

通信エラー	はなぜ起こ	る?	(再掲)
-------	-------	----	------

● 周囲からの雑音

◎ 電車や自動車エンジン,送電線,電子レンジや蛍光灯

♀自然界の雑音

- ●他の通信機器からの干渉
- ◎同一の周波数あるいは近傍の周波数を使用している無線機 や設備からの干渉
- ♀電波の物理特性に起因するもの
- ◎ 電波の減衰,反射,回折,マルチパスによる干渉など

#### ● 自装置の雑音

Takahiko Saba

Dept. of Computer Science, C.I.T.

3

# 白色雑音 (white noise)

- Ş
- ・特にその振幅分布が正規分布 (ガウス分布) に従うとき、ガウス雑音 (Gaussian noise) と呼ぶ

o時間関数としては全くランダムな無相関信号

 *N*0/2
 *N*0/2
 *N*0/2
 *N*0/2
 *f*
**b**色雑音の電力スペクトル密度

 **b**色光が広い周波数帯にわたって一様なスペクトルを持つことに由来

# 白色雑音(cont'd)

- ♀ 白色雑音の帯域は無限大であるが、実際には通信路の帯域幅は有限であるし、受信側でも帯域通過フィルタを用いて不要な信号や雑音を除去している.
- ♀したがって、キャリアの中心周波数付近の比較的狭い帯域内でスペクトルが平坦な雑音を白色雑音とみなして取り扱う。

狭帯域(ガウス)雑音 (narrow-band Gaussian noise)

受信信号に対して加法的に作用することから

加法性白色ガウス雑音 (additive white Gaussian noise: AWGN) と呼ばれる

Takahiko Saba

Dept. of Computer Science, C.I.T.

Dept. of Computer Science, C.I.T.

5

# AWGNの電力スペクトル密度



### AWGNの数式表現

5章のおさらい PSK信号 →  $s(t) = A \cos \phi_i \cos(2\pi f_c t) - A \sin \phi_i \sin(2\pi f_c t)$ 

AWGN: 搬送波周波数を中心としたランダムな信号



エルゴード過程 (ergodic process)

信号 *x*(*t*) の時間平均

$$\widetilde{x(t)} = \lim_{T \to \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x(t) dt$$

信号 x(t) の標本値 xn の集合平均



7

# **AWGNの統計的性質**

- $\mathbf{Q} \ \overline{n_i(t)} = \overline{n_q(t)} = 0$
- $\mathbf{Q} \ \overline{n_i(t)n_q(t)} = \overline{n_i(t)} \cdot \overline{n_q(t)} = \mathbf{0}$

$$\mathbf{Q} \ \overline{(n_i(t) - \overline{n_i(t)})^2} = \overline{n_i^2(t)} = \overline{n_q^2(t)} = \sigma^2$$

#### AWGNの平均電力

$$\overline{n^2(t)} = \overline{(n_i(t)\cos\omega_c t - n_q(t)\sin\omega_c t)^2}$$
  
=  $\overline{n_i^2(t)} \cdot \overline{\cos^2\omega_c t} + \overline{n_q^2(t)} \cdot \overline{\sin^2\omega_c t} - 2\overline{n_i(t)n_q(t)} \cdot \overline{\cos\omega_c t}\sin\omega_c t$   
=  $\sigma^2 \cdot \overline{(1/2 + 1/2 \cdot \cos\omega_c t)} + \sigma^2 \cdot \overline{(1/2 + 1/2 \cdot \sin\omega_c t)} = \sigma^2$ 

Takahiko Saba

Dept. of Computer Science, C.I.T.

10

# 信号対雑音電力比(SN比)

信号対雑音電力比(signal-to-noise power ratio: SNR)

#### 信号の電圧を扱う場合

搬送波対雑音電力比(carrier-to-noise power ratio: CNR)

厳密にはSN比とCN比の定義は異なるが、 便宜的にSN比と言ってしまう場合も多い

### 運用しようとする通信システムで,どのくらいのCN比が 要求されるのかを何を目安に判断するか?

Takahiko Saba

Dept. of Computer Science, C.I.T.

# ビット誤り率とシンボル誤り率

♀ビット誤り率 (bit error rate: BER)

- ♀ シンボル誤り率 (symbol error rate: SER)
- ◎ 送信したシンボル数と誤って判定されたシンボル数の比
- - 例) 8PSK: シンボル"000" → シンボル"010" (ビットの誤りは1/3)

12

## CN比とEb/No

搬送波電力 C [W] = シンボルエネルギー Es [W·sec]
 ÷ シンボル時間 Ts [sec] (振幅不変の場合)

雑音電力 N [W] = 雑音電力スペクトル密度No [W/Hz]× 受信フィルタの等価雑音帯域幅 Bn [Hz]

搬送波電力が同一な環境でも多値数が変わると 雑音への耐性も変わるため取り扱いが不便

Dept. of Computer Science, C.I.T.

Takahiko Saba

CN比とEb/No (cont'd)

Eb/No = 10 log10 <u>ビットエネルギー [Joule = W·sec]</u> 雑音電力スペクトル密度 [W/Hz = W·sec]

CN比とEb/Noの関係

$$\frac{C}{N} = \frac{E_s/T_s}{N_0 B_n} = \frac{E_s}{N_0} \frac{1}{B_n T_s} = \frac{kE_b}{N_0} \frac{1}{B_n T_s}$$

 $E_b/N_0 = \text{CNR} - 10\log_{10}k + 10\log_{10}B_nT_s$  [dB]

(k: 1シンボル中のビット数)

#### Takahiko Saba

### AWGNの信号点配置への影響

ランダムデータをQPSKにて2000ビット送信



Takahiko Saba

Dept. of Computer Science, C.I.T.

# 劣化検知限

#### 衛星による各種サービスの劣化検知限

サービス	BER(検知限)	
文字放送	1 × 10 <sup>-8</sup>	
ファクシミリ	1 × 10 <sup>-5</sup>	
ハイビジョン静止画	1 × 10 <sup>-6</sup>	
音声信号	4 × 10 <sup>-6</sup>	
ディジタルテレビ放送	3 × 10 <sup>-9</sup>	

(音声) 「プツッ」というノイズが聞こえ出す (文字放送)文字化け (映像)画面の一部が正方形に乱れる/画面の色が消えて白黒 16

14







オリジナル画像

誤り率=2.3e-02

Takahiko Saba