

关键词: 接收机灵敏度, 扩频, 数字通信接收机, CDMA, WCDMA, 比特能量, 噪声功率频谱密度, 信噪比, SNR, 信号功率

应用笔记 1140

扩频系统的接收机灵敏度方程

Daniel Terlep

Jul 28, 2003

摘要: 本应用笔记论述了扩频系统灵敏度的定义以及计算数字通信接收机灵敏度的方法。本文提供了接收机灵敏度方程的逐步推导过程, 还包括具体数字的实例, 以便验证其数学定义。

在扩频数字通信接收机中, 链路的度量参数 E_b/N_0 (每比特能量与噪声功率谱密度的比值)与达到某预期接收机灵敏度所需的射频信号功率值的关系是从标准噪声系数 F 的定义中推导出来的。CDMA、WCDMA 蜂窝系统接收机及其它扩频系统的射频工程师可以利用推导出的接收机灵敏度方程进行设计, 对于任意给定的输入信号电平, 设计人员通过权衡扩频链路的预算即可确定接收机参数。

[点击这里](#), 了解典型射频收发器设计的无线器件

从噪声系数 F 推导 E_b/N_0 关系

根据定义, F 是设备(单级设备, 多级设备, 或者是整个接收机)输入端的信噪比与这个设备输出端的信噪比的比值(**图 1**)。因为噪声在不同的时间点以不可预见的方式变化, 所以用均方信号与均方噪声之比表示信噪比(SNR)。

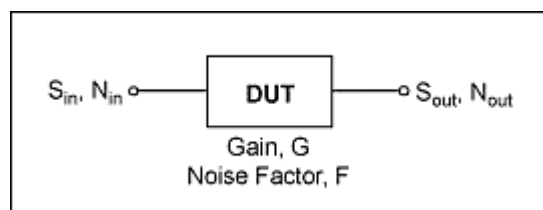


图 1.

下面是在图 1 中用到的参数的定义, 在灵敏度方程中也会用到它们:

S_{in} = 可获得的输入信号功率(W)

N_{in} = 可获得的输入热噪声功率(W) = $KT B_{RF}$ 其中:

K = 波尔兹曼常数 = 1.381×10^{-23} W/Hz/K,

T = 290K, 室温

B_{RF} = 射频载波带宽(Hz) = 扩频系统的码片速率

S_{out} = 可获得的输出信号功率(W)

N_{out} = 可获得的输出噪声功率(W)

G = 设备增益(数值)

F = 设备噪声系数(数值)

的定义如下:

$$F = (S_{in} / N_{in}) / (S_{out} / N_{out}) = (S_{in} / N_{in}) \times (N_{out} / S_{out})$$

用输入噪声 N_{in} 表示 N_{out} :

$$N_{out} = (F \times N_{in} \times S_{out}) / S_{in} \text{ 其中 } S_{out} = G \times S_{in}$$

得到:

$$N_{out} = F \times N_{in} \times G$$

调制信号的平均功率定义为 $S = E_b / T$, 其中 E_b 为比特持续时间内的能量, 单位为 W-s, T 是以秒为单位的比特持续时间。

调制信号平均功率与用户数据速率的关系按下面的式子计算:

$$1 / T = \text{用户数据比特率, } R_{bit} \text{ 单位 Hz, 得出 } S_{in} = E_b \times R_{bit}$$

根据上述方程, 以 E_b/N_o 表示的设备输出端信噪比为:

$$S_{out} / N_{out} = (S_{in} \times G) / (N_{in} \times G \times F) =$$

$$S_{in} / (N_{in} \times F) =$$

$$(E_b \times R_{bit}) / (KTB_{RF} \times F) =$$

$$(E_b / KTF) \times (R_{bit} / B_{RF}),$$

其中 KTF 表示 1 比特持续时间内的噪声功率(N_o)。

因此,

$$S_{out} / N_{out} = E_b/N_o \times R_{bit} / B_{RF}$$

在射频频带内, B_{RF} 等于扩频系统的码片速率 W , 处理增益($PG = W/R_{bit}$)可以定义为:

$$PG = B_{RF} / R_{bit}$$

所以, $R_{bit} / B_{RF} = 1/PG$, 由此得输出信噪比:

$$S_{out} / N_{out} = E_b/N_o \times 1 / PG。$$

注意: 对于没有扩频的系统($W = R_{bit}$), E_b/N_o 在数值上等于 SNR。

接收机灵敏度方程

对于给定的输入信号电平, 为了确定 SNR, 用噪声系数方程表示 S_{in} :

$$F = (S_{in} / N_{in}) / (S_{out} / N_{out}) \text{ 或 } F = (S_{in} / N_{in}) \times (N_{out} / S_{out})$$

$$S_{in} = F \times N_{in} \times (S_{out} / N_{out})$$

S_{in} 又可以表示为:

$$S_{in} = F \times KTB_{RF} \times E_b/N_o \times 1/PG$$

用一种更加常用的对数形式表示, 对每一项取以 10 为底的对数再乘 10 得到单位 dB 或 dBm。

于是噪声系数 NF (dB) = 10 × log (F), 由此得出下面的接收机灵敏度方程:

$$S_{in} \text{ (dBm)} = NF \text{ (dB)} + KTB_{RF} \text{ (dBm)} + E_b/N_o \text{ (dB)} - PG \text{ (dB)}$$

数字实例

下面是扩频 WCDMA 蜂窝系统基站接收机的例子。尽管接收机灵敏度方程对各种电平的输入信号都是正确的, 对于给定的 E_b/N_o 、本范例在满足误码率百分比(%BER)的最小灵敏度下选

择了最大输入信号功率。这个实例的条件为：

对于速率为 12.2kbps、功率-121dBm 的数字语音信号，最大规定输入信号电平必须满足系统的最小规定灵敏度。

对于 QPSK 调制信号，在 E_b/N_o 值为 5dB 时可以获得规定的误码率 BER (0.1%)。

射频带宽等于码片速率，即 3.84MHz。

$$KTB_{RF}(\log) = 10 \times \log(1.381 \times 10^{-23} \text{ W/Hz/K} \times 290\text{K} \times 3.84\text{MHz} \times 1000\text{mW/W}) = -108.13\text{dBm}.$$

规定的用户数据速率 R_{bit} 等于 12.2kbps，PG 为 $PG = R_{chip} / R_{bit} = 314.75_{\text{numeric}}$ 或 25dB_{\log} 。

将这些值带入并利用等式： $S_{out} / N_{out} = E_b/N_o \times R_{bit} / B_{RF}$ 得到输出信噪比为：5dB - 25dB = -20dB。这表示扩展了带宽的扩频系统实际是在负值 SNR 下工作。

为了得到满足最小规定灵敏度的最大接收机噪声系数(表示为 NF_{max})，使用接收机灵敏度方程：

$$S_{in}(\text{dBm}) = NF(\text{dB}) + KTB_{RF}(\text{dBm}) + E_b/N_o(\text{dB}) - PG(\text{dB})$$

下面的步骤和图 2 给出了得到 NF_{max} 的具体方法：

步骤 1：对于 WCDMA 系统，在预期的灵敏度下最大规定射频输入信号为-121dBm。

步骤 2：减去 5dB 的 E_b/N_o 值，得到在用户频带内允许的最大噪声电平为-126dBm (12.2kHz)。

步骤 3：加上 25dB 的处理增益，得到在射频载波带宽内的最大允许噪声电平为-101dBm。

步骤 4：从射频输入噪声中减去最大允许噪声电平得到 $NF_{max} = 7.1\text{dB}$ 。

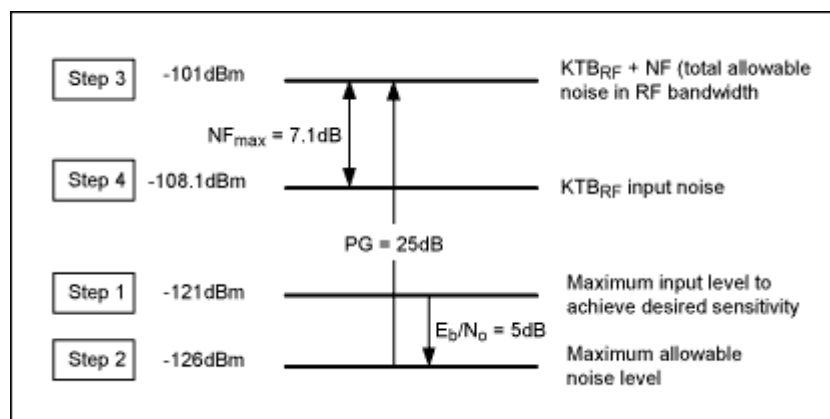


图2.

注意: 如果在接收机设计中使用了更高效的检测器,使对 E_b/N_o 值的要求仅为 3dB 而不是 5dB, 在接收机 NF_{max} 为 7.1dB 的条件下, 接收机灵敏度可以达到-123dBm。另外, 由于降低了对 E_b/N_o 值的要求, 在满足最大规定输入信号为-121dBm 的同时, 高达 9.1dB 的 NF_{max} 值也是可以承受的。

小结

使用从噪声系数的定义推导出来的接收机灵敏度方程, 设计者可以在扩频链路预算中权衡和

确定接收机的参数，它对任意输入信号电平都可行，从而使这个方程在确定系统灵敏度方面非常实用。

$$S_{in} \text{ (dBm)} = NF \text{ (dB)} + KTB_{RF} \text{ (dBm)} + E_b/N_o \text{ (dB)} - PG \text{ (dB)}$$

参考文献

CDMA Systems Engineering Handbook, Jhong Sam Lee & Leonard E. Miller, Artech House Publishers, 1998.

CDMA RF System Engineering, Samuel C. Yang, Artech House Publishers, 1998.