

デジタル変調方式 (1)

変調の目的

- ベースバンド信号（直流近傍成分を含む低周波数信号）のままでは扱いづらい
 - CD品質のPCMステレオデータ = 約1.4Mbps
 - 公衆回線のPCMデータ（8kHz標準化/8bit μ -Law量子化） = 64kbps
- 変調：伝送すべき情報を保持したまま伝送メディアの特性に最も適した周波数帯へ変換
 - 高周波数に変換することで、小型のアンテナで省電力の伝送が可能（アンテナの大きさは周波数に反比例）
 - 周波数帯域を狭くすること（多値変調）が可能で効率的な伝送を実現

変調 (modulation)

送りたい情報信号よりも高い周波数成分を有する正弦波に情報信号を乗せて伝送する

搬送波 (carrier) 情報信号を用いて搬送波を変化させる

元の情報信号 → 変調信号 (modulating signal)

変化した搬送波 → 被変調信号 (modulated signal)

搬送波 (carrier) の一般形

周波数 f [Hz] の正弦波

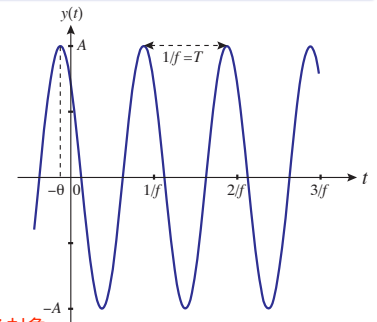
$$y(t) = A \cos(2\pi f t + \theta)$$

信号の三大要素

振幅 (amplitude): A

周波数 (frequency): f

位相 (phase): θ



変調信号で変化を与える対象

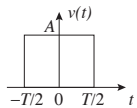
振幅変調(ASK)/周波数変調(FSK)/位相変調(PSK)

搬送波のスペクトル

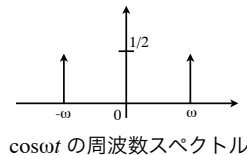
搬送波は単なる正弦波 (周波数成分は ω のみ)

↓ 変調すると

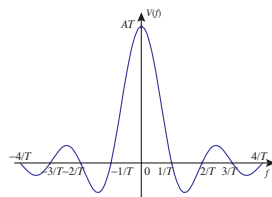
振幅・周波数・位相などがビット時間 T ごとに変化するため、 ω 以外の周波数成分が必ず発生する



1ビット矩形パルス

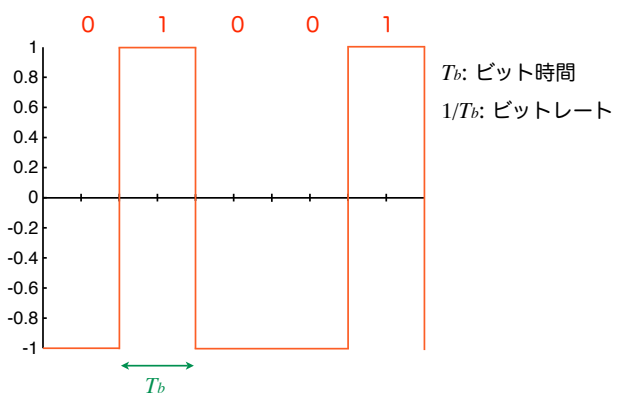


$\cos \omega t$ の周波数スペクトル



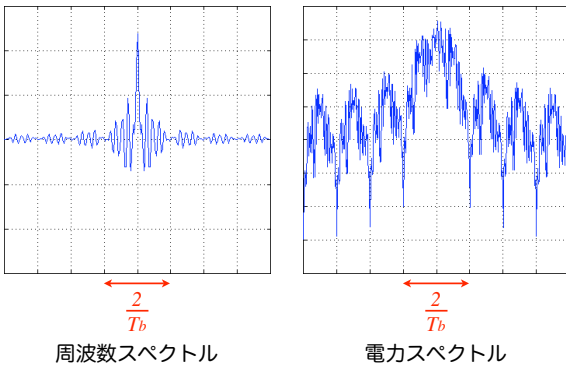
矩形パルスの周波数スペクトル密度

変調信号 (ベースバンド信号)



ベースバンド信号のスペクトル

7



Takahiko Saba

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

デジタルの振幅変調 (ASK)

8

情報符号 "1", "0" に対して二つの振幅キーを定め、与えられた搬送波に変調をかける方式

振幅シフトキーイング
(Amplitude Shift Keying)

$$s_0(t) = A_0 \cos(2\pi f_c t) \quad \text{符号 "0" のとき}$$

$$s_1(t) = A_1 \cos(2\pi f_c t) \quad \text{符号 "1" のとき}$$

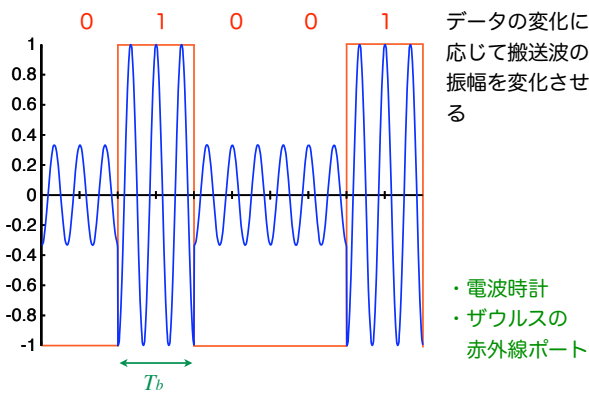
$$-\frac{T_b}{2} \leq t \leq \frac{T_b}{2}$$

Takahiko Saba

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

ASK (Amplitude Shift Keying)

9

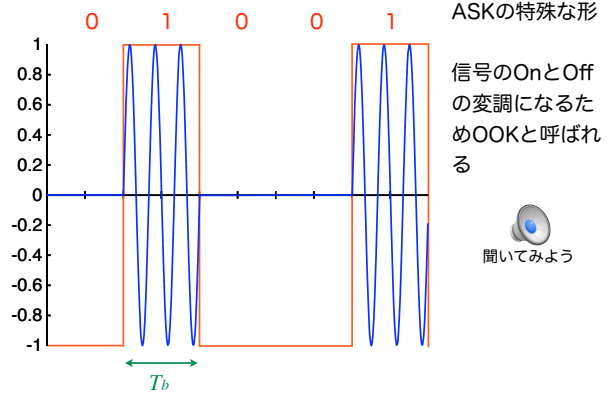


Takahiko Saba

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

OOK (On-Off Keying)

10



Takahiko Saba

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

デジタルの周波数変調 (FSK)

11

情報符号 "1", "0" に対して搬送波周波数 f_c をはさんで対称な二つの周波数キー f_1, f_0 を割り当て変調をかける方式

周波数シフトキーイング
(Frequency Shift Keying)

$$s_0(t) = A \cos(2\pi f_0 t) \quad \text{符号 "0" のとき}$$

$$s_1(t) = A \cos(2\pi f_1 t) \quad \text{符号 "1" のとき}$$

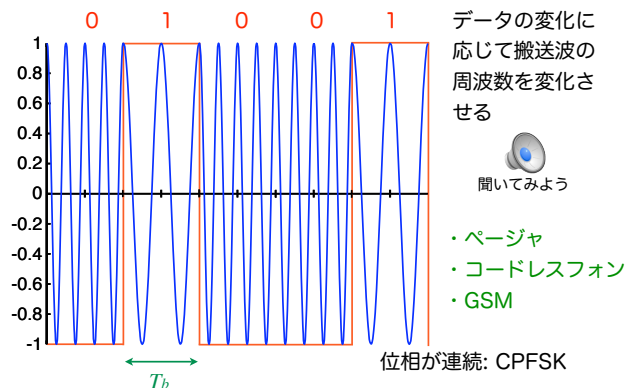
$$-\frac{T_b}{2} \leq t \leq \frac{T_b}{2} \quad \begin{aligned} f_0 &= f_c - \Delta f \\ f_1 &= f_c + \Delta f \end{aligned}$$

Takahiko Saba

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

FSK (Frequency Shift Keying)

12



Takahiko Saba

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

デジタルの位相変調

13

情報符号 "1", "0" に対して二つの位相キーを定め、与えられた搬送波に変調をかける方式

位相シフトキーイング
(Phase Shift Keying)

$$s_0(t) = A \cos(2\pi f_c t + \pi) \quad \text{符号 "0" のとき}$$

$$= -A \cos(2\pi f_c t)$$

$$s_1(t) = A \cos(2\pi f_c t) \quad \text{符号 "1" のとき}$$

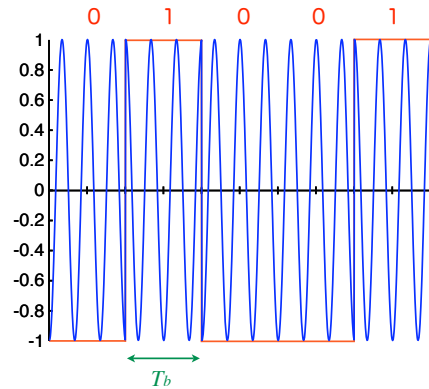
$$-\frac{T_b}{2} \leq t \leq \frac{T_b}{2}$$

Takahiko Saba

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

PSK (Phase Shift Keying)

14



データの変化に応じて搬送波の位相を変化させる



聞いてみよう

最も幅広く利用
・携帯電話/ PHS
・CS放送
・BSデジタル

Takahiko Saba

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

多値変調方式

15

1ビットのデジタル情報を、振幅/周波数/位相の異なる2種類の波形を使って伝送

○ 2値 (binary) 変調方式 (バイナリASK, バイナリFSK, バイナリPSK)

複数の振幅, 周波数, 位相状態を用いれば, 一度に複数(k)ビットを伝送可能

○ 多値/M値 (M-ary) 変調方式 (一般に $M = 2^k$)

○ 同じ伝送帯域幅の場合は k 倍の伝送速度

○ 同じ伝送速度の場合は伝送帯域幅が $1/k$

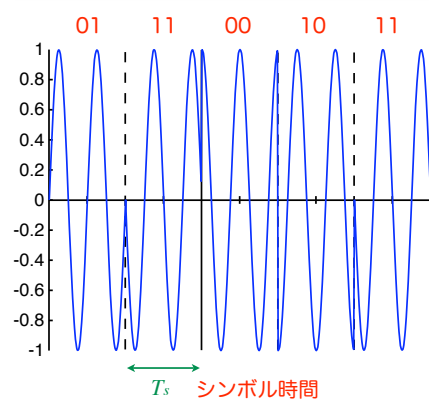
注) -ary : ~に関するもの, ~に属するもの
diction : 言葉遣い, 語法 -> dictionary
bin- : 二, 両 -> binary

Takahiko Saba

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

QPSK (4PSK)

16



情報2ビットに対し 2^2 通りの位相状態を割り当てる

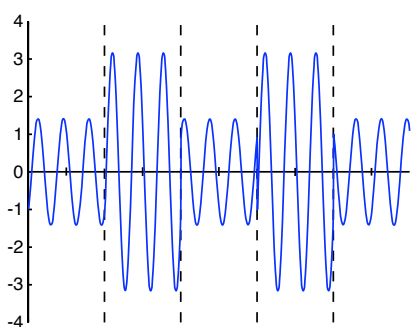
情報の単位, ビットに対して変調の状態の単位をシンボルと呼ぶ

Takahiko Saba

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

直交振幅変調 (QAM)

17



Quadrature Amplitude Modulation (QAM)

情報 k ビットに対し 2^k 通りの位相と振幅の状態を割り当てる
APSKともいう

・ ADSL モデム
・ 地上波デジタルTV
・ 無線LAN

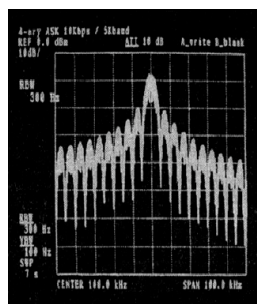
注) 厳密にはQAMはAPSKの特殊な形である

Takahiko Saba

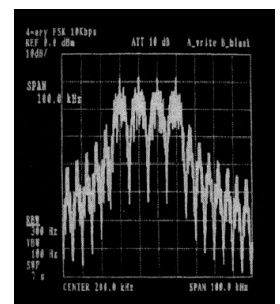
Dept. of Computer Science, C.I.T. 

ASK/FSK信号の電力スペクトル

18



4ASK (10 kbps)



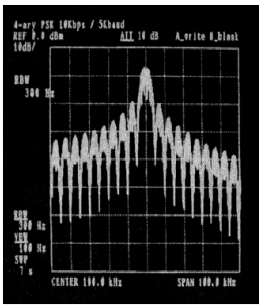
4FSK (10 kbps)

Takahiko Saba

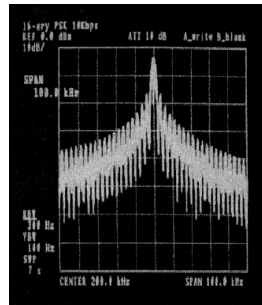
Dept. of Computer Science, C.I.T. 

PSK信号の電力スペクトル

19



QPSK (10 kbps)
(5 symbol/sec)



16PSK (10 kbps)
(2.5 symbol/sec)

変調の分類

20

🎯 ベースバンド信号のスペクトルを搬送波周波数帯域へ移動

- 🎯 スペクトルの形を保持 ➡ 線形変調
- 🎯 スペクトルの形が変化 ➡ 非線形変調

線形変調は？ ➡ ASK, PSK, QAM
(信号の包絡線が変動する変調)

非線形変調は？ ➡ FSK
(信号の包絡線が変動しない変調)

デジタル変調に関わる問題

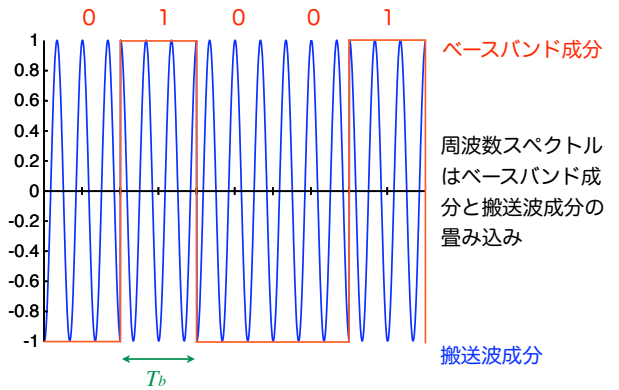
21

🎯 矩形パルス波形の帯域は無量大

- 鋭角に変化する信号は多くの周波数成分を含む (フーリエ級数)
- 隣接する周波数帯域を使う他のシステムに影響を与えないように帯域制限 (フィルタリング) が必要
 - 波形の鋭角な部分を鈍らせる
- フィルタの設計には注意を要する (シンボル間干渉)

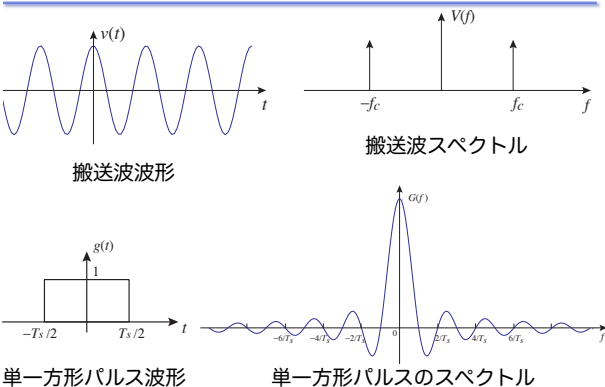
PSK (Phase Shift Keying)

22



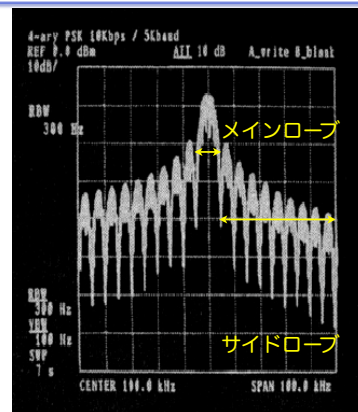
帯域制限と符号間干渉

23



PSK信号の電力スペクトル

24

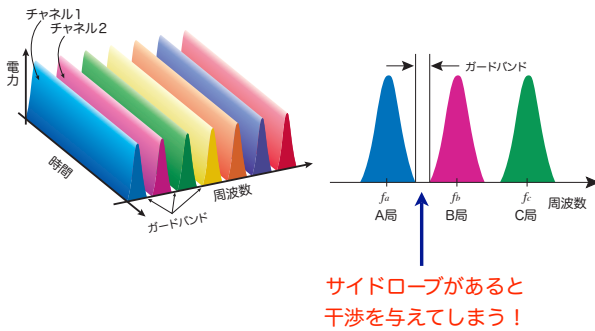


鋭角に変化する信号に現れる

周波数分割多元接続 (FDMA)

25

Frequency Division Multiple Access (FDMA)



Takahiko Saba

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

帯域制限の影響

26

🎧 ベースバンド信号が無限の帯域をもつため、PSK信号も無限の帯域をもつ

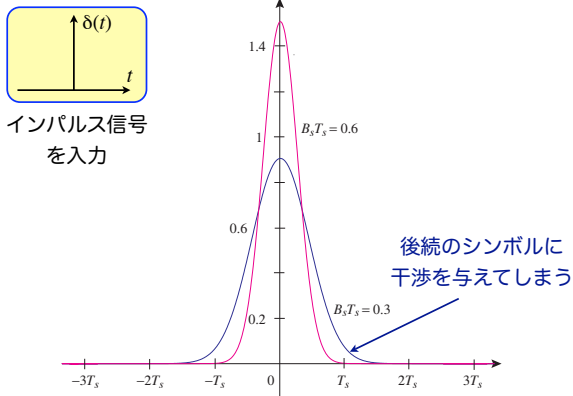
- 🎧 帯域制限 (フィルタリング) が必要
- 🎧 帯域制限によって符号間干渉が起こる
- 🎧 通常は余弦ロールオフフィルタの使用

Takahiko Saba

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

ガウスフィルタのインパルス応答

27

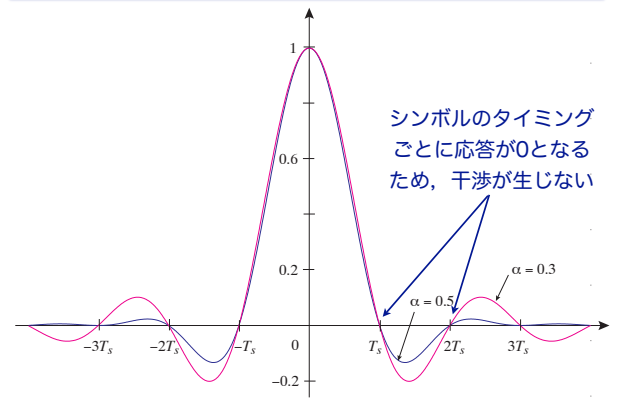


Takahiko Saba

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

ロールオフフィルタのインパルス応答

28

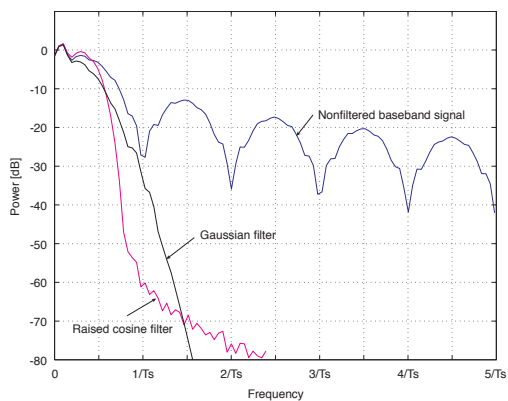


Takahiko Saba

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

フィルタリング後の電力スペクトル

29

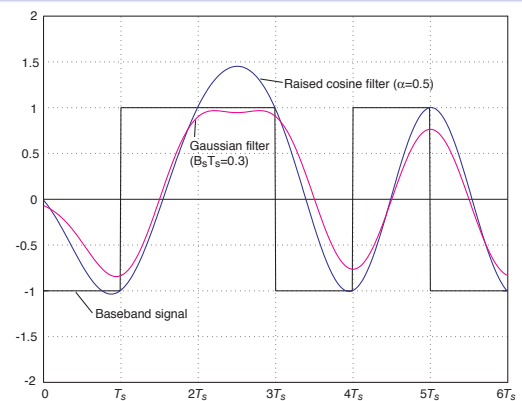


Takahiko Saba

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

フィルタリング波形

30

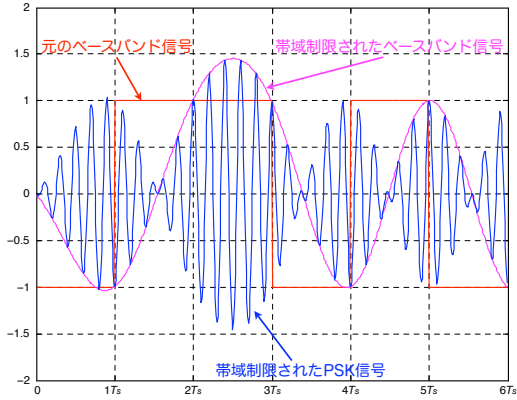


Takahiko Saba

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

帯域制限されたPSK信号

31

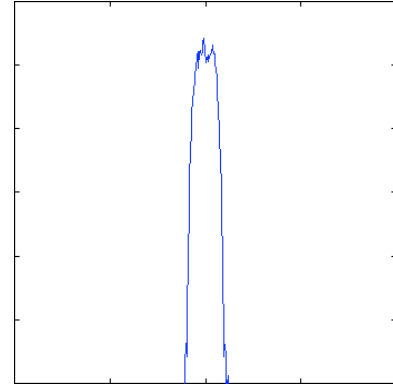


Takahiko Saba

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

フィルタリング後のPSKスペクトル

32



Takahiko Saba

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

変調の分類

33

👤 ベースバンド信号のスペクトルを搬送波周波数帯域へ移動

👤 スペクトルの形を保持 ➡ 線形変調

👤 スペクトルの形が変化 ➡ 非線形変調

線形変調は？ ➡ ASK, PSK, QAM 近年主流
(信号の包絡線が変動する変調)

非線形変調は？ ➡ FSK
(信号の包絡線が変動しない変調)

Takahiko Saba

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