

情253「デジタルシステム設計」 (5) Noise5

ファイヤー和田

wada@ie.u-ryukyu.ac.jp

琉球大学工学部情報工学科

雑音・ノイズ [P135]

- 無線通信では、特に信号Sと雑音(ノイズ)Nのパワーの比 S/N 比 の悪い状態が発生する。
 1. 熱雑音 抵抗素子から発生、絶対温度に比例
 2. 電子回路の内部雑音(ショット雑音)
 3. その他
 - ① 宇宙雑音
 - ② 人工雑音
 - ③ 電子機器の振動
 - ④ 車両のイグニッションノイズ
 - ⑤ 他の局の妨害波(ノイズと言わずに干渉波とも言う)

雑音はどこから、どのように入ってくるのか [P144]

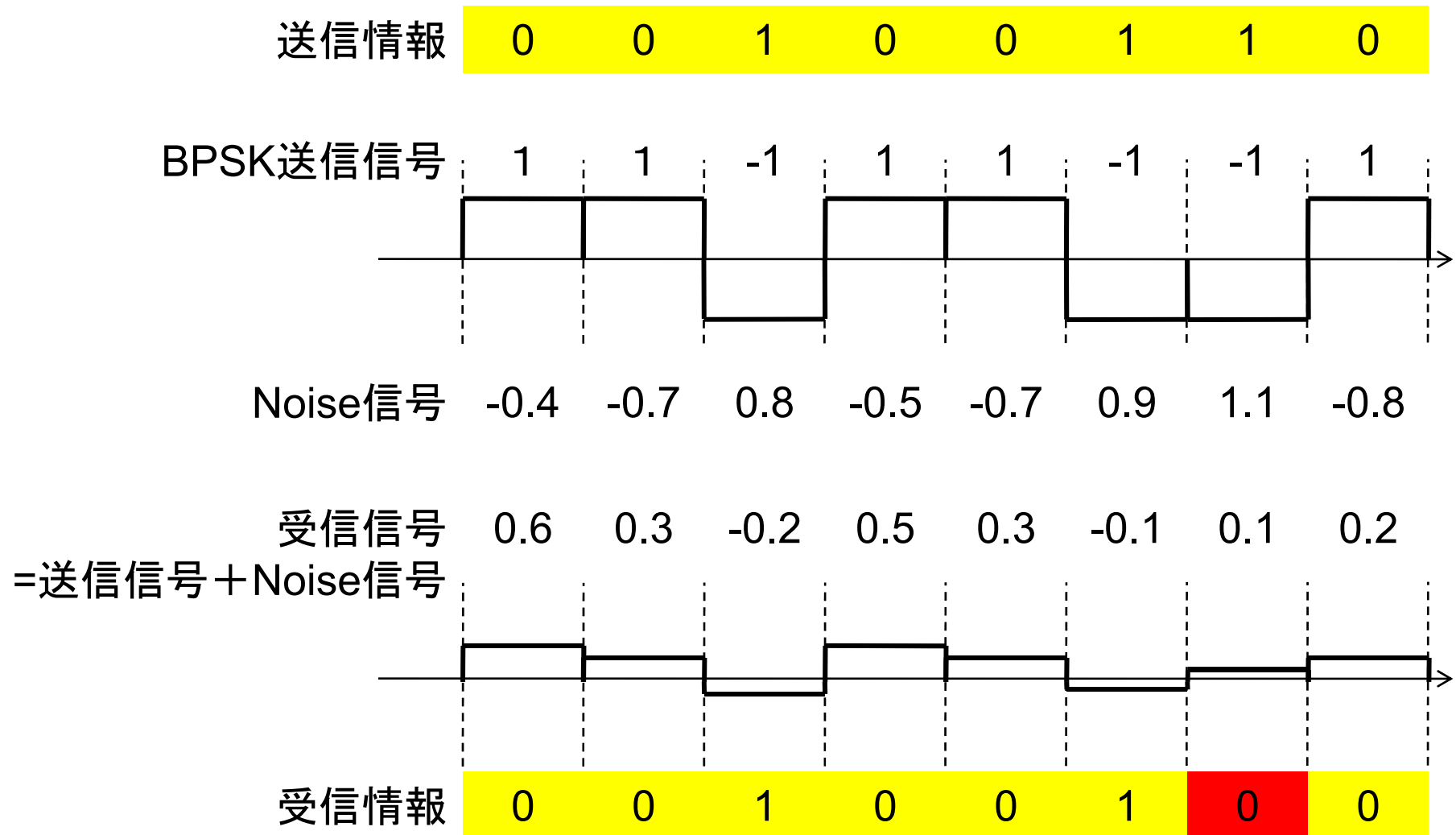
1. 空間伝搬は減衰するのみ
 - 最初は人工雑音、宇宙雑音、他局からの干渉
2. アンテナの抵抗分で熱雑音
3. 受信回路でのロスと内部雑音
4. 雑音も周波数帯域制限される

白色雑音

- 白色雑音とは、図5-16(a)のように広い周波数にわたって雑音レベルが変化しない種類の雑音を言う。
- 白色光をプリズムで見たときのスペクトラムが周波数方向に均一に広がっているのと同じ意味あい、白色雑音という。
- 図5-16(b)の時間軸で見ると、種々の振幅が時間とともに変化する。この振幅をヒストグラムにとると、正規分布になる。
 - 周波数に依存しない雑音信号
 - 振幅レベルをサンプリングすると正規分布となる
- 受信信号に対して加算されていると考えるので、加法性白色ガウス雑音と一般的に呼ぶ

AWGN: Additive White Gaussian Noise

BPSK信号にノイズが印加された例



SN比(SNR)

BPSK送信信号 1 1 -1 1 1 -1 -1 1

振幅の2乗

1 1 1 1 1 1 1 1

平均=1 信号パワー S=1

Noise信号 -0.4 -0.7 0.8 -0.5 -0.7 0.9 1.1 -0.8

振幅の2乗

0.16 0.49 0.64 0.25 0.49 0.81 1.21 0.64

平均=0.586 ノイズパワーN=0.586

$$\text{SNR} = 1/0.586 = 1.71,$$
$$\text{SNR(dB)} = 10\text{Log}_{10}(1.71) = 2.33\text{dB}$$

正規分布(ガウス分布) [P146]

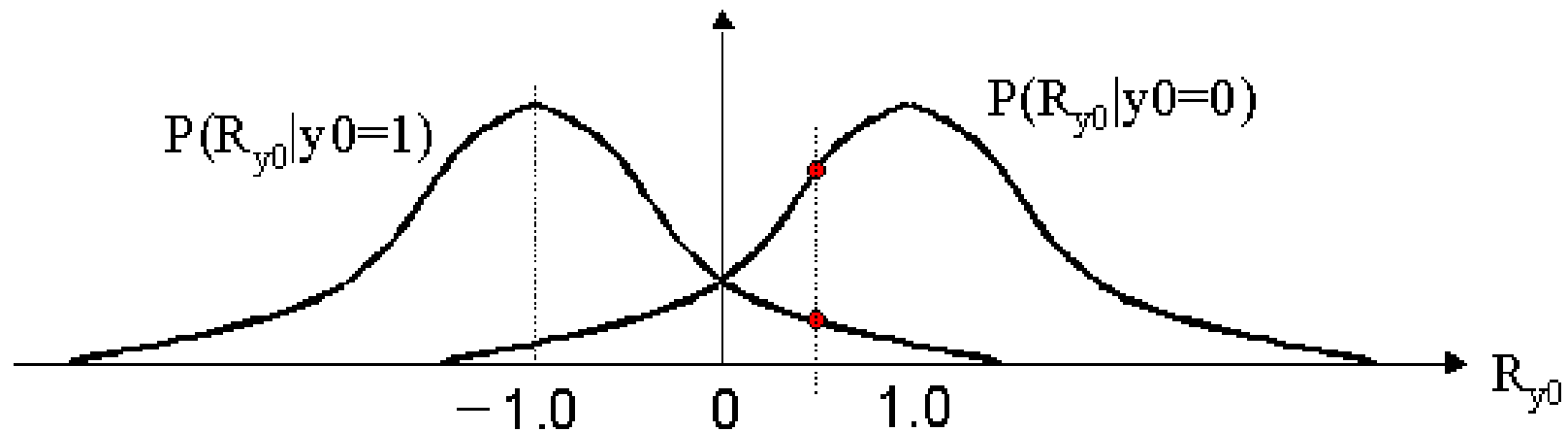
- 白色ノイズの振幅は正規分布に従う
- 正規分布を確率密度関数(Probability Density Function)で表す

$$g(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)$$

- μ は平均
- σ は標準偏差 雑音のrms(Root Mean Square)
- σ^2 は雑音パワーと一致する

BPSK送信データ＋白色雑音[P149]

- BPSK信号として、1.0 or -1.0を送信し、白色ノイズがのると受信値は以下のように分布する。



- 1.0を送信した場合、受信値は1.0を中心とした正規分布で分布する。2つの分布の境界は0であり。
- 1.0を送信して、受信値が0以下になると間違っ、送信値は-1.0であったと判断し、エラーとなる。

BERの算出法 Column3 [P151-3]

- 教科書図5-24より

$$BER = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^0 \exp\left\{-\frac{(x-A)^2}{2\sigma^2}\right\}$$

- Column3のerfcを用いる方法では

$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(x) = \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^{\infty} \exp(-a^2) da$$

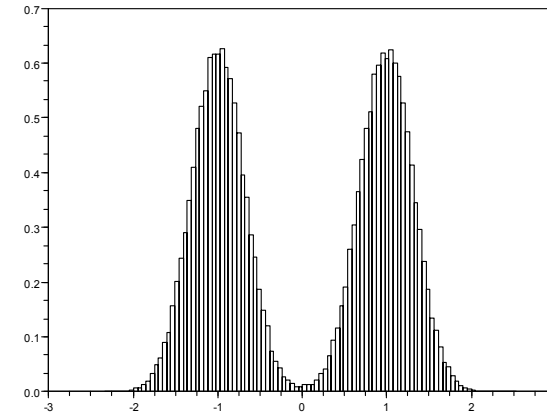
ただし、 $x = \sqrt{SNR/2} = \sqrt{s^2 / 2\sigma^2} = \frac{s}{\sqrt{2}\sigma}$

ErfcによりBPSK BER計算

- SNRdB= 0:10; --> ans =
- SNR=10^(SNRdB/10); 0. 0.1586553
- x=sqrt(SNR/2); 1. 0.1309273
- BER=0.5*erfc(x); 2. 0.1040286
- [SNRdB',BER'] 3. 0.0788959
- 4. 0.0564953
- 5. 0.0376790
- 6. 0.0230071
- 7. 0.0125870
- 8. 0.0060044
- 9. 0.0024133
- 10. 0.0007827

BPSK BER SCILAB SIMULATION

- `printf('***** BPSK Bit error rate simulation *****\n');`
- `//generate 100000 bpsk data`
- `rand("uniform");`
- `tx = round(rand(1,100000));`
- `x=1-2*tx;`
- `sigpower=mean(x^2);`
- `for(sn=0:10)`
- `rand("normal");`
- `awgn=rand(1,100000);`
- `awgnpower=mean(awgn^2);`
- `awgn = awgn/sqrt(awgnpower)*10^(-sn/20)*sqrt(sigpower);`
- `y = x + awgn;`
- `scf(); histplot(100,y);`
- `rx= 0.5 - 0.5*sign(y);`
- `err = sum(abs(rx-tx));`
- `ber = err / length(tx);`
- `printf('SN =%6.2f BER =%7.4f \n' ,sn, ber)`
- `end;`
- `printf('***** END *****\n\n');`

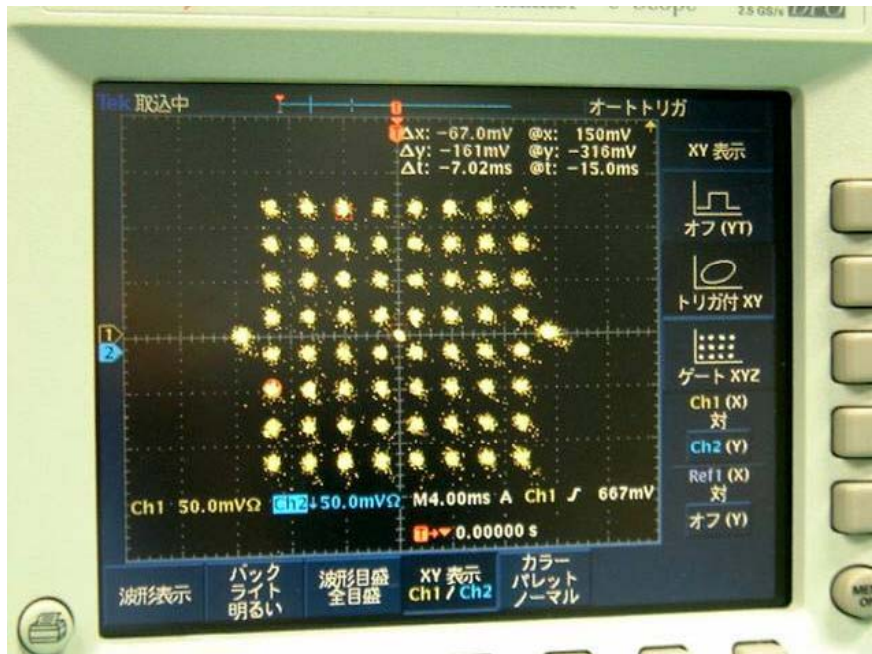


```
***** BPSK Bit error rate simulation *****
SN = 0.00 BER = 0.1567
SN = 1.00 BER = 0.1301
SN = 2.00 BER = 0.1046
SN = 3.00 BER = 0.0796
SN = 4.00 BER = 0.0577
SN = 5.00 BER = 0.0365
SN = 6.00 BER = 0.0228
SN = 7.00 BER = 0.0129
SN = 8.00 BER = 0.0056
SN = 9.00 BER = 0.0023
SN = 10.00 BER = 0.0007
***** END *****
```

コンスタレーション上のノイズ

- これまで振幅でノイズを示しましたが、IQ平面で雑音によりコンスタレーションが広がります。

64QAMの場合



ノイズ小



ノイズ大

HW5

(1) 0,1,2,3の整数の一つを1つのシンボルで送信する。このとき、ASK変調を用いて、その4つの振幅が以下の値とする。

100000シンボルを送信するシミュレーションモデルをSCILABで作成し、SN比を0dBから10dBまで1dB単位で変化させた時の、シンボルエラーの率を求めよ。

- <http://webclass.cc.u-ryukyu.ac.jp/>

$$-\frac{3}{\sqrt{10}}, -\frac{1}{\sqrt{10}}, \frac{1}{\sqrt{10}}, \frac{3}{\sqrt{10}}$$