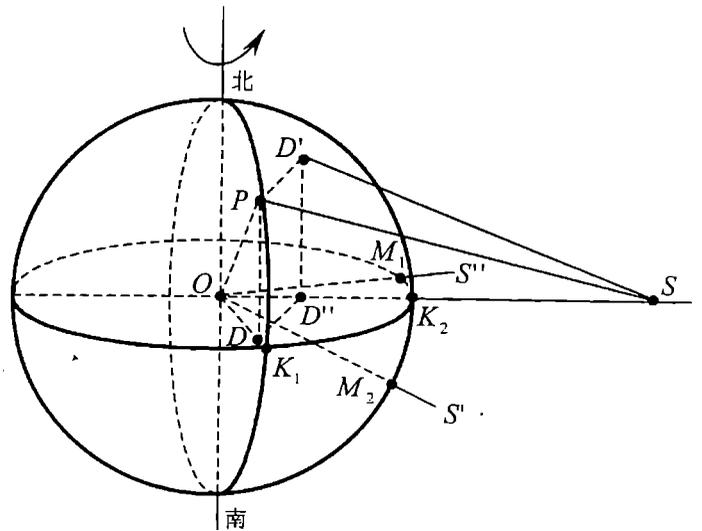


图 2 卫星通信日凌时间计算示意图

计算及对日凌发生时天线噪声的计算进而求得日凌影响最强时接收信号的 E_b/N_0 , 从而可知日凌对静止卫星通信影响程度的大小, 给出了日凌发生时间的计算方法及预测日凌中断程序的流程图, 对理解日凌现象以及对日凌中断进行预测具有较高的参考价值。

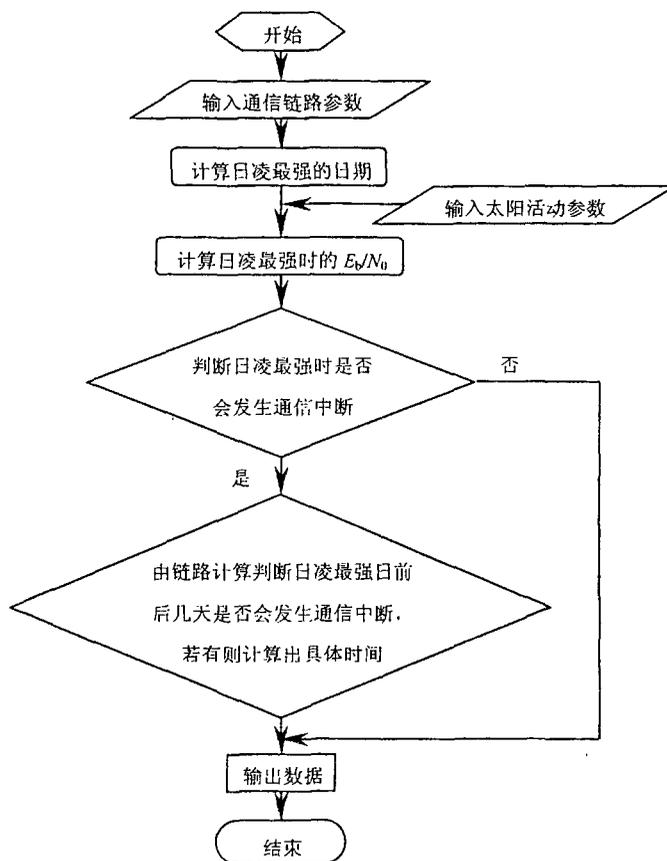


图3 日凌中断预测程序流程图

参考文献:

[1] Farshad Mohamadi, Effects of Solar Transit on Ku Band VSAT Systems[J]. International Journal of Satellite Communications , 1988.6(1): 65 - 71.
 [2] 吕海寰,蔡剑铭,甘仲民,等. 卫星通信系统(修订本)[M]. 北京:人民邮电出版社,1994.
 [3] Xuyen T,Vuong R,John Forsey. Prediction of Sun Transit Outages in an Operational Communication Satellite System [J]. IEEE Transaction on Broadcasting, 1983,29(4): 121 - 126.
 [4] 刘 镇,叶海智,蒋宇光. 日凌干扰的等效分析法[J]. 河南师范大学学报(自然科学版),1997,25(2): 86 - 88.
 [5] 刘长江. 卫星地面站日凌日期的计算[J]. 电视技术,1999,25(6): 66.

(编辑:门向生)

Prediction of Effects of Sun Transit on Satellite Communication

LIU Jian, YANG You - min, HUANG Guo - ce, ZHENG Qiu - rong

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

Abstract: The cause of sun transit is interpreted in this paper. Through the link budget and the computation of antenna noise at the time when sun transit occurs, E_b/N_0 of the received signal is gained at the time when the effect of sun transit is strongest. The algorithm to achieve sun transit time and the flow chart to predict sun transit outage are also offered in this paper.

Key Words: satellite communication; sun transit; E_b/N_0