

デジタル信号処理 (XI)

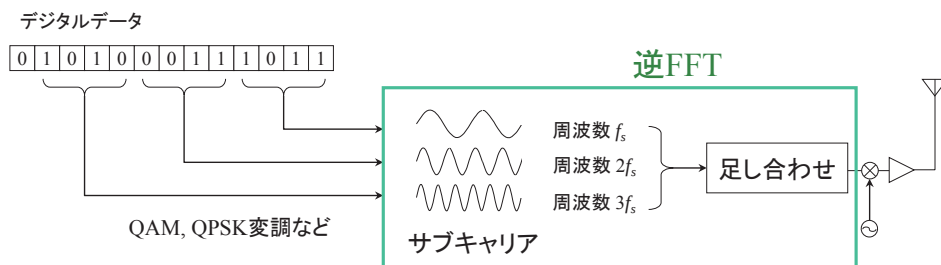
学術国際情報センター
山口雅浩

OFDM と FFT

• OFDM

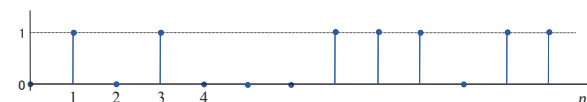
- Orthogonal Frequency Division Multiplexing
- 直交周波数分割多重方式
- 地上デジタルテレビジョン放送
- 無線LAN (IEEE802.11a/g)
- ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line)

変調の基本的な仕組み

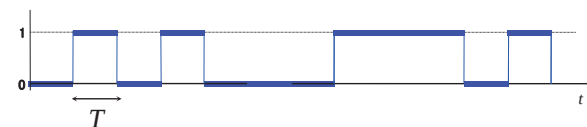


参考: ASK 変調 (Amplitude Shift Keying)

ビット列

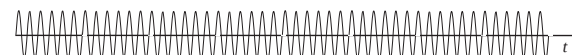


ベースバンド信号

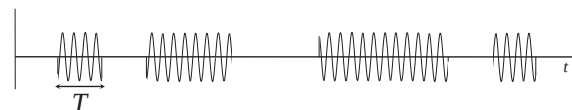


キャリア信号

周波数 $f_c = \omega_c / 2\pi$



変調信号



$$T = \frac{1}{\text{ビットレート}}$$

サンプリングされた
ビット列

$$x_s(t) = \sum x_n \delta(t - nT)$$

← 間隔 T でサンプリングされた信号

ベースバンド信号

$$x_b(t) = x_s(t) * p(t/T)$$

← 幅 T の矩形関数 $p(t)$ のたたみ込み

変調信号

$$x_m(t) = \{ x_s(t) * p(t) \} \cos \omega_c t$$

変調信号のフーリエ変換

$$X(\omega) = X_s(\omega) \text{sinc}(\omega T / 2\pi) * \{ \pi [\delta(\omega - \omega_c) + \delta(\omega + \omega_c)] \}$$

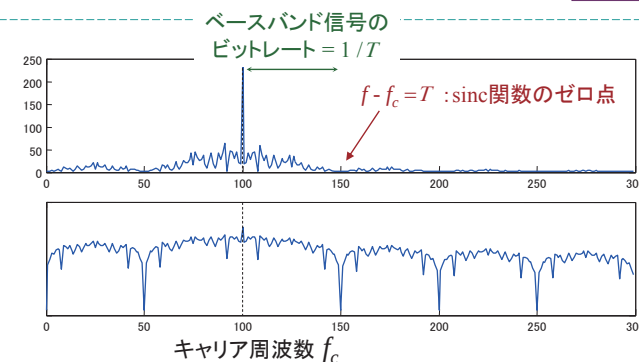
$$X_+(\omega) = \pi X_s(\omega - \omega_c) \text{sinc}\{ T(\omega - \omega_c) / 2\pi \}$$

$$X_+(f) = (1/2) X_s(f - f_c) \text{sinc}\{ T(f - f_c) \}$$

$X_s(f)$
周期 $1/T$ の周期関数

変調信号の
フーリエスペクトル

変調信号の
フーリエスペクトル
対数表示

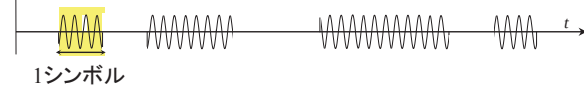


QAM (Quadrature Amplitude Modulation)

直交振幅変調

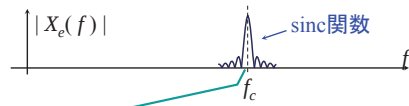
- ASK: 1シンボル=1ビット
- QAM: 1シンボル=Kビット

変調信号



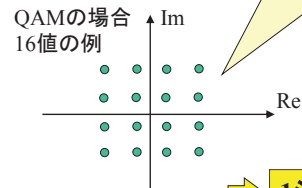
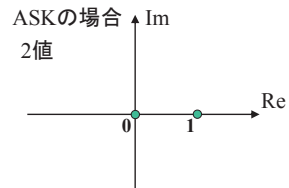
- 1 シンボル分のフーリエ変換

$$x_e(t) = p(t) \cos \omega_c t \longrightarrow X_e(f) = 1/2 [\text{sinc}\{(f-f_c)T\} + \text{sinc}\{(f+f_c)T\}]$$



$X_e(f_c)$ を複素平面で考える

$X_e(f_c)$ を複素平面で考える



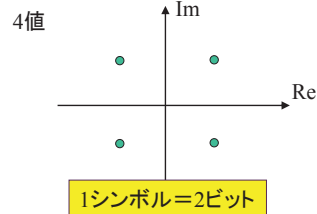
時間波形でみると、周波数 f_c の正弦波の振幅と位相を制御することに対応

1シンボル=4ビット

多値変調の場合

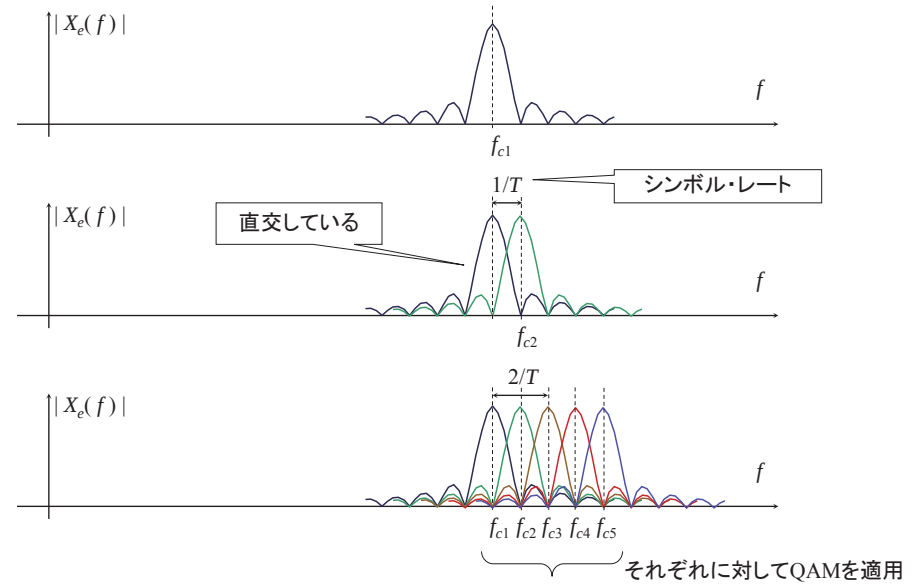
ビットレート $\neq$ シンボルレート
シンボルレート = $1/T$

QPSK (Quadrature Phase Shift Keying)



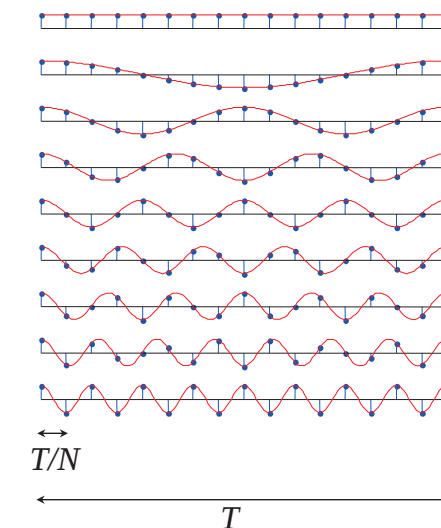
OFDM

- 周波数方向に多重化

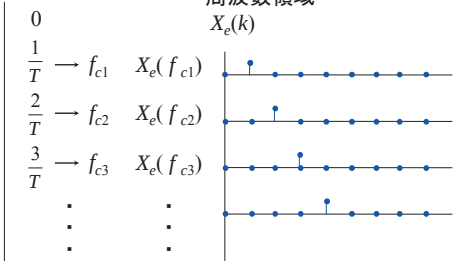


逆離散フーリエ変換 (IDFT)

時間領域
 $x_e(n)$

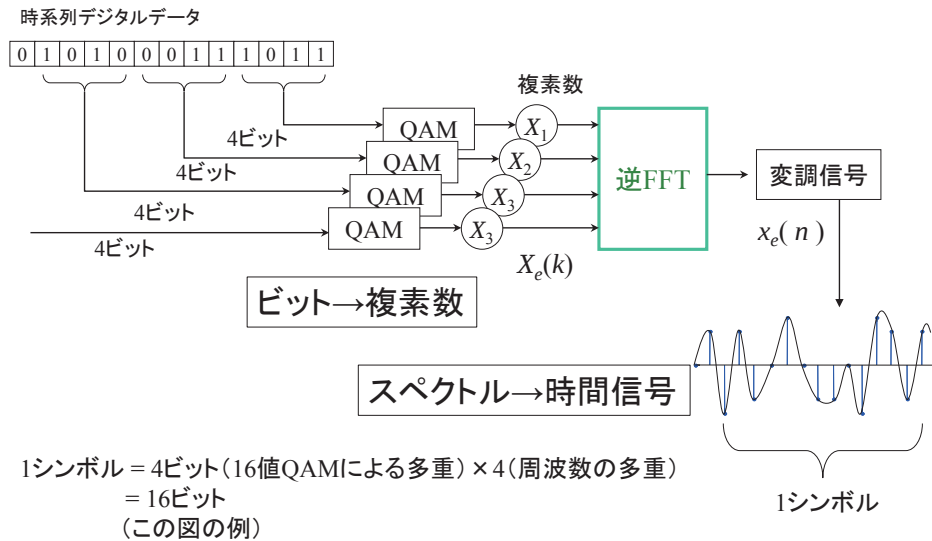


N点IDFT
周波数

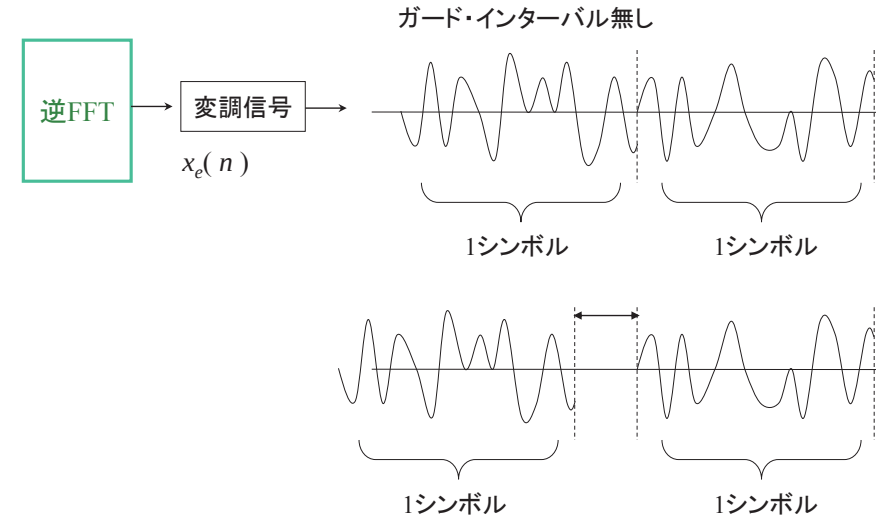


↑
それぞれに対してQAMを適用

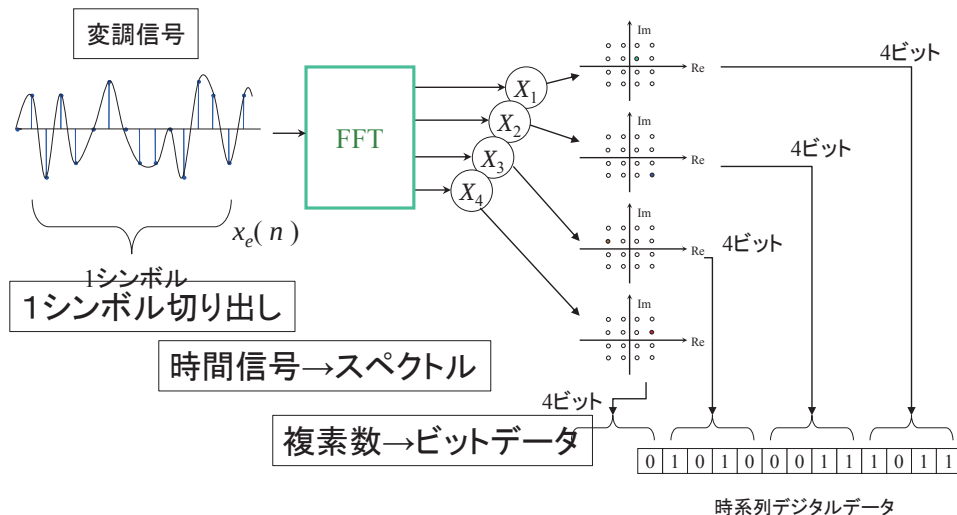
IFFTを用いたOFDM変調



ガード・インターバル



FFTを用いたOFDM復調



OFDMの特徴

- シンボルレートは低いが高速伝送が可能。
- シンボル長が長いため、マルチパス妨害など伝送路歪みの影響を受けにくい。
- ガードインターバルを設けることによってマルチパス妨害の影響をさらに低減できる。
- FFTを利用して送信機・受信機を効率的に実装できる。

地上デジタルテレビジョン放送

- ビットレート 最大23.234Mbps
- 帯域幅: 5.6MHz
- 1セグメントのキャリア数: 108, 216, 432
- 総キャリア数(13セグメント): 1405, 2809, 5617
- 変調方式: QPSK、16 QAM、64 QAM
p/4-DQPSK (説明略)
- シンボル長: 252 μ s, 504 μ s, 1.008ms
- ガードインターバル比(説明略): 1/4, 1/8, 1/16, 1/32

地上デジタル放送の場合

