



目 录

一、 卫星链路计算

1. 卫星链路计算中相关参数介绍
2. 卫星链路计算的基本原则
3. 卫星链路计算的基本目的及计算方法
4. 直播星链路计算软件使用介绍

2

卫星链路计算-相关参数介绍

卫星链路计算中的相关参数主要包括为：

- ☆ 天线的增益与波束宽度
- ☆ 有效全向辐射功率
- ☆ 自由空间传输损耗
- ☆ 噪声与损耗
- ☆ 转发器工作点
- ☆ 转发器的饱和通量密度
- ☆ 品质因数G/T

3

卫星链路计算-天线增益与波瓣宽度

☆ 卫星通信中，一般使用定向天线，它把电磁能量聚集在某一方向辐射

☆ 天线的增益定义为：

$$G = \frac{\text{定向天线辐射时，接收点收到的最大功率}}{\text{无方向天线辐射时，接收点收到的功率}}$$

☆ 对于喇叭天线，抛物面天线等面天线其增益的计算公式为：

$$G = \frac{4\pi A}{\lambda^2} \eta$$

☆ 公式中A为天线的口面面积； λ 为工作波长 (m)； η 天线效率，因为电功率与电磁波形式的功率转换时，总有一些损失。

4

卫星链路计算-天线增益与波瓣宽度

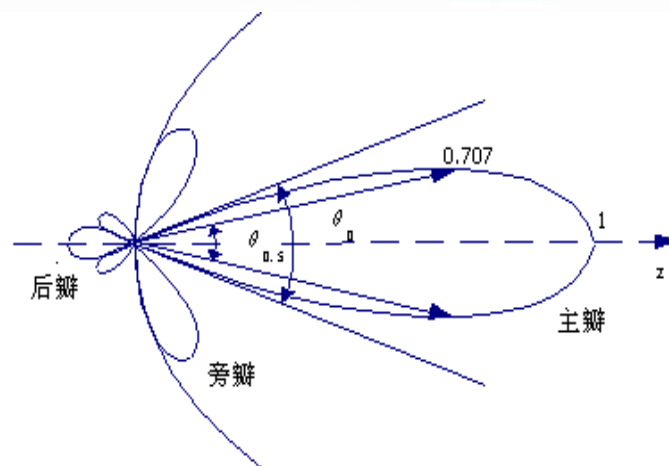
☆ 现代卡塞格伦天线的 η 可达0.75 ($f=4\text{GHz}$), 0.65 ($f=6\text{GHz}$)左右。通过公式可以看出, 采用较高的工作频率可以使较小口径天线获得同样大的天线增益

☆ 抛物面天线波束的半功率点宽度近似为:

$$\theta_{\frac{1}{2}} \approx 70 \frac{\lambda}{D} (\text{度})$$

☆ 所谓半功率角是指主瓣上场强为主射方向场强的 $1/\sqrt{2}=0.707$ 时 (即功率下降1/2时), 两个方向间的夹角

抛物面天线波瓣示意图



卫星链路计算-天线增益与波瓣宽度

☆ 计算：直径3米，效率为0.65的卡塞格伦天线，在6GHz频率下的增益与半功率角。

☆ 若直径改为10米，其它条件不变，计算上述二值

☆ 工作频率改为14GHz，重新计算3米天线的上述两个参数

解：

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{6 \times 10^9} = 0.05 \text{ m} \quad G = \frac{4\pi(\pi \times 1.5^2)}{0.05^2} 0.65 \approx 23094$$

$$\text{于是, } [G]=43\text{dB} \quad \theta_{\frac{1}{2}}=70 \frac{0.05}{3} \approx 1.17^\circ$$

$$\text{对于 10 米天线, } [G]=54\text{dB} \quad \theta_{\frac{1}{2}}=70 \frac{0.05}{10} \approx 0.35^\circ$$

当采用14GHz作为工作频率时

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{14 \times 10^9} = 0.021 \text{ m} \quad G = \frac{4\pi(\pi \times 1.5^2)}{0.021^2} 0.65 \approx 130923$$

$$\text{于是, } [G]=51\text{dB} \quad \theta_{\frac{1}{2}}=70 \frac{0.021}{3} \approx 0.49^\circ$$

7

卫星链路计算-全向辐射功率

☆ 卫星通信中用有效全向辐射功率EIRP来代表地球站或卫星发射系统的发射能力

☆ EIRP是天线所发射的功率 P_t 与该天线增益的乘积：

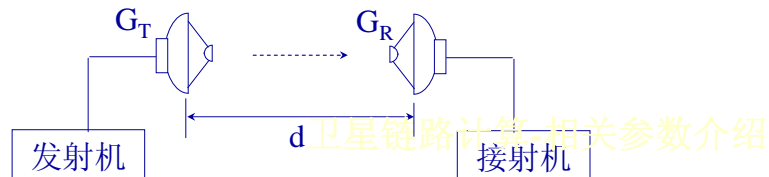
$$\text{EIRP} = P_t * G_t$$

☆ 它表明了定向天线在最大辐射方向实际所辐射的功率，它比全向天线辐射时在该方向大了 G_t 倍

8

卫星链路计算-自由空间损耗

☆ 在理想的通信系统中，系统各部件没有损耗，传输媒质为自由空间，其系统如图所示



☆ P_t 是发射功率； G_t ， G_r 分别为发射，接收天线增益； d 为通信距离； P_r 为接收机接收到的信号功率

卫星链路计算-自由空间损耗

☆ 接收端的功率密度为 W_e ,

$$W_e = \frac{P_T G_T}{4\pi d^2} \text{ (W / m}^2\text{)}$$

☆ 若接收天线的有效面积为 $A \cdot \eta$ ，则接收到的功率为 P_r

$$P_R = W_e \cdot A \eta = \frac{P_T G_T A \eta}{4\pi d^2} = P_T G_T G_R \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2$$

☆ 其中自由空间损耗 L_f 为，此公式为卫星通信中的通信距离方程

$$L_f = \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2$$

卫星链路计算-自由空间损耗

☆ 通信距离方程表示电波在自由空间以球面波的形式传播，电磁能量扩散在球面面积上，而接收点只能接收到其中一小部分， L_f 就是此含义

☆ 卫星通信中C波段上行链路 L_f 的计算实例

$$\begin{aligned} L_f &= 101 \lg \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \\ &= 101 \lg \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot 35786 \times 10^3}{3 \times 10^8 / 6 \times 10^9} \right)^2 = 199.1 \text{ dB} \end{aligned}$$

11

卫星链路计算-噪声

☆ 噪声是指不希望有的，通常不可预测的，对携带有消息的信号造成干扰的电波形

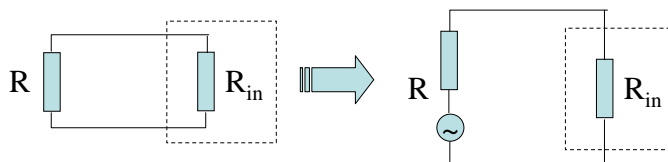
☆ 在卫星通信的链路计算中，噪声主要包括：热噪声，互调噪声，地面噪声等其它噪声

☆ 热噪声是由于传导媒质中带电粒子（通常是电子）随机运动而产生。在卫星通信中，天线噪声，馈线噪声及接收机产生的噪声等其它噪声，均可以作为等效热噪声来处理，或者本身就是热噪声

12

卫星链路计算-噪声

☆ 由传输媒质中带电粒子随机运动而产生的。



$$n_0 = kT (W / Hz)$$

其中:

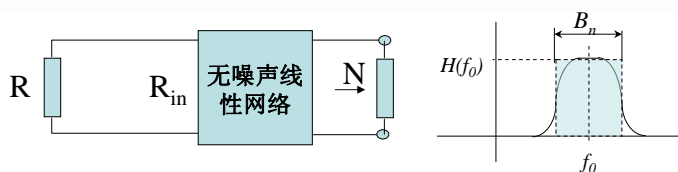
k为玻耳兹曼常数, $1.38054 \times 10^{-23} \text{J/K}$

T为电阻R的绝对温度

13

卫星链路计算-噪声

● 热噪声的等效带宽



$$N = kT \int_0^\infty |H(f)|^2 df = kT |H(f_0)| B_n = kTG_p B_n$$

其中B即为等效噪声带宽

$$B_n = \frac{\int_0^\infty |H(f)|^2 df}{|H(f_0)|^2} = \frac{\int_0^\infty |H(f)|^2 df}{G_p}$$

14

卫星链路计算-损耗

- ☆ 电磁波在空间传输时除自由空间损耗外，还有其它损耗
- ☆ 这些损耗包括：大气损耗，大气的折射影响，天线跟踪误差损耗，极化误差损耗，电离层闪烁
- ☆ 在链路计算中，主要考虑的是大气损耗中的降雨损耗（对于Ku频段的卫星尤其重要。），天线的跟踪误差

15

卫星链路计算-损耗

- ☆ 雨衰：雨滴对电磁波的吸收
- ☆ 大气折射引起的损耗：由大气层对电磁波折射率不均匀引起
- ☆ 天线方向跟踪误差损耗：由星体漂移、天线跟踪精度不够及大气折射等原因引起
- ☆ 极化误差损耗
- ☆ 多径衰落
- ☆ 电离层闪烁：由电离层的不均匀性及时变性引起的信号振幅、相位、极化等参数的不规则变化
- ☆ 大气损耗：大气层对信号的吸收与散射

16

卫星链路计算-损耗

☆雨衰

雨衰是降雨率的函数，降雨率是指某地区雨水蓄积的速度，以mm/h为单位。使用中一般描述为百分比为 p 的时间降雨率超过 R_p 。

由 R_p 可得到单位传输距离上由降雨引入的衰减

$$\alpha = aR_p^b \text{ dB/km}$$

其中 a 和 b 两参数与频率及极化方式有关

17

卫星链路计算-损耗

• a 、 b 数值参下表

频率 (GHz)	a_h	a_v	b_h	b_v
1	0.0000387	0.0000352	0.912	0.88
2	0.000154	0.000138	0.963	0.923
4	0.00065	0.000591	1.121	1.075
6	0.00175	0.00155	1.308	1.265
7	0.00301	0.00265	1.332	1.312
8	0.00454	0.00395	1.327	1.31
10	0.0101	0.00887	1.276	1.264
12	0.0188	0.0168	1.217	1.2
15	0.0367	0.0335	1.154	1.128
20	0.0751	0.0691	1.099	1.065
25	0.124	0.113	1.061	1.03
30	0.187	0.167	1.021	1

由表中数据可见，频率越高的电磁波所遭受的雨衰越大

18

卫星链路计算-损耗

- ☆上行链路中雨衰的克服：发送站采用上行功率控制或选择较大余量的功放；
- ☆下行链路中雨衰的克服：降雨备余量。

AV(av.yr.)	AV(w.m.)	ATTN
99.999	99.993	35.49
99.998	99.987	28.81
99.997	99.982	25.29
99.996	99.977	22.97
99.995	99.972	21.27
99.994	99.967	19.95
99.993	99.962	18.88
99.992	99.957	17.99
99.991	99.953	17.22
99.990	99.948	16.56
99.980	99.905	12.67
99.970	99.865	10.74
99.960	99.827	9.51
99.950	99.790	8.64
99.940	99.753	7.98
99.930	99.718	7.45
99.920	99.683	7.02
99.910	99.649	6.65

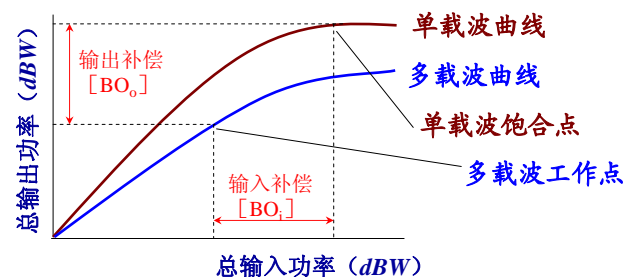
左图为使用SatMaster得到的N雨区某地Ku频段下行链路可用度与雨衰的关系。

由图中可见，对链路要求的可用度越高，则进行链路设计时要使用的雨衰预计值越大。

19

卫星链路计算-转发器工作点

- ☆转发器工作点的选取
 - 输入补偿
 - 输出补偿
 - 多载波与单载波工作时的输出功率



20

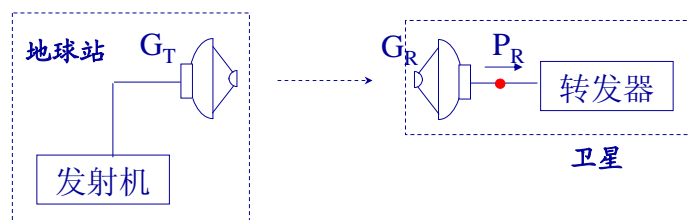
卫星链路计算-转发器工作点

- ☆转发器是非线性的有源放大器件，在多载波工作时，要有输出和输入回退，以保证交调干扰较小
- ☆对于装有线性化器的转发器，输出输入回退分别是3dB和7dB左右
- ☆对广电业务使用的转发器，由于载波数目较小，转发器实际的输出回退小于3dB，以保证更好的接收质量

21

卫星链路计算-饱和通量密度

- ☆为使卫星转发器单载波饱和工作，在其接收天线的单位有效面积上应输入的功率，一般以W或SFD表示



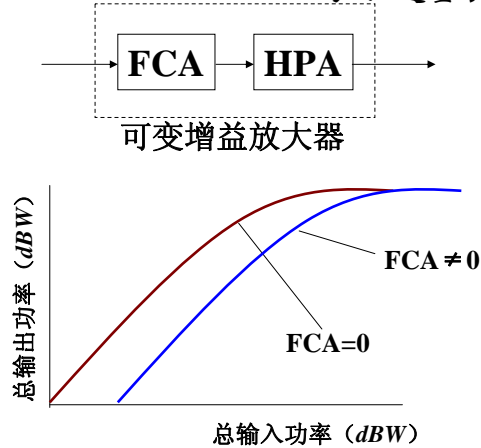
$$W = \frac{P_R}{A\eta} = \frac{P_T G_T G_R}{L_f A\eta} = \frac{P_T G_T}{L_f} \cdot \frac{4\pi}{\lambda^2} = \frac{EIRP_{E.S}}{L_f} \cdot \frac{4\pi}{\lambda^2}$$

$$\text{即 } [W] = [EIRP]_{E.S} - [L_f] + 10 \lg \left(\frac{4\pi}{\lambda^2} \right) (\text{dBW}/\text{m}^2)$$

22

卫星链路计算-FCA

☆ FCA (Flux Control Attenuator) : 通量衰减控制器



23

卫星链路计算-FCA设置

- ☆ 通量衰减控制器是用来控制转发器的增益灵敏度
- ☆ 转发器的增益灵敏度的设置是根据转发器用户上行站的能力来设置的
- ☆ 通过调节转发器的增益灵敏度，可以改善卫星通信链路的质量
- ☆ 中星6B卫星广电所使用的转发器的增益灵敏度设置较顿，这不但改善了通信链路质量而且增加了业务载波的抗干扰能力

24

卫星链路计算-品质因数

- ☆接收天线增益与接收系统总的等效噪声温度的比值称为地球站的G/T值，也称性能因数或品质因数。(Figure of merit)



等效图中的噪声源是将天线、接收机的所有噪声全部集中起来的等效。其中，天线的噪声包括了天线本身的热噪声以及天线从外部接收的噪声。所以此噪声源可以理解为是整个接收线路上噪声的集中等效。

25

链路计算的基本原则

- ☆功带平衡的原则

使用转发器功率与转发器总功率的比值等于租用带宽与卫星转发器带宽的比值,即:

$$\frac{\text{使用转发器功率}}{\text{转发器的总功率}} = \frac{\text{租用带宽}}{\text{转发器的总带宽}}$$

- ☆上、下行降雨不同时考虑的原则

- ☆适度保守的原则

26

链路计算的基本任务

☆ 卫星线路计算的任务：

1. 已知转发器及地球站的参数，计算地球站能得到的载噪比以及相应的发射EIRP
2. 已知转发器及接收机的基本参数，确定地球站的天线尺寸、发射功率等。

27

链路计算的基本任务

一般线路计算中主要是对地球站天线尺寸、发射功率、占用的卫星功率及链路可用度进行优化设计。

☆ 天线口径小，则天线及其基座的造价便宜，安装方便，但对HPA输出功率、卫星EIRP、抗雨衰等问题带来不利影响；

☆ HPA通常按发射功率分为几种规格。HPA的发射功率增大一级，其价格增加较多，而减小发射功率又会导致天线增大

28

链路计算的基本任务

- ☆转发器租费是按占用卫星转发器功率或频率百分比来计算的（按二者间最大者计），故优化后这两个百分比应基本相同。其中占用的带宽主要取决于用户通信量，而占用卫星功率则取决于接收天线口径。
- ☆链路可用度主要是指抗雨衰能力。可用度越高，则下雨时通信越不易中断，但这就要求系统中有较大的降雨备余量，即较大的天线及发射功率

29

链路计算基本方法

- ☆计算系统总的载噪比(接收机入口处)，以此为基础对其他参数进行计算

$$\begin{aligned}\frac{C}{N} &= \frac{C}{Tk} \cdot \frac{1}{B_n} = \frac{C}{n_0} \cdot \frac{1}{B_n} \\ &= \frac{C}{T} \cdot \frac{1}{kB_n}\end{aligned}$$

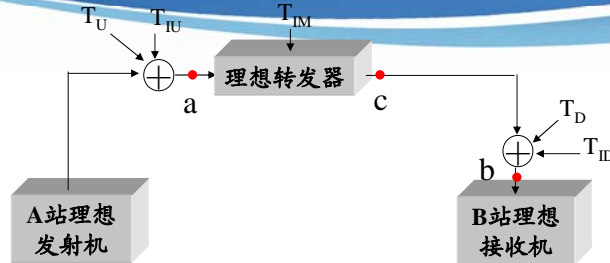
可见， C/T ， C/n_0 ， C/N 是对应关系

$$\left[\frac{C}{n_0} \right] = \left[\frac{C}{T} \right] - 10 \log k = \left[\frac{C}{T} \right] + 228.6$$

(其中 $k=1.38054 \times 10^{-23}$)

30

链路计算基本方法（续）



图中b点处
$$\left(\frac{C}{T}\right)^{-1} = \left(\frac{C}{T_U + T_D + T_{IM} + T_{IU} + T_{ID}}\right)^{-1}$$

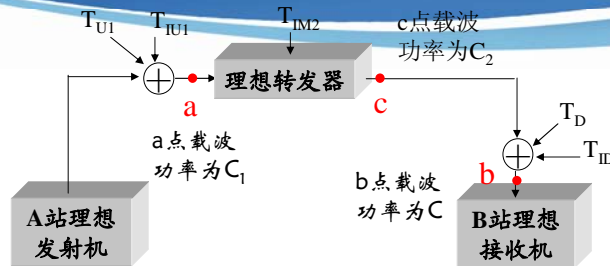
$$= \frac{T_U}{C} + \frac{T_D}{C} + \frac{T_{IM}}{C} + \frac{T_{IU}}{C} + \frac{T_{ID}}{C}$$

即
$$\left(\frac{C}{T}\right)^{-1} = \left(\frac{C}{T_U}\right)^{-1} + \left(\frac{C}{T_D}\right)^{-1} + \left(\frac{C}{T_{IU}}\right)^{-1} + \left(\frac{C}{T_{ID}}\right)^{-1} + \left(\frac{C}{T_{IM}}\right)^{-1}$$

式中各量均为b点处的值

31

链路计算基本方法（续）



实际上b点处的

$\left(\frac{C}{T_U}\right)$ 和 $\left(\frac{C}{T_{IU}}\right)$ 与a点处的 $\left(\frac{C_1}{T_{U1}}\right)$ 和 $\left(\frac{C_1}{T_{IU1}}\right)$ 相等

b点处的

$\left(\frac{C}{T_{IM}}\right)$ 与c点处的 $\left(\frac{C_2}{T_{IM2}}\right)$ 相等

32

链路计算基本方法（续）

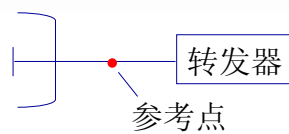
因此在计算中下式中各参量按如下方法计算

$$\left(\frac{C}{T}\right)^{-1} = \left(\frac{C}{T_U}\right)^{-1} + \left(\frac{C}{T_D}\right)^{-1} + \left(\frac{C}{T_W}\right)^{-1} + \left(\frac{C}{T_{ID}}\right)^{-1} + \left(\frac{C}{T_{IM}}\right)^{-1}$$

转发器
入口处
接收机
入口处
转发器
入口处
接收机
入口处
转发器
出口处

33

上行链路C/T的计算



1. 单载波饱和工作

$$C = \frac{EIRP_{E.S} \cdot G_S}{L_U} \quad \Rightarrow \quad \left(\frac{C}{T}\right)_U = \frac{EIRP_{E.S} \cdot G_S}{L_U \cdot T_S} = \frac{EIRP_{E.S}}{L_U} \cdot \left(\frac{G}{T}\right)_S$$

用dB形式表示即为

$$\left[\frac{C}{T}\right]_U = [EIRP]_{E.S} - [L]_U + \left[\frac{G}{T}\right]_S$$

34

上行链路C/T的计算(续)

另一种方法:

$$\left(\frac{C}{T}\right)_U = \frac{P_R}{T_S} = \frac{W_S \cdot A \eta}{T_S} \overset{G = \frac{4\pi A}{\lambda^2} \eta}{=} \frac{W_S \cdot G_S}{T_S \cdot \frac{4\pi}{\lambda^2}}$$

以dB形式表示即为

$$\left[\frac{C}{T}\right]_U = [W]_S - 10 \log \frac{4\pi}{\lambda^2} + \left[\frac{G}{T}\right]_S$$

由于 $\frac{4\pi}{\lambda^2} = \frac{G}{A\eta}$ 所以前者又称为“单位面积天线增益”

35

上行链路C/T的计算(续)

2、多载波工作时整个转发器的C/T

$$\begin{aligned} \left[\frac{C}{T}\right]_U &= [EIRP]_{E.M} - [L]_U + \left[\frac{G}{T}\right]_S \\ &= [EIRP]_{E.S} - [BO_i] - [L]_U + \left[\frac{G}{T}\right]_S \end{aligned}$$

另一种方法为

$$\begin{aligned} \left(\frac{C}{T}\right)_U &= \frac{P_R}{T_S} = \frac{W_S \cdot A \eta / BO_i}{T_S} \\ &= \frac{W_S \cdot G_S}{T_S \cdot \frac{4\pi}{\lambda^2} \cdot BO_i} \end{aligned}$$

$$\left[\frac{C}{T}\right]_U = [W]_S - 10 \log \frac{4\pi}{\lambda^2} - [BO_i] + \left[\frac{G}{T}\right]_S$$

36

上行链路C/T的计算(续)

3、多载波工作时某一载波单独的C/T

分配因子的定义:

$$Y = \frac{\text{对所研究载波, 卫星输出的功率或EIRP}}{\text{实际工作点, 卫星总的输出功率或EIRP}}$$

$$[Y] = 10 \log \left(\frac{\text{对所研究载波, 卫星输出的功率或EIRP}}{\text{实际工作点, 卫星总的输出功率或EIRP}} \right)$$

其含义即为卫星转发器上某一载波的输出功率或EIRP在总的输出功率或EIRP中所占的比例。

在后面的计算中认为转发器某一载波输入功率或EIRP在总输入功率或EIRP中所占的比例与输出中所占比例相同。

37

上行链路C/T的计算(续)

于是多载波工作时某一载波单独的C/T

$$\begin{aligned} \left[\frac{C}{T} \right]_U &= [EIRP]_{E \cdot 1} - [L]_U + \left[\frac{G}{T} \right]_S \\ &= [EIRP]_{E \cdot M} + [Y] - [L]_U + \left[\frac{G}{T} \right]_S \\ &= [EIRP]_{E \cdot S} - [BO_i] + [Y] - [L]_U + \left[\frac{G}{T} \right]_S \end{aligned}$$

用另一种方法, 则有

$$\left[\frac{C}{T} \right]_U = [W]_S - 10 \log \frac{4\pi}{\lambda^2} - [BO_i] + [Y] + \left[\frac{G}{T} \right]_S$$

38

下行链路C/T的计算

1、单载波饱和工作

$$\left(\frac{C}{T}\right)_D = \frac{EIRP_{S.S} \cdot G_E}{L_D \cdot T_E}$$

以dB形式表示即为

$$\left[\frac{C}{T}\right]_D = [EIRP]_{S.S} - [L]_D + \left[\frac{G}{T}\right]_E$$

若考虑到降雨备余量，则

$$\left[\frac{C}{T}\right]_D = [EIRP]_{S.S} - [L]_D + \left[\frac{G}{T}\right]_E - [M]$$

39

下行链路C/T的计算（续）

2、多载波工作

$$\begin{aligned}\left[\frac{C}{T}\right]_D &= [EIRP]_{S.M} - [L]_D + \left[\frac{G}{T}\right]_E \\ &= [EIRP]_{S.S} - [BO_o] - [L]_D + \left[\frac{G}{T}\right]_E\end{aligned}$$

考虑到降雨备余量，则

$$\begin{aligned}\left[\frac{C}{T}\right]_D &= [EIRP]_{S.M} - [L]_D + \left[\frac{G}{T}\right]_E - [M] \\ &= [EIRP]_{S.S} - [BO_o] - [L]_D + \left[\frac{G}{T}\right]_E - [M]\end{aligned}$$

40

下行链路C/T的计算（续）

3、多载波工作时某一载波的C/T值

$$\begin{aligned}\left[\frac{C}{T}\right]_D &= [EIRP]_{S,1} - [L]_D + \left[\frac{G}{T}\right]_E \\ &= [EIRP]_{S,M} - [L]_D + \left[\frac{G}{T}\right]_E + [Y] \\ &= [EIRP]_{S,S} - [BO_o] - [L]_D + \left[\frac{G}{T}\right]_E + [Y]\end{aligned}$$

若考虑到降雨备余量，则

$$\begin{aligned}\left[\frac{C}{T}\right]_D &= [EIRP]_{S,M} - [L]_D + \left[\frac{G}{T}\right]_E + [Y] - [M] \\ &= [EIRP]_{S,S} - [BO_o] - [L]_D + \left[\frac{G}{T}\right]_E + [Y] - [M]\end{aligned}$$

41

链路计算基本方法-干扰常数

- ☆在链路计算中除计算上下行的C/T值外，还要考虑卫星通信链路的干扰
- ☆直播星链路计算中主要考虑的干扰为：下行的邻星干扰，下行的极化干扰，卫星转发器的交调干扰
- ☆在工程上为了便于计算，引用干扰常数来计算各类干扰的C/I，从而推出C/T_I。

42

链路计算基本方法-干扰常数

交调干扰

- ☆ 卫星转发器为非线性器件，当多载波工作时且转发器工作点接近饱和点时，由于转发器的非线性会产生交调干扰
- ☆ NPR是转发器的一个参数，用来评估转发器在多载波工作时交调干扰，该参数通过实际测试可以得到
- ☆ 根据公式

$$C_s/I_m = NPR + Agg.OPBO + 10\log(Nb)$$

可以得到转发器的交调干扰常数 C_s/I_m

公式中 C_s 为转发器的饱和输出功率， $Agg.OPBO$ 为转发器多载波时的输出回退， Nb 为转发器的噪声带宽

43

链路计算基本方法-干扰常数

- ☆ 实际转发器交调干扰的 C/I 为：
$$C/I = C_s/I_m - OPBO/carrier - 10\log(Nb/carrier)$$
 - ☆ C_s/I_m 为转发器交调干扰常数
 - ☆ 计算实例
- 假设C频段转发器带宽为36Mhz，其NPR参数为：

AggOPBO(dB)	NPR(dB)
2	12
4	16
6	20
8	24

该转发器的输出回退为3dB。求交调干扰常数 C_s/I_m 。

44

链路计算基本方法-干扰常数

☆求解:

$$\begin{aligned} C_s/I_m &= NPR + AggOPBO + 10\log(Nb) \\ &= 14 + 3 + 10\log(36 \times 10^6) \\ &= 92.56 \text{ dB/Hz} \end{aligned}$$

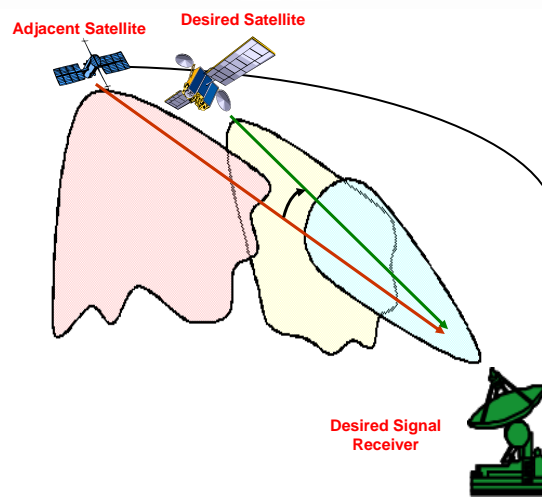
所以 $C/I = 92.6 - OPBO/\text{carrier} - 10\log(Nb/\text{carrier})$

45

链路计算基本方法-干扰常数

邻星干扰

- ☆当两颗卫星的轨道位置间隔较小时（一般在2度之内。）且覆盖有所重叠
- ☆被干扰站使用了小口径的天线，且位于覆盖重叠区
- ☆邻星干扰的大小取决于干扰卫星的下行EIRP和被干扰站的天线口径



46

链路计算基本方法-干扰常数

☆在实际链路计算中，只考虑下行的邻星干扰

☆邻星干扰的C/I为：

$$C/I = (EIRP_o - OPBO/carrier) - (EIRP_{adj} - AggOPBO)$$

☆考虑到接收天线对邻星干扰有一定增益隔离 $G_o - G(\theta)$ ，所以C/I为：

$$C/I = (EIRP_o - OPBO/carrier) - (EIRP_{adj} - AggOPBO) + (G_o - G(\theta))$$

☆实际工作中，干扰信号和有用信号的带宽不同，只有落在有用信号带内的才造成干扰，所以C/I为：

$$C/I = (EIRP_o - OPBO/carrier - 10\log(Nb/carrier)) - (EIRP_{adj} - AggOPBO - 10\log(Nb_{adj})) + (G_o - G(\theta))$$

47

链路计算基本方法-干扰常数

☆根据C/I的公式，邻星干扰常数为：

$$C/I_o = (EIRP_o - EIRP_{adj}) + AggOPBO + 10\log(Nb_{adj})$$

假设邻星干扰的转发器饱和工作，AggOPBO为0；转发器的EIRP_o和EIRP_{adj}相同，所以C/I_o为：

$$C/I_o = 0 + 0 + 10\log(36 \times 10^6) = 75.6$$

☆所以邻星干扰的C/I为：

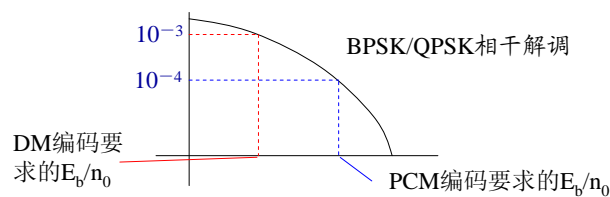
$$C/I = 75.6 + (G_o - G(\theta)) - OPBO/carrier - 10\log(Nb/carrier)$$

48

门限载噪比

☆在数字通信中，传输质量以误比特率衡量。不同的调制解调方式为达到要求的误比特率需要的 $(E_b/n_0)_{th}$ 是不同的，其对应的载噪比也是不同的

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{th} = \left(\frac{R_b E_b}{n_0 B_b}\right) \Rightarrow \left[\frac{C}{N}\right]_{th} = \left[\frac{E_b}{n_0}\right] + [R_b] - [B_b]$$



49

线路计算举例

例1

已知：

$$W_s = -67.5 \text{ dBW/m}^2$$

工作频段：C

$$BO_i = 11 \text{ dB}$$

$$(G/T)_s = -11.6 \text{ dB/K}$$

$$[EIRP]_{s,s} = 26 \text{ dBW}$$

$$BO_o = 6 \text{ dB}$$

$$[G/T]_E = 41.3 \text{ dB/K} \quad [C/T]_{IM} = -131.7 \text{ dBW/K}$$

$$[C/T]_I = -130 \text{ dBW/K} \quad \text{带宽：36 MHz}$$

计算：

地球站总的 $[EIRP]_{E,M}$ ，总的 $[C/T]$ ，总的 $[C/N]$

50

解:

先求出上下行自由空间传输损耗

$$L_{fU} = 10 \lg \left(\frac{4\pi D}{\lambda} \right)^2 = 10 \lg \left(\frac{4\pi \cdot 35786.6 \times 10^3}{3 \times 10^8 / 6 \times 10^9} \right)^2 \\ = 199.1 \text{dB}$$

上行链路考虑0.7dB大气损耗, 于是 $L_U = 199.8 \text{dB}$

下行自由空间传输损耗

$$L_{fD} = 10 \lg \left(\frac{4\pi D}{\lambda} \right)^2 = 10 \lg \left(\frac{4\pi \cdot 35786.6 \times 10^3}{3 \times 10^8 / 4 \times 10^9} \right)^2 \\ = 195.6 \text{dB}$$

下行链路考虑0.6dB大气损耗, 于是 $L_D = 196.2 \text{dB}$

51

求各地球站总的EIRP

$$[EIRP]_{E.M} - [L_U] = \left[\frac{W_s \cdot A \eta}{G_s \cdot BO_i} \right] \\ = [W_s] - [BO]_i - \left[\frac{4\pi}{\lambda^2} \right]$$

$$\text{于是有} \quad [EIRP]_{E.M} = [W_s] - [BO]_i + [L_U] - \left[\frac{4\pi}{\lambda^2} \right] \\ = 84.3 \text{dBW}$$

52

求上行链路 $[C/T]_U$

$$\begin{aligned}\left[\frac{C}{T}\right]_U &= [W_s] - 10 \lg \frac{4\pi}{\lambda^2} - [BO_i] + \left[\frac{G}{T}\right]_s \\ &= -67.5 - 37 - 11 + (-11.6) \\ &= -127.1 \text{ dBW} / K\end{aligned}$$

求下行链路 $[C/T]_D$

$$\begin{aligned}\left[\frac{C}{T}\right]_D &= [EIRP]_{s,s} - [BO_o] - [L]_d + \left[\frac{G}{T}\right]_E \\ &= 26 - 6 - 196.2 + 41.3 \\ &= -134.9 \text{ dBW} / K\end{aligned}$$

53

求总的C/T

$$\begin{aligned}\left(\frac{C}{T}\right)_U &= 10^{\frac{-127.1}{10}} = 1.95 \times 10^{-13} \text{ W} / K \\ \left(\frac{C}{T}\right)_D &= 10^{\frac{-134.9}{10}} = 3.24 \times 10^{-14} \text{ W} / K \\ \left(\frac{C}{T}\right)_{IM} &= 10^{\frac{-131.7}{10}} = 6.76 \times 10^{-14} \text{ W} / K \\ \left(\frac{C}{T}\right)_I &= 10^{\frac{-130}{10}} = 1.00 \times 10^{-13} \text{ W} / K \\ \left(\frac{C}{T}\right) &= \frac{1}{5.13 \times 10^{12} + 3.09 \times 10^{13} + 1.48 \times 10^{13} + 10^{13}} \\ &= 1.64 \times 10^{-14} \text{ W} / K \\ \left[\frac{C}{T}\right] &= -137.8 \text{ dBW} / K\end{aligned}$$

54

求 $[C/N]$

$$\begin{aligned}\left[\frac{C}{N}\right] &= \left[\frac{C}{T}\right] - [k] - [B] = -137.8 + 228.6 - 10 \lg 36 \times 10^6 \\ &= 15.2\text{dB}\end{aligned}$$

55

链路计算举例（续）

• 例2

已知：

转发器工作频段：Ku (14/12 GHz)，转发器带宽：
72MHz

$W_s = -82\text{dBW/m}^2$

$[BO]_i = 8\text{dB}$

$[C/T]_s = 3\text{dB/K}$
1.0dB

接收系统噪声系数：

$[EIRP]_{s,M} = 51.6\text{dBW}$

$[C/N]_i = 21.31\text{dB}$

信息速率：10Mbps

调制方式：BPSK

信道滤波器滚降系数：0.4

$P_e = 10^{-5}$ 时的 $[E_b/n_0]_{th} = 9.5\text{dB}$

接收天线与发送天线的口径相同，互调噪声可忽略。

计算：

每个发送站只发出一个载波，求发送站HPA输出功率；接收/发送天线口径

先求出上下行自由空间传输损耗

$$L_{fU} = 10 \lg \left(\frac{4\pi D}{\lambda} \right)^2 = 10 \lg \left(\frac{4\pi \cdot 35786.6 \times 10^3}{3 \times 10^8 / 14 \times 10^9} \right)^2$$

$$= 206.4 \text{ dB}$$

上行链路考虑0.7dB大气损耗，于是 $L_U = 207.1 \text{ dB}$

下行自由空间传输损耗

$$L_{fD} = 10 \lg \left(\frac{4\pi D}{\lambda} \right)^2 = 10 \lg \left(\frac{4\pi \cdot 35786.6 \times 10^3}{3 \times 10^8 / 12 \times 10^9} \right)^2$$

$$= 205.1 \text{ dB}$$

下行链路考虑0.6dB大气损耗，于是 $L_D = 205.7 \text{ dB}$

57

计算上行链路的C/T

$$\left[\frac{C}{T} \right]_U = [W]_S - 10 \lg \frac{4\pi}{\lambda^2} - [BO_i] + [Y] + \left[\frac{G}{T} \right]_S$$

由于我们希望对卫星转发器带宽的占用与对其EIRP的占用比例相同，所以我们认为此处

$$Y = \frac{B_l}{B_T}$$

载波占用的带宽 $B_l = 10 \text{ MHz} \times (1 + 0.4) = 14 \text{ MHz}$

$$Y = \frac{B_l}{B_T} = \frac{14 \text{ M}}{72 \text{ M}} \approx 0.194 \Rightarrow [Y] = -7.1 \text{ dB}$$

于是有 $\left[\frac{C}{T} \right]_U = -82 - 44.37 - 8 - 7.1 + 3 = -138.47 \text{ dBW/K}$

58

$$\begin{aligned}\left[\frac{C}{N}\right]_U &= \left[\frac{C}{T}\right]_U - [k] - [B_i] \\ &= -138.47 + 228.6 - 71.46 = 18.67\text{dB}\end{aligned}$$

对于下行链路 $\left[\frac{C}{T}\right]_D = [EIRP]_{S,M} - [L]_D + \left[\frac{G}{T}\right]_E + [Y] - [M]$

考虑降雨备余量为6.3dB，则

$$\begin{aligned}\left[\frac{C}{T}\right]_D &= 51.6 - 205.7 + \left[\frac{G}{T}\right]_E - 7.1 - 6.3 \\ &= -167.5 + \left[\frac{G}{T}\right]_E \text{ dBW} / K\end{aligned}$$

$$\left[\frac{C}{N}\right]_D = -167.5 + \left[\frac{G}{T}\right]_E + 228.6 - 71.46 = -10.36 + \left[\frac{G}{T}\right]_E \text{ dB}$$

59

由 $[E_b/n_0]_{th}$ 可得

$$\begin{aligned}\left[\frac{C}{N}\right]_{th} &= \left[\frac{E_b}{n_0}\right] + [R_b] - [B_b] \\ &= 9.5 - 1.46 = 8.04\text{dB}\end{aligned}$$

考虑 4.8dB 的门限备余量，则

$$\left[\frac{C}{N}\right]_t = \left[\frac{C}{N}\right]_{th} + 4.8 = 12.84\text{dB}$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_t = 19.23$$

60

$$\left(\frac{C}{N}\right)_t = 19.23 \quad \left(\frac{C}{N}\right)_v = 73.62 \quad \left(\frac{C}{N}\right)_I = 135.21$$

(C/N)与(C/T)间的关系相同，所以

$$\left(\frac{C}{N}\right)_D^{-1} = \left(\frac{C}{N}\right)_t^{-1} - \left(\frac{C}{N}\right)_v^{-1} - \left(\frac{C}{N}\right)_I^{-1} = 0.031$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_D = 32.23 \Rightarrow \left[\frac{C}{N}\right]_D = 15.08\text{dB}$$

(当然，此处若以C/T进行计算也可)

由前面得到的 (C/N)_D表达式可得

$$\left[\frac{G}{T}\right]_E = 15.08 + 10.36 = 25.44\text{dB} / K$$

61

$$T_e = 290 \cdot (10^{NF/10} - 1) = 75K$$

$$\frac{G_E}{T_e} = 349.9 \Rightarrow G_E = 26242.5 \quad ([G]_E = 44.2\text{dB})$$

$$G_E = \frac{4\pi}{\lambda^2} A \eta = \frac{4\pi^2}{\lambda^2} r^2 \eta \quad \text{其中天线效率取} 0.7$$

$$r = 0.77m \quad \text{天线直径约为} 1.54m。$$

因发射天线与接收天线口径相同，则发射天线增益为

$$[G]_{ET} = 45.52\text{dB}$$

而发送站单个载波的[EIRP]_{E,1}应为

$$\begin{aligned} [EIRP]_{E,1} &= [W_s] - 10 \lg \frac{4\pi}{\lambda^2} - [BO]_i + [L]_r + [Y] \\ &= -82 - 44.37 - 8 + 207.1 - 7.1 = 65.63\text{dBW} \end{aligned}$$

62

则地球站HPA输出应为

$$[P]_T = [EIRP]_{E.1} - [G]_{ET} = 20.11dBW$$

$$P_T = 102.6W$$

若考虑HPA预留上行链路雨衰补偿5dB，及馈线损耗0.7dB则

$$[P]_T = 25.81dBW \quad P_T = 381W$$

此配置下，对功放输出能力要求过高，于是可采用较大天线，来换取较小的功放。使用3米天线，则功放可减小至100W；进一步，使用4.5米天线，则功放可减小到50W。

63

计算中的有关说明

☆本计算中，所有发送站以使卫星达到正常工作点输出功率的总EIRP发射信号，各载波的EIRP按带宽所占比例分配。若以高于此值的功率发送，则载波在卫星EIRP中所占比例将高于其频带在转发器频带中所占比例，租星费用将提高；

☆若以低于此功率的功率发射，则Y将下降（但不会减少转发器费用），于是 G_{ER} 必将加大才能达到载噪比要求，即接收天线口径将增加。当然由此而带来的好处是发射天线口径减小，发送站HPA输出功率减小。

64

对计算结果的一些分析

1、关于卫星接收天线口径

由前面的计算可见，在遵守功率分配因子与频率分配因子相等的前提下，可以确定接收天线的最小口径，此时增加发送功率是不允许的。若减小发射功率，接收天线口径将增大。

选择功率强大的卫星有助于减小接收天线的尺寸。在前面的计算中，若 $[EIRP]_{S,M}$ 增大3dB，则 $[G/T]_E$ 可减小3dB，相应地，最小接收天线直径可由1.54米减小为1.08米。

若能减小接收系统的噪声温度，可减小天线口径。如上述计算中，噪声系数减小至0.8dB (T_e 减小至59K)，则天线直径减至1.36m。

65

对计算结果的一些分析

2、关于传输速率

考虑将传输速率增至51.43Mbps，则占用带宽为72MHz，即占用整个转发器。观察发现 $[C/N]_U$ 、 $[C/N]_D$ 、 $[C/N]_t$ 的表达式或值均不改变（Y引起的变化被B抵消），故数据速率的改变不会改变接收天线的最小口径；

而 $[EIRP]_{E,1}$ 将增大7.1dB（约5.1倍），若 P_T 不变，则发送天线直径应变为3.5米（增大 $\sqrt{5.1}$ 倍）。

3、关于门限载噪比

若通过纠错编码或改进调制技术使误码性能得到改善，在达到系统要求时的信噪比降低，则可减小接收天线尺寸。如 $[E_b/n_0]$ 降低2dB，则接收天线口径可减小至1.1米。

66

对计算结果的一些分析

☆关于发送站HPA输出与天线尺寸

在链路计算中，对发送站的指标要求是EIRP，在满足此要求的前提下，理论上可使用任何 P_T 与天线口径的组合。但实际上应考虑以下因素：发送站是否同时要进行接收；天线口径过小则其方向性不好，这时若发送功率很大势必导致对邻近卫星的严重干扰；HPA（BUC）与天线的价格。

67

直播星链路计算软件介绍

☆ 直播星链路计算软件是根据链路计算的基本公式，由Excel软件编写

☆ 通过输入卫星参数，地面站参数和载波参数，软件自动计算出卫星通信链路的余量以及载波占用转发器的带宽和功率资源

☆ 卫星参数包括：轨道位置，转发器编号，增益档设置，转发器EIRP，SFD，G/T，转发器输入输出回退等

☆ 地面站参数：地理位置，天线口径，天线效率，功放到天馈源的路径损耗等

☆ 载波参数：调制方式，纠错方式，载波的信息速率，载波解调门限值

68