

基于卫星的共频带传输链路性能仿真分析

张金贵¹, 王静², 王维猛¹, 齐大鹏³

(1. 中国电子科技集团公司 第 54 研究所, 石家庄 050081;

2. 河北科技大学 信息科学与工程学院, 石家庄 050018;

3. 中国人民解放军 第 96946 部队, 北京 100085)

摘要: 针对共频带传输卫星通信系统的链路性能问题进行了研究, 分析了背景信号的链路计算方法及背景信号对共频带传输信号传输性能的影响; 分析了共频带传输信号的链路计算方法及共频带传输信号对背景信号的影响; 结合典型卫星参数、地球站站型, 仿真分析了不同卫星模型、地球站模型、背景信号功率等因素对共频带传输系统传输性能的影响; 在一些典型卫星模型条件下, 系统的传输能力可以达到 20 kbps; 仿真结果表明系统接收性能并不是随地球站天线口径增大, 线性增大; 当背景信号功率大于 30 dBW 时, 共频带传输信号接收性能随背景信号功率增大, 急剧下降。

关键词: 共频带传输; 链路计算; 卫星通信; 背景信号; 卫星模型; 地球站模型

Simulation and Analysis of Common Frequency Transmission Link Performance Based on Satellites

ZHANG Jingui¹, WANG Jing², WANG Weimeng¹, QI Dapeng³

(1. The 54th Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Shijiazhuang 050081, China;

2. School of Information Science and Engineering, Hebei University of Science and Technology,

Shijiazhuang 050018, China; 3. Unit 96946, PLA, Beijing 100085, China)

Abstract: This paper researches the transmission performance of a common frequency band transmission satellite communication system, and analyzes the link calculation method for background signals, the influence of background signals on transmission performance of common frequency band transmission signals, the link calculation method for common frequency band transmission signals, and the influence of common frequency band transmission signals on background signals. Based on typical satellite parameters and earth station types, the influence of different satellite models, earth station models, background signal power, and other factors on the transmission performance of the common frequency band transmission system is simulated and analyzed; Under some conditions of typical satellite models, the system transmission capacity can reach up to 20 kbps. Simulation results indicate that the system reception performance does not increase linearly with the increase of the earth station antenna aperture, when the background signal power is greater than 30 dBw, the reception performance of common band transmission signals declines sharply with the increase of the background signal power.

Keywords: common frequency transmission; link calculation; satellite communication; background signal; satellite model; earth station model

0 引言

无线通信链路是指由无线电信息发信机和无线电信息接收机组成的传输通道^[1]。卫星通信链路是无线通信链路中的一种, 包括上行卫星通信链路和下行卫星通信链路; 上行卫星通信链路包括地球站发射机到卫星转发

器天线接收; 下行卫星通信链路包括卫星转发器天线发射端到地球站接收机; 对于包括卫星之间通信链路的通信系统还包括一个卫星转发器的发射端到另一个卫星转发器的接收端之间的通信链路^[2]。

从地球站发射的信号, 经由太空至卫星转发器接收天线, 和从卫星转发器处理后, 经由太空至地球站, 信

收稿日期:2024-05-15; 修回日期:2024-06-21。

作者简介:张金贵(1980-),男,硕士,高级工程师。

引用格式:张金贵,王静,王维猛,等. 基于卫星的共频带传输链路性能仿真分析[J]. 计算机测量与控制, 2025, 33(6):240-246.

号会有衰减许多^[3], 另外卫星天线和地球站的天线和低噪放等引入多种干扰及噪声, 决定卫星通信链路主要性能指标是 E_b/N_0 , E_b 为每比特能量, N_0 为单位频带内的高斯白噪声功率谱密度, 这些指标影响系统输出端信号的比特错误率^[4]。卫星通信系统的链路计算是计算从发送地球站发射机到接收地球站接收机输入端这一整个链路的 E_b/N_0 。分别单独计算出上行通信链路 E_b/N_0 与下行通信链路 E_b/N_0 , 再计算出整个卫星通信系统链路的 E_b/N_0 ^[5]。链路计算要考虑到发信机的功率与天线增益、各个环节的损耗、噪声与干扰、接收系统的天线增益、底噪放的噪声系数等因素, 这些因素与工作频率有关。传输链路方程是卫星通信系统链路计算的基础^[6], 这个方程表示了发送地球站发送的射频信号功率与接收地球站收到的射频信号功率、传输频率和发射天线到接收天线之间距离的关系。信号接收功率涉及信号传递到终点时信号的质量, 因此它的大小对卫星通信系统链路设计是非常重要的。由于系统各组成部分理论值与实际性能值存在一定偏差, 导致链路计算与实际能力存在误差^[7]。共带频传输卫星通信系统是指多个地球站发送的信号共用占用相同的卫星频带资源进行通信, 在共带频传输卫星通信系统中, 由于下行信号为两个信号或多个信号共频带的, 是一个典型的受干扰系统。共带频传输卫星通信系统链路计算不同于常规的卫星通信系统, 因为除了热噪声、失真等影响外, 影响系统性能最主要的因素是转发器原有信号 (可以认为是背景信号), 当天线口径较大时, 背景信号对共频带传输信号接收性能影响达 20 dB 以上。因此非常有必要研究共频带传输系统的链路传输性能。

1 链路分析基本概念

1.1 数据速率与符号速率

数据速率 R_b 指一段时间内传送的 bit 数量, 单位为 bit/s, 通常指数据在传输链路中信道编码之前数据速率; 符号速率 R_s 一般是指信号在传输过程中经过信道编码、调制方式映射之后的速率^[8]。数据速率 R_b 与传输速率 R_s 的关系为:

$$R_s = \frac{R_b}{C_r \log_2 M} \quad (1)$$

式中, C_r 为编码效率, M 为调制方式指数。当采用卷积码+RS 码的级联编码时, 如果卷积码码率为 3/4 码率, RS 码码率为 (204, 188), 总的编码效率^[9]为:

$$C_r = \frac{3}{4} \times \frac{188}{204} = 0.69$$

如果仅采用码率为 3/4 卷积编码, 则编码后效率为 0.75。

1.2 载波噪声功率比

射频信号在传输过程中, 在地球站、卫星天线、自

由空间等, 都会引入噪声。假设系统中平均噪声功率谱密度 N_0 (dBW/Hz), 信号功率为 C (W), 则系统的信号与噪声功率比为 C/N_0 (dBW/Hz)^[10]。

假设噪声加在带宽为 B 的载波上, 在频率带宽内的功率谱密度是稳定的 N_0 , 带宽 B 为接收机的滤波器带宽, 等效噪声带宽 B_n 为噪声被滤波后的带宽, 与 B 匹配, 即 $B_n = B$, 在等效噪声带宽 B_n 内的接收机的噪声功率 N ^[11], 单位为 W:

$$N = N_0 B_n \quad (2)$$

T (K) 表示 1 Hz 产生 kT (W) 的噪声:

$$N_0 = kT \quad (3)$$

$$N = kTB_n \quad (4)$$

式中, k 为玻尔兹曼常数, 取值 1.38×10^{-23} J/K。

载波噪声功率谱密度比 C/N_0 也可用载波功率与噪声温度比 C/T 来表示, 两者换算^[12]关系为:

$$\frac{C}{N_0} = \frac{C}{T} \cdot \frac{1}{k} \quad (5)$$

$$\frac{C}{N} = \frac{C}{N_0} \cdot \frac{1}{B_n} = \frac{C}{T} \cdot \frac{1}{kB_n} \quad (6)$$

用对数 dB, 单位 dBW/K 表达为:

$$[C/T] = [C/N_0] - 228.6 \quad (7)$$

$$[C/T] = [C/N] + [B_n] - 228.6 \quad (8)$$

式中, $[C/T]$ 为用 dB 表示的信号功率与噪声温度比 dBW/K; $[C/N_0]$ 为用 dB 表示的信号功率与噪声的功率谱密度比 dBW/Hz; $[C/T]$ 为用 dB 表示的信号功率与噪声功率比。

$[C/N_0]$ 与 $[E_b/N_0]$ 的真值换算^[13]为:

$$\frac{C}{N_0} = \frac{E_b R_b}{N_0} \quad (9)$$

用 dB 表示为:

$$[C/N_0] = [E_b/N_0] + 10 \lg R_b \quad (10)$$

$$[C/T] = [E_b/N_0] + 10 \lg R_b - 228.6 \quad (11)$$

系统链路设计时, 当调制编码方式和性能要求已经确定时, 得到链路需要的 $[C/T]$ 值; 或者已知链路的调制编码方式和 $[C/T]$ 值, 得到系统的链路性能。

2 地球站特性

2.1 地理位置参数

对静止轨道卫星而言, 地球站天线的俯仰角、地球站与卫星距离、方位角等地理参数影响链路计算, 这些地理参数都与地球站与卫星的经度之差 $\Delta\theta$ 及地球站的纬度 α 相关^[14]。

1) 地球站天线俯仰角。地球站天线俯仰角定义为地球站天线轴向与卫星天线轴向方向和地球站所在位置地平面的夹角, 用表示:

$$el = \text{tg}^{-1} \left[\frac{\cos \Delta\theta \cos \alpha - 0.15127}{\sqrt{1 - (\cos \Delta\theta \cos \alpha)^2}} \right] \quad (12)$$

2) 地球站方位角。地球站方位角定义为以地球站正北方向为参考, 顺时针旋转至地球站和卫星与地心连线的角度, 用表示:

$$\delta = 180 \pm tg^{-1} \left(\frac{tg\Delta\theta}{\sin\alpha} \right) \quad (13)$$

$\Delta\theta > 0$ 时, 取 “-”; $\Delta\theta < 0$ 时, 取 “+”。

3) 地球站与卫星距离。地球站与当前通信卫星距离是指地球站与卫星之间的无线电波传输距离单位 km, 用 d 表示:

$$d = \sqrt{10 - 3\cos\Delta\theta\cos\alpha} \times 13\ 505 \quad (14)$$

2.2 有效发射功率

假设地球站发射机的功率为 P_T , 天线的发射增益为 G_T , $G_T P_T$ 称作地球站的有效发射功率 $EIRP_E$, 如果功率放大器和天线之间的馈线损耗为 L_{FTX} , 则地球站有效发射功率^[15]用 dBW 表示为:

$$EIRP_E = P_{TX} + G_T - L_{FTX} \quad (15)$$

2.3 接收品质因数

地球站 G/T 是指地球站天线接收增益与系统接收噪声总温度之比^[16], 单位为 dBK。

$$G/T = G_R - 10\lg(T) \quad (16)$$

地球站 G/T 值是系统链路计算的关键参数, G/T 可以反映系统传输链路及地球站的接收性能, G/T 值分析模型如图 1 所示。

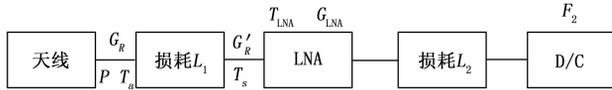


图 1 G/T 分析模型

图 1 中, G_R 为天线的接收增益 (dB); T_a 为天线输出的噪声温度 (K); 失配损耗:

$$P = \frac{\rho - 1}{\rho + 1} \quad (17)$$

ρ 为电压的驻波比; L_1 为滤波器损耗 (dB); T_s 为低噪声接收的噪声温度 (K); G'_R 为低噪声前端的增益 (dB); T_{LNA} 为低噪声放大器的噪声温度 (K); G_{LNA} 为低噪声功率放大器增益 (dB); L_2 为电缆、微波器件等的损耗 (dB); F_2 为下变频器的噪声系数 (dB)。

在计算地球站 G/T 时, 都要确定一个基准点, 增益和噪声温度都是针对同一基准点, 一般选用的基准点是低噪声放大器的输入口。

3 卫星转发器特性

如图 2 所示, 非处理卫星转发器链路总的 $(C/N_0)_T$ 与转发器接收的上行 $(C/N_0)_U$ 和地球站接收的下行 $(C/N_0)_D$ 的关系为:

$$(C/N_0)_T^{-1} = (C/N_0)_U^{-1} + (C/N_0)_D^{-1} \quad (18)$$

非处理卫星转发器链路性能是用地球站解调器输出

的比特错误率 (BEP) 来表示的, BEP 是 $(E_b/N_0)_T^{-1}$ 的函数^[17]:

$$(E_b/N_0)_T = (C/N_0)_T / R_C \quad (19)$$

R_C 是数据速率, $(C/N_0)_T$ 是发射站到接收站链路的信号功率对白噪声功率谱的密度比值。

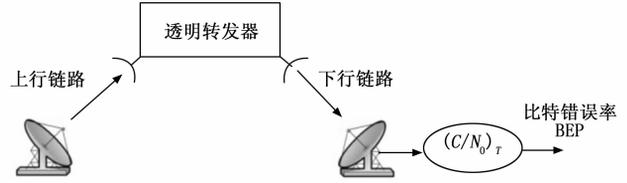


图 2 非处理卫星转发器链路

假设 $(E_b/N_0)_U = (C/N_0)_U / R_C$ 和 $(E_b/N_0)_D = (C/N_0)_D / R_C$, 结合上面两个式子, 则有:

$$(E_b/N_0)_T^{-1} = (E_b/N_0)_U^{-1} + (E_b/N_0)_D^{-1} \quad (20)$$

$(C/N_0)_T$ 是指在地球站接收机接收的总信号功率对白噪声功率的谱密度的比值; $(C/N_0)_U$ 是在卫星接收机接收的上行链路信号功率与白噪声功率谱的密度的比值。

设地球站接收机接收的信号功率是 C_D , 地球站接收机输入端总的白噪声 $(N_0)_T$ 包含下行链路系统白噪声 $(N_0)_D = kT_D$, 卫星转发器接收的上行链路白噪声被卫星经变频、放大后到下行链路再发射出去的白噪声。因此, 系统总的白噪声 $(N_0)_T$ 为:

$$(N_0)_T = (N_0)_D + G(N_0)_U \quad (21)$$

式中, G 是卫星接收机输入端到地球站接收机输入端的总增益^[18], 可表示为:

$$G = G_{SRT} G_T G_R / L_{FTX} L_D L_{FRX} \quad (22)$$

G_{SR} 为从上行卫星天线出口到卫星下行天线入口的转发器增益, G_T 为卫星发射天线主瓣增益, G_R 为地面接收天线主瓣增益, L_{FTX} 为卫星发射射频链路损耗, L_{FRX} 为地面接收站接收损耗, L_D 为下行自由空间路径损耗。

地球站接收的信号功率 C_D 对系统总噪声 $(N_0)_S$ 的比值为:

$$(C/N_0)_T = (N_0)_D / C_D + (N_0)_U / (G^{-1} C_D) \quad (23)$$

式中, $G^{-1} C_D$ 表示卫星接收的信号功率, 因此有:

$$(N_0)_U / (G^{-1} C_D) = (C/N_0)_U^{-1} \quad (24)$$

相应的真值比:

$$(C/N_0)_T^{-1} = (C/N_0)_U^{-1} + (C/N_0)_D^{-1} \quad (25)$$

即总 $(C/N_0)_T$ 的倒数等于上行链路 $(C/N_0)_U$ 与下行链路 $(C/N_0)_D$ 的倒数和^[19]。

地球站发射的信号经卫星转发器转发, 假设其接收功率为 P_i 、发射功率为 P_o , 输入、输出补偿分别为 IBO 、 OBO , 则可以得到如下表达式:

$$(C/N_0)_U = IBO(P_i)_{sat} / (N_0)_U =$$

$$IBO(P_o)_{sat} / G_{SRsat} (N_0)_U = IBO(C/N_0)_{Usat} \quad (26)$$

$$(C/N_0)_D = OBO(RIRP_{sat})_{SL} / L_D G / T_{ES} / k =$$

$$OBO(C/N_o)_{Dsat} \quad (27)$$

$$(C/N_o)_T^{-1} = \{IBO(C/N_o)_{Usat}\}^{-1} + \{OBO(C/N_o)_{Dsat}\}^{-1} \quad (28)$$

式中, $(C/N_o)_{Usat}$ 和 $(C/N_o)_{Dsat}$ 是当卫星转发器工作在饱和时的上、下行链路的 (C/N_o) 值, G_{SRsat} 是卫星转发器饱和时的增益, L_D 是下行链路的自由空间损耗, $(G/T)_{ES}$ 是地球站的天线增益与热噪声的比值。

在转发器饱和和工作状态下, $(C/N_o)_{Usat}$ 、 $(C/N_o)_{Dsat}$ 的计算方法如下:

$$(C/N_o)_{U,sat} = (P_i)_{sat}/kT_U = (P_i)_{sat}G/T_{SL}/kG_{Rmax} \quad (29)$$

$$(C/N_o)_{D,sat} = (RIRP_{sat})_{SL}/L_DG/T_{ES}/k \quad (30)$$

$$(C/N_o)_{T,sat}^{-1} = (C/N_o)_{U,sat}^{-1} + (C/N_o)_{D,sat}^{-1} \quad (31)$$

饱和和工作状态下卫星增益为^[30]:

$$(C/N_o)_{SRsat} = (P_o)_{sat}/(C_U)_{sat} \quad (32)$$

式中, P_i 是卫星转发器发射机的单信号饱和和工作时的发射功率, $(C_U)_{sat}$ 是在卫星接收机输入端驱动卫星转发器功率放大器到饱和工作所需的功率^[20]。

4 共频带传输系统链路分析

通过直接序列扩频技术将待发送的低速率数据信息在频域展开, 使得发送信号的功率谱密度比白噪声的功率谱密度低, 与其他信号在相同的频段内通信, 信号关系如图 3 所示^[21]。

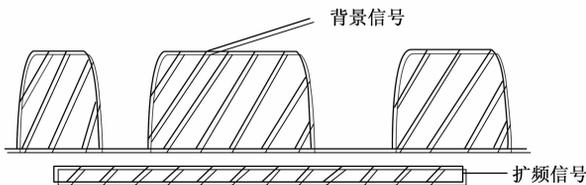


图 3 共频带传输信号关系

4.1 影响共频带传输系统的主要参数分析

在共频带传输系统中, 共频带传输信号(扩频信号)和背景信号互为干扰信号, 共频带传输信号是背景信号的干扰噪声, 具有统计独立的噪声。将背景信号表示为 J , 扩频信号表示为 DS 。背景信号功率是决定共频带传输信号接收性能的最关键因素。

卫星参数分为固有参数、可调参数、动态参数, 固有参数主要包括卫星的轨位、频率规划、使用寿命、发射时间、覆盖特性、信标频率、极化方式、上下行频率偏差、 $EIRP$ 、 G/T 值、 SFD 等, 其中 $EIRP$ 、 G/T 值、 SFD 影响共频带传输系统的性能; 可调参数主要指 SDF , 该值对应卫星转发器的增益, 该参数一般不会经常发生变化; 动态参数主要指卫星转发器当前功率使用情况, 与背景信号的数量及功率大小有关。一般 Ku 频段卫星 $EIRP$ 范围: $45 \sim 60$ dBW; G/T 值范围: $-2 \sim -10$ dB/k; SFD 的范围: $-110 \sim -90$ dB/m²。

地球站的主要参数包括功放功率、天线发射增益、天线的 G/T 值等, 一般可以等效为地球站的 $EIRP$ 、 G/T 值。

背景信号参数指背景信号的中心频率、信号带宽、信号模式(突发、连续)、信号的功率大小等。由于背景信号相对于共频带传输信号可以视为具有独立特性的加性噪声, 因此主要考虑背景信号功率的影响。

4.2 地球站不同天线大小分析

同一位置的地球站由于天线大小不同, 地球站接收能力差异也较大, 天线越大的地球站接收能力越强, 天线小的地球站接收能力弱。对于共频带传输卫星通信系统, 又有所不同, 由于天线大的地球站接收共频带传输信号载噪比大的同时接收的背景信号的载噪比也相应增大, 不同大小的天线接收时卫星通信系统链路如图 4 所示。

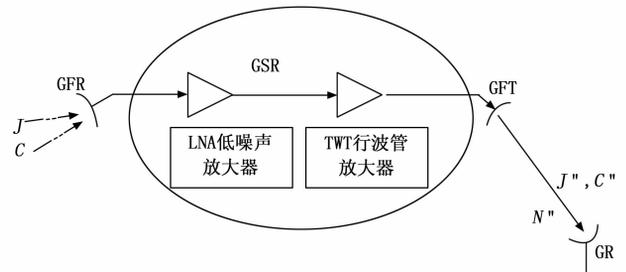


图 4 卫星链路示意图

从图 4 中计算出, 共频带传输信号的功率与噪声及干扰信号的功率比为:

$$\frac{C}{J+N} = \frac{C''G_R}{J''G_R + N_2 + NG_R} \quad (33)$$

分子分母同时除以 G_R , 共频带传输信号的功率与噪声及干扰信号的功率比为:

$$\frac{C}{J+N} = \frac{C''}{J'' + \frac{N_2}{G_R} + N''} \quad (34)$$

对于同一位置不同大小天线的地球站接收下行共频带传输通信信号、背景干扰信号、白噪声的功率在地球站接收天线处是相同的, 而地球站自身产生的噪声功率与天线的大小几乎无关。因此, 地球站天线越大, 接收能力越高, 接收信号的信噪比越高。

4.3 共频带传输信号链路分析

共频带传输卫星通信系统中地球站发射的共频带传输信号到达卫星, 则卫星接收共频带传输信号的上行信号功率谱密度与噪声功率谱密度比可表示为:

$$\left[\frac{C_o}{N_o} \right]_U = [EIRP_{DS}] - [L_U] + \left[\frac{G}{T} \right]_s - [k] - BW \quad (35)$$

地球站接收共频带传输信号的下行信号功率谱密度与噪声功率谱密度比可表示为:

$$\left[\frac{C_0}{N_0} \right]_D = [EIRP_{DS}] - [L_U] + [G_S] - [L_D] + \left[\frac{G}{T} \right]_E - [k] - BW \quad (36)$$

共频带传输信号总的信号功率谱密度与噪声功率谱密度比可表示为:

$$\{10^{[(C_0/N_0)_{is}/10]}\}^{-1} = \{10^{[(C_0/N_0)_e/10]}\}^{-1} + \{10^{[(C_0/N_0)_s/10]}\}^{-1} \quad (37)$$

其中:

$$L_i = \left(\frac{4\pi d}{\lambda_i} \right)^2 = \left(\frac{4\pi f_i d}{c} \right)^2 \quad (i = U, D) \quad (38)$$

$$[G_S] = [EIRP_{SS}] - [SFD] - [BO_o] + [BO_i] + 10\lg(4\pi/\lambda^2) \quad (39)$$

$$d = 4.2 \times [1.02 - 0.3\cos(\varphi_1 - \varphi_0)\cos\theta_0] \quad (40)$$

式中, $[*]$ 时表示用 dB 表示的数值。

$EIRP_{DS}$ 为地球站发射共频带传输信号的功率, L_U 为自由空间上行链路的传播损耗, L_D 为自由空间下行链路的传播损耗, λ_U 为上行微波信号波长, λ_D 为下行链路微波信号波长, f_U 为上行链路微波频率, f_D 为下行链路微波信号频率, d 为地球站到卫星的距离, φ_1 为卫星以地球心连线的经度, φ_0 和 θ_0 分别为地球站的经度和纬度。 $(G/T)_S$ 为卫星天线接收品质因数, $(G/T)_E$ 为共频带通信系统地球站的品质因数。 BO_i 为转发器的输入补偿, BO_o 为转发器的输出补偿, SFD 为转发器的饱和通量密度, k 为波尔兹曼常数, 一般取值 -228.6 dB/K。 G_S 为卫星增益, 包括从转发器接收天线入口经过放大和变频后到转发器发射天线出口的增益的总和。

4.4 背景信号链路分析

地面接收站接收到的背景信号的信号功率谱密度与噪声功率谱密度的比可表示为:

$$\left[\frac{J_0}{N_0} \right]^{-1} = \left[\frac{J_0}{N_0} \right]_U^{-1} + \left[\frac{J_0}{N_0} \right]_D^{-1} \quad (41)$$

其中: 卫星接收背景信号上行链路信号功率谱密度与噪声功率谱密度的比可表示为:

$$\left[\frac{J_0}{N_0} \right]_U = EIRP_s - G_s + \left(\frac{G}{T} \right)_s + K - BW \quad (42)$$

地球站接收背景信号下行链路信号功率谱密度与噪声功率谱密度的比可表示为:

$$\left[\frac{J_0}{N_0} \right]_D = EIRP_s - L_D + \left(\frac{G}{T} \right)_E + K - BW \quad (43)$$

由于背景信号下行链路信噪比一定大于总的信噪比, 因此实际分析时可用下行链路接收信噪比代替总的干噪比, 相当于放大了背景信号对共频带传输信号的影响, 这样可以提高共频带传输信号的链路性能。

背景信号导致的共频带传输信号接收性能恶化:

$$[\lambda] = 10\lg[1 + 10^{(J_0/N_0)/10}] < 10\lg[1 + 10^{(J_0/N_0)_e/10}] \quad (44)$$

综上所述, 共频带传输信号受热噪声影响、背景信号的影响, 因此共频带传输信号的最终信噪比:

$$\left[\frac{C_0}{N_0} \right] = \left[\frac{C_0}{N_0} \right]_{DS} - \lambda \quad (45)$$

共频带传输信号造成背景信号功率波动为:

$$[\sigma] = 10\lg\left(\frac{C+J+N}{J+N}\right) \quad (46)$$

共频带传输信号造成背景信号信噪比恶化量为:

$$[\chi] = 10\lg\{1 + 10^{[(C/N_0)_{is}/10]}\} \quad (47)$$

5 传输性能仿真分析

5.1 卫星模型对传输性能影响

信息速率: 100 bps~19.2 kbps; 扩频带宽: 36 MHz; 解调门限: $E_b/N_0 = 6.5$ dB, $Pe = 1 \times 10^{-5}$ 。

中星 6A: $EIRP$ 为 55 dBW, G/T 值 8.3 dB/K, SFD 为 -94.3 dBW/m²; 亚太 6 号: $EIRP$ 为 52.57 dBW, G/T 值 4.45 dB/K, SFD 为 -97.7 dBW/m²; 亚洲 4 号: $EIRP$ 为 53 dBW, G/T 值 5.6 dB/K, SFD 为 -90 dBW/m²;

频段: Ku 频段。

地球站天线口径: 2.4 m。

基于 3 种卫星模型的仿真结果如图 5 所示。

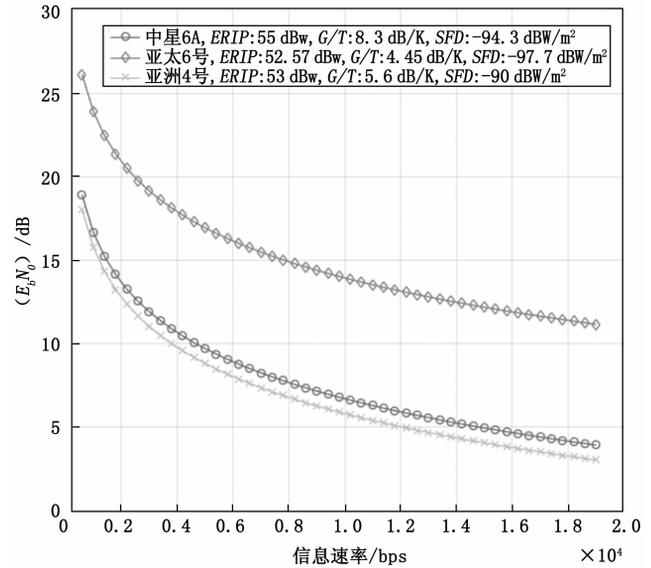


图 5 链路传输性能仿真

从图 5 中可以发现, 亚太 6 号卫星的 G/T 值、 $EIRP$ 、 SFD 都最小, 相同传输速率时, 链路的接收信噪比最高; 在信息速率 20 kbps 时, 亚太 6 号卫星的链路余量 5 dB。卫星模型参数对共频带传输卫星通信系统传输能力影响较大, 一般卫星 $EIRP$ 越小、 G/T 值越小, 共频带传输卫星通信系统的传输能力相对更强。

5.2 地球站模型对传输性能影响

信息速率: 2.4 kbps; 扩频带宽: 36 MHz; 解调门限: $E_b/N_0 = 6.5$ dB, $Pe = 1 \times 10^{-5}$ 。

中星 6A: $EIRP$ 为 55 dBw, G/T 值 8.3 dB/K, SFD 为 -94.3 dBw/m^2 ; 亚太 6 号: $EIRP$ 为 52.57 dBw, G/T 值 4.45 dB/K, SFD 为 -97.7 dBw/m^2 ; 亚洲 4 号: $EIRP$ 为 53 dBw, G/T 值 5.6 dB/K, SFD 为 -90 dBw/m^2 ;

频段: Ku 频段;

地球站天线口径: 最小口径 0.2 m, 步进 0.2 m, 最大 7.6 m。

基于 3 种卫星模型, 天线口径范围 0.2 m 至 7.6 m, 开展了接收性能仿真, 仿真结果如图 6 所示。

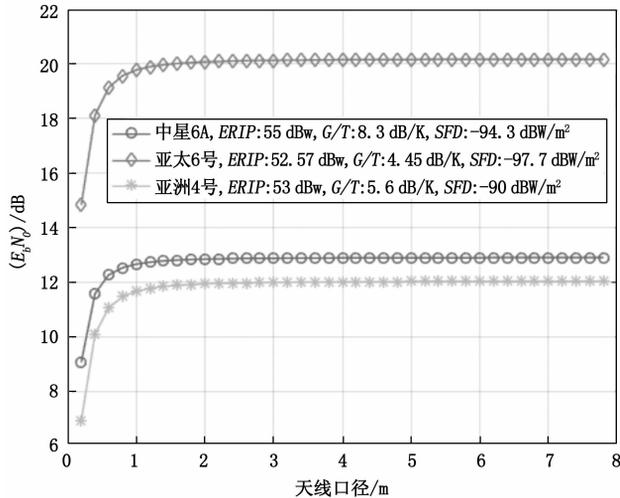


图 6 天线接收性能仿真

从图 6 中可以看出, 在共频带传输卫星通信系统中, 天线口径从 0.2 m 增长至 1 m 时, 地球站的接收能力, 随天线口径的增大而增大; 天线口径从 1 m 增长至 7.6 m 时, 地球站的接收能力, 随天线口径增大基本不变。在共频带通信能力较差的亚洲 4 号卫星, 0.2 m 天线的链路接收余量 3.5 dB, 在共频带通信能力最强的亚太 6 号卫星, 0.2 m 天线的链路接收余量 8.5 dB。

5.3 背景信号对传输性能影响

信息速率: 2.4 kbps; 扩频带宽: 36 MHz。

中星 6A: $EIRP$ 为 55 dBw, G/T 值为 8.3 dB/K, SFD 为 -94.3 dBw/m^2 ; 亚太 6 号: $EIRP$ 为 52.57 dBw, G/T 值 4.45 dB/K, SFD 为 -97.7 dBw/m^2 ; 亚洲 4 号: $EIRP$ 为 53 dBw, G/T 值 5.6 dB/K, SFD 为 -90 dBw/m^2 ;

频段: Ku 频段;

背景信号功率: 0~55 dBW;

地球站天线口径: 2.4 m。

基于 3 种卫星模型, 扩频信号在背景信号和噪声影响下的接收信噪比如图 7 所示。

从图 7 中可以看出, 当背景信号功率小于 20 dBW 时, 共频带传输信号的接收信噪比随背景信号的功率增大并未明显降低, 因为共频带传输信号解扩后, 背景信号功率被展宽至转发器带宽, 背景信号的信噪比小于等

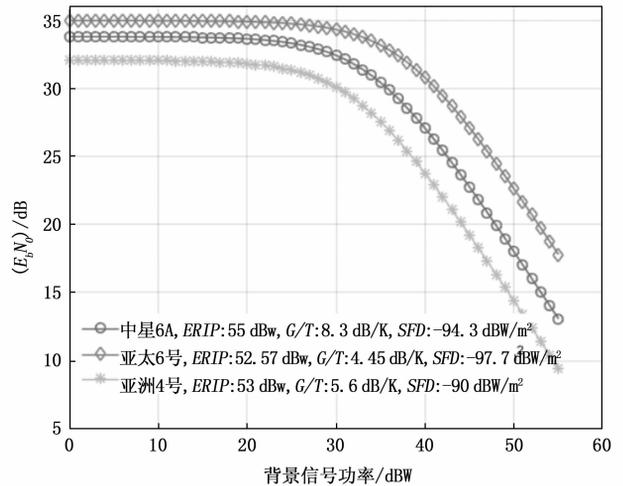


图 7 背景信号影响仿真

零, 共频带传输信号的主要干扰为噪声, 因共频带传输信号的接收信噪比基本保持不变。

当背景信号功率大于 20 dBW 后, 背景信号的信噪比大于零, 共频带传输信号的主要干扰为背景信号, 所以共频带传输信号的信噪比主要取决于背景信号的信噪比, 因此随着背景信号功率增大, 共频带传输信号的接收信噪比逐渐降低。

5.4 共频带传输信号对背景信号影响

共频带传输信号注入后必然会引起背景信号的功率波动, 下面通过仿真确定共频带传输信号引起背景信号的功率波动。假设未注入共频带传输信号时, 接收到背景信号的信噪比 $[C/N]=1\sim 20 \text{ dB}$, 共频带传输信号的功率谱密度与背景信号的谱密度相差 10~14 dB, 共频带传输信号注入后背景信号功率波动的仿真结果如图 8 所示。

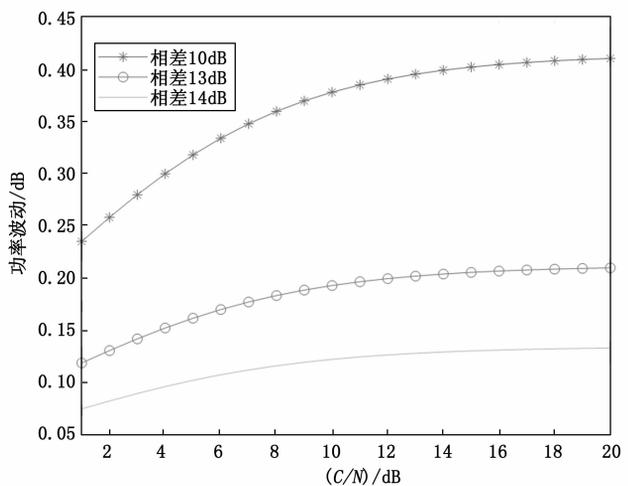


图 8 背景信号功率波动

从图 8 中可以看出, 当共频带传输信号功率谱密度比背景信号功率谱密度低 13 dB 以上时, 地球站接收背景信号功率波动小于 0.25 dB。共频带传输信号注入后, 除了会引起地球站接收背景信号功率变化外, 还可

能影响背景信号的正常解调。假设卫星转发器未注入共频带传输信号时,接收到的背景信号的信噪比 $C/N=1\sim 20$ dB,共频带传输信号的功率谱密度与背景信号的功率谱密度相差 $10\sim 14$ dB,共频带传输信号注入后背景信号信噪比恶化的仿真结果如图 9 所示。

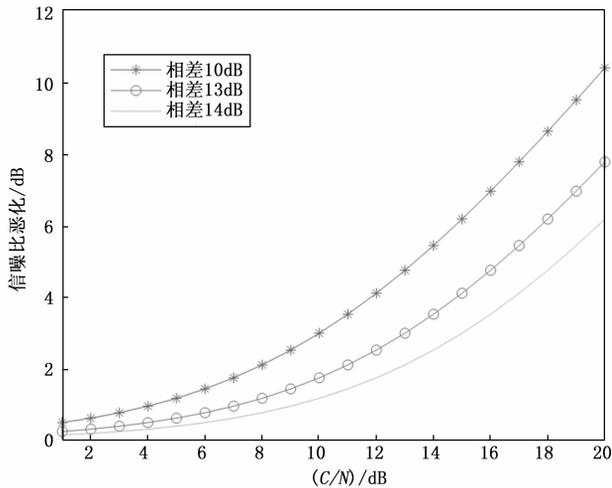


图 9 背景信号信噪比恶化

从图 9 中可以看出,随着背景信号信噪比的增加,共频带传输信号注入后背景信号信噪比恶化量增加,但背景信号实际信噪比仍然呈上升的趋势。为了提供高背景信号传输质量,背景信号链路时一般至少留有 2 dB 的余量。因此当背景信号的信噪比大于解调门限高 2 dB 时,共频带传输信号注入后背景信号信噪比恶化小于 0.5 dB,共频带传输信号一般不会影响背景信号的正常业务通信。

6 结束语

基于卫星的共频带传输通信系统在不影响转发器原有业务信号(背景信号)正常工作条件下,进行低速率通信,提高了卫星资源的利用效率。本文研究了基于卫星的共频带传输通信系统中背景信号与共频带传输信号的链路计算,仿真分析了卫星模型、地球站模型、背景信号对共频带传输系统通信性能的影响,仿真分析了共频带传输信号对背景信号的影响。基于卫星的共频带传输通信系统可以在没有申请到专用卫星转发器资源,或卫星资源被干扰的条件下,基于可视空间的卫星资源建立卫星通信链路,满足基于卫星的应急通信需求。基于卫星的共频带传输通信系统具有较强的卫星资源适应性,因此可以应用于抗震救灾等对可靠性要求较高的应急通信场合。本文只研究了基于 Ku 频段卫星的共频带传输卫星通信系统传输能力,需要进一步研究基于 C、Ka 等频段卫星的共频带传输系统的传输能力。

参考文献:

[1] 张雪丽. 应急通信的不同场景和技术需求 [J]. 电信科

学, 2007 (2): 56-58.

- [2] 杨清森, 杨仁庆, 赵春昊. 卫星通信的链路性能分析 [J]. 数字通信世界, 2019 (7): 16-19.
- [3] 彭文标, 刘馨琼, 严朝军, 等. 卫星传输系统链路计算与分析 [J]. 三峡大学学报, 2011, 33 (3): 39-42.
- [4] 管吉兴, 陈荣, 高跃清, 等. 一种扩频接收机的设计分析 [J]. 无线电通信技术, 2011, 37 (5): 58-61.
- [5] 辜方林, 张航, 崔志富. CDMA 卫星通信系统最优上行链路功率控制 [J]. 计算机应用, 2010, 30 (9): 2512-2514.
- [6] ERICHL. Satellite communication network of experts [J]. Social Informatics and Telecommunications Engineering, 2011, 2: 175-185.
- [7] 吴波洋. 通信卫星转发器的主要性能参数 [J]. 中国无线电, 2005 (5): 52-55.
- [8] 王鹏, 赵宇. 多载波 CDMA 容量的研究 [J]. 电子与信息学报, 2007, (29) 1: 169-173.
- [9] 臧国珍, 于永, 李广侠. 卫星宽带扩频自干扰受限系统的容量分析. 解放军理工大学学报(自然科学版), 2004 (5): 1-4.
- [10] 刘冠邑, 张海勇, 任重. 干扰条件下卫星通信链路计算模型研究 [J]. 通信技术, 2018, 51 (10): 2279-2286.
- [11] 李子龙, 娄景艺, 屈晓旭. Ku 频段卫星通信链路计算 [J]. 通信技术, 2015, 48 (6): 662-666.
- [12] 李志国, 卫颖. 卫星通信链路计算 [J]. 指挥信息系统与技术, 2014, 5 (1): 73-82.
- [13] BRUECKINANN H. Antenna pattern measurement by satellite [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1963, 3: 143-147.
- [14] 李岱若, 徐慨, 杨海亮. 对卫星链路干扰的研究 [J]. 信息通信, 2017 (1): 29-31.
- [15] 朱校通, 郝建强. 高轨卫星通信系统链路预算软件设计 [J]. 通信技术, 2013 (7): 25-27.
- [16] GAVISH B, KALVENES J. The impact of satellite altitude on the performance of LEOS based communication systems [J]. Wireless Networks, 1998, 4: 199-213.
- [17] 彭文标, 刘馨琼, 严朝军, 等. 卫星传输系统链路计算与分析 [J]. 三峡大学学报: 自然科学版, 2011, 33 (3): 39-42.
- [18] 吴波洋. 通信卫星转发器的主要性能参数 [J]. 中国无线电, 2005 (5): 52-55.
- [19] 宁海斌. 卫星传输链路的计算与应用 [J]. 广播电视信息, 2010 (6): 87-91.
- [20] TTU Geneva. Prediction methods required for design of earth space telecommunications systems [S]. ITU Rec-ommendations, 1995: 618-7.
- [21] 张邦宁, 张健, 郭道省. 应用 DS 扩频信号的卫星重叠通信研究 [J]. 通信学报, 2005, 26 (5): 57-62.