

# 情報通信システム概論

第9回  
～パルス変調～

2020-11-14

情報システム工学科  
福田 浩



# ゴールイメージ

- ・ 情報制御手法としてパルス幅変調(Pulse Width Modulation: PWM)を説明できる
- ・ 情報通信手法としてパルス符号変調(Pulse Code Modulation: PCM)を説明できる





# 目次

- ・ 変調方式ラインナップ
  - ・ パルス変調
  - ・ パルス幅変調(Pulse Width Modulation: PWM)
  - ・ パルス符号変調(Pulse Code Modulation: PCM)
- 
- ・ 第7回演習問題の解説



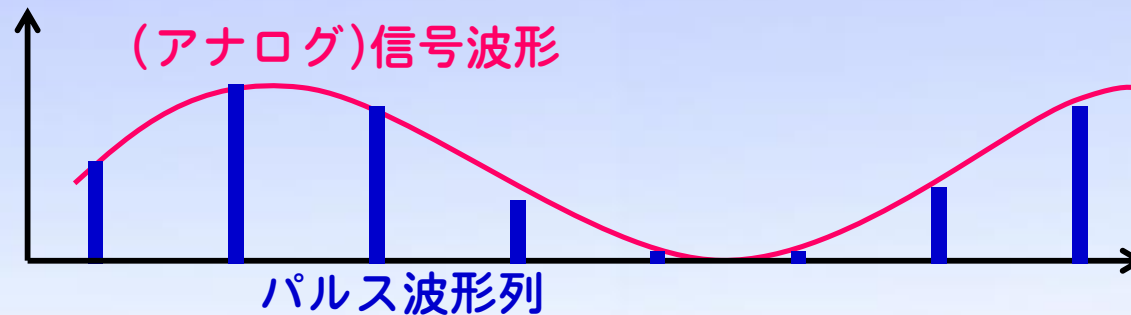
# 変調方式ラインナップ

	振幅	周波数	位相
第6回 講義	アナログ 振幅変調 Amplitude Modulation AM	周波数変調 Frequency Modulation FM	位相変調 Phase Modulation PM
第7回 講義	デジタル 振幅偏移変調 Amplitude Shift Keying ASK	周波数偏移変調 Frequency Shift Keying FSK	位相偏移変調 Phase Shift Keying PSK
第8回 講義	上記の比較，特長		
第9回 講義	パルス パルス振幅変調 Pulse Amplitude Modulation PAM	パルス幅変調 Pulse Width Modulation PWM	パルス位置変調 Pulse Position Modulation PPM
			パルス符号変調 Pulse Code Modulation PCM

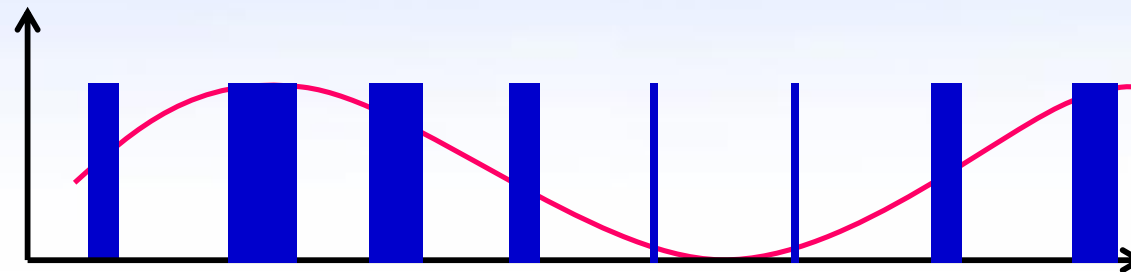
# PAM, PWM, PPMの比較

PAMはパルスの振幅を変調, PWMはパルスの幅を変調, PPMはパルスの(時間方向の)位置を変調

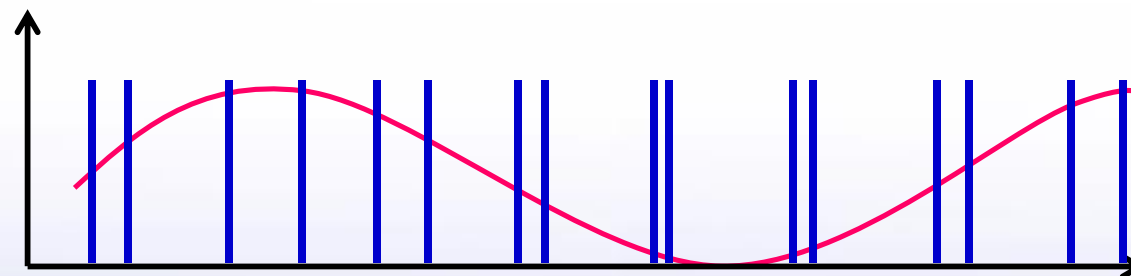
Pulse  
Amplitude  
Modulation



Pulse  
Width  
Modulation



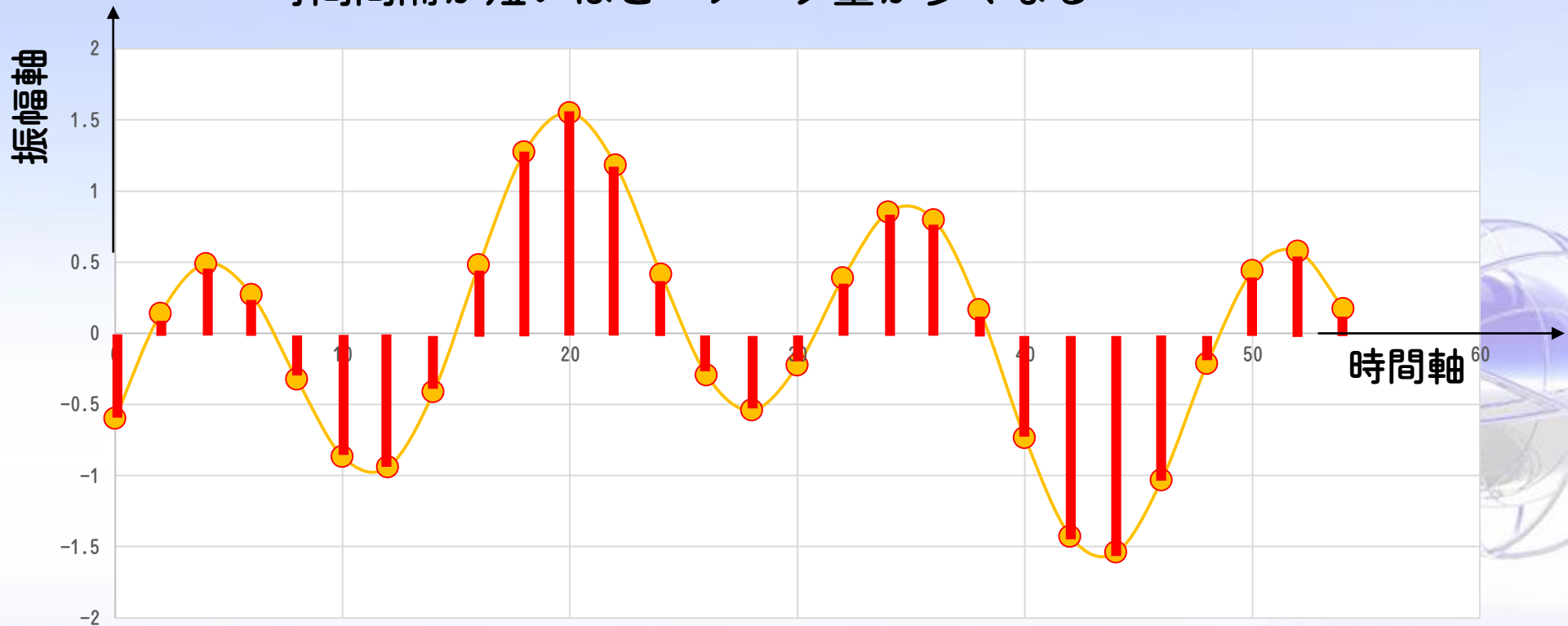
Pulse  
Position  
Modulation



# 標本化 (sampling)

アナログ信号を一定時間間隔で測定し、離散信号として収集すること

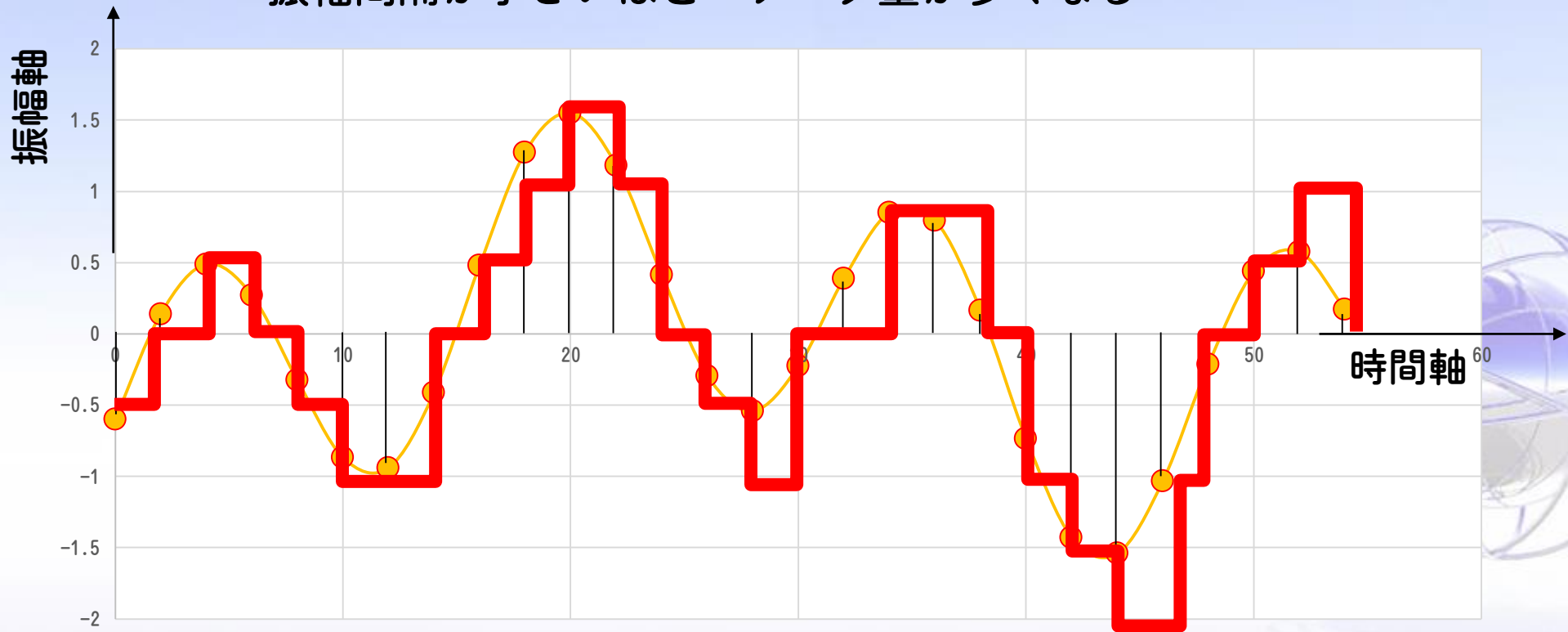
- 時間間隔が短いほど アナログ信号を忠実に再現できる
- × 時間間隔が短いほど データ量が多くなる



# 量子化 (quantization)

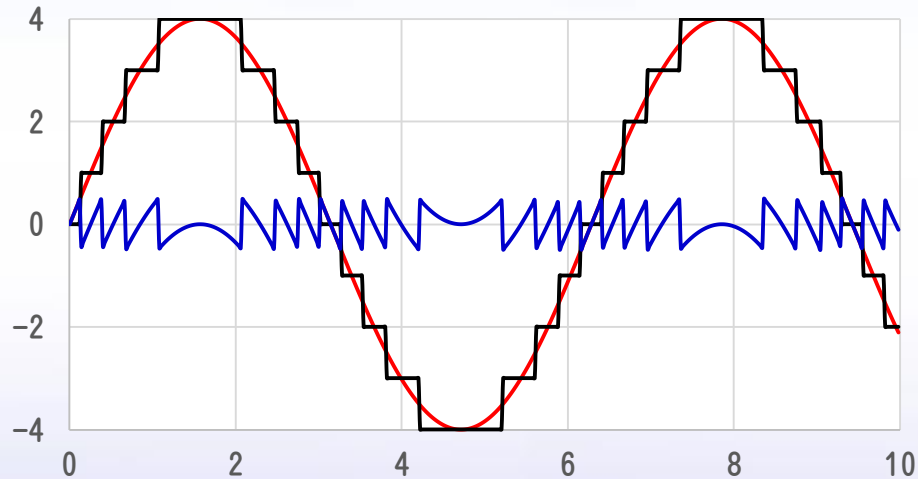
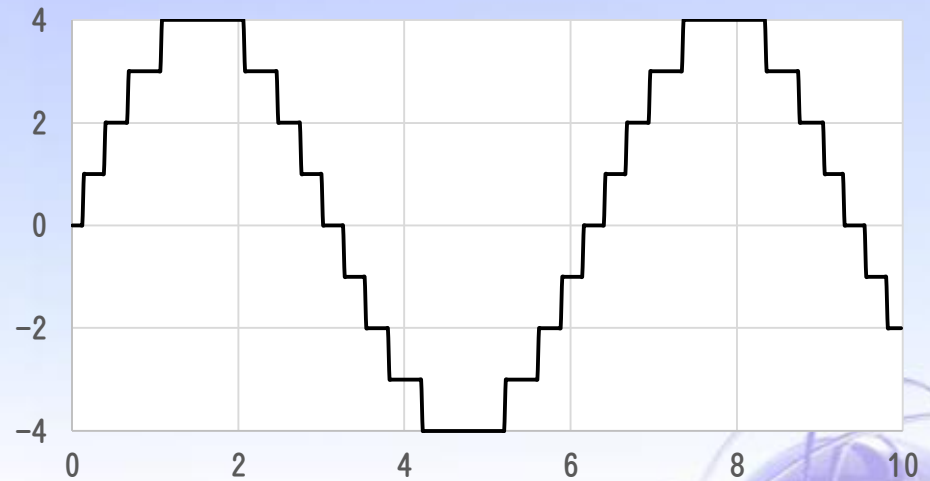
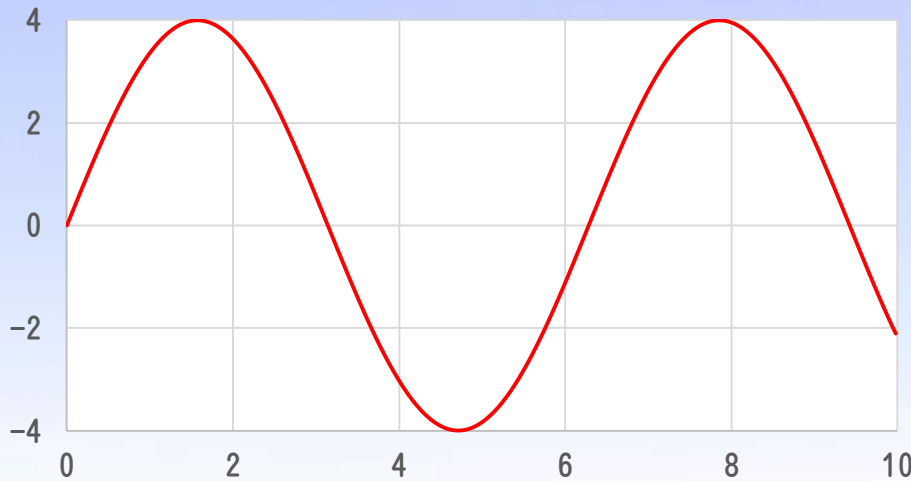
振幅の大きさを離散的な値で**近似的**に表すこと

- 振幅間隔が小さいほど アナログ信号を忠実に再現できる
- × 振幅間隔が小さいほど データ量が多くなる



# 量子化誤差

量子化により必ず量子化誤差が発生する



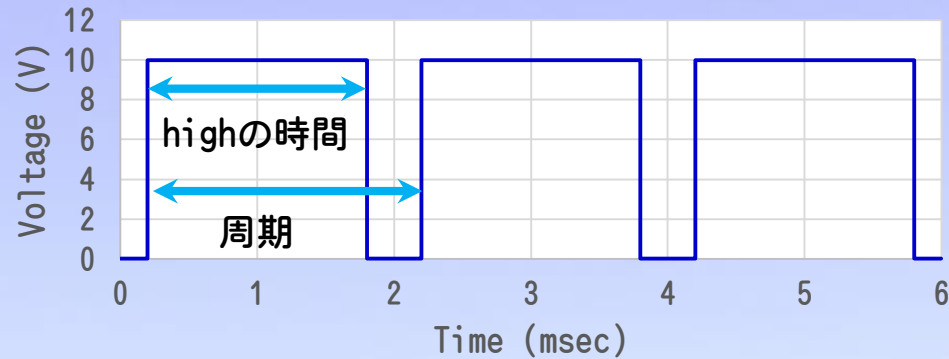




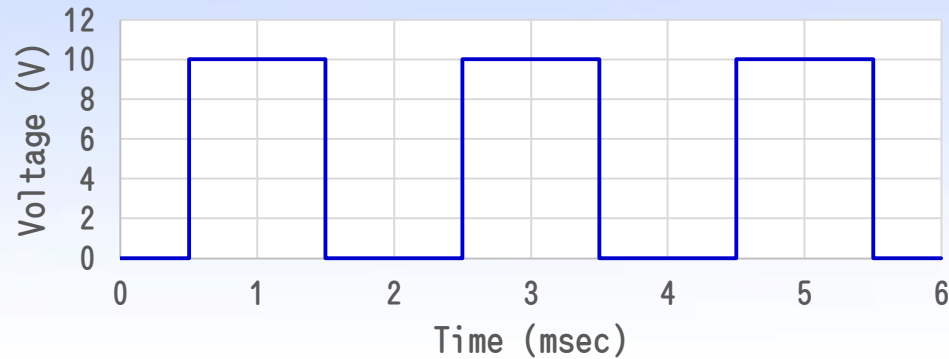
# 量子化雑音の体感実験



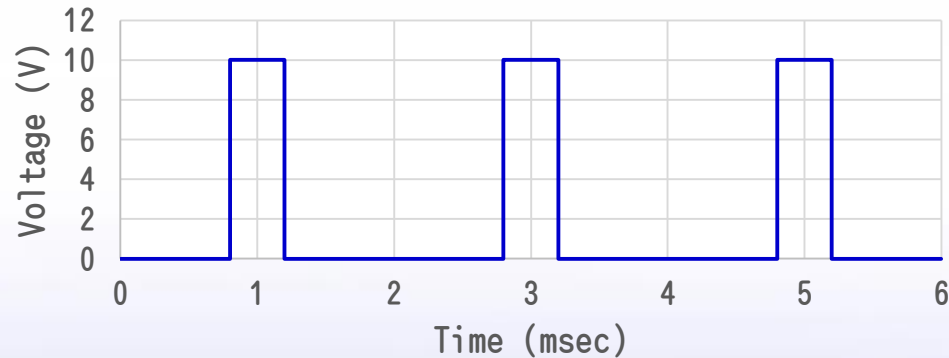
# Duty比



duty比 0.8



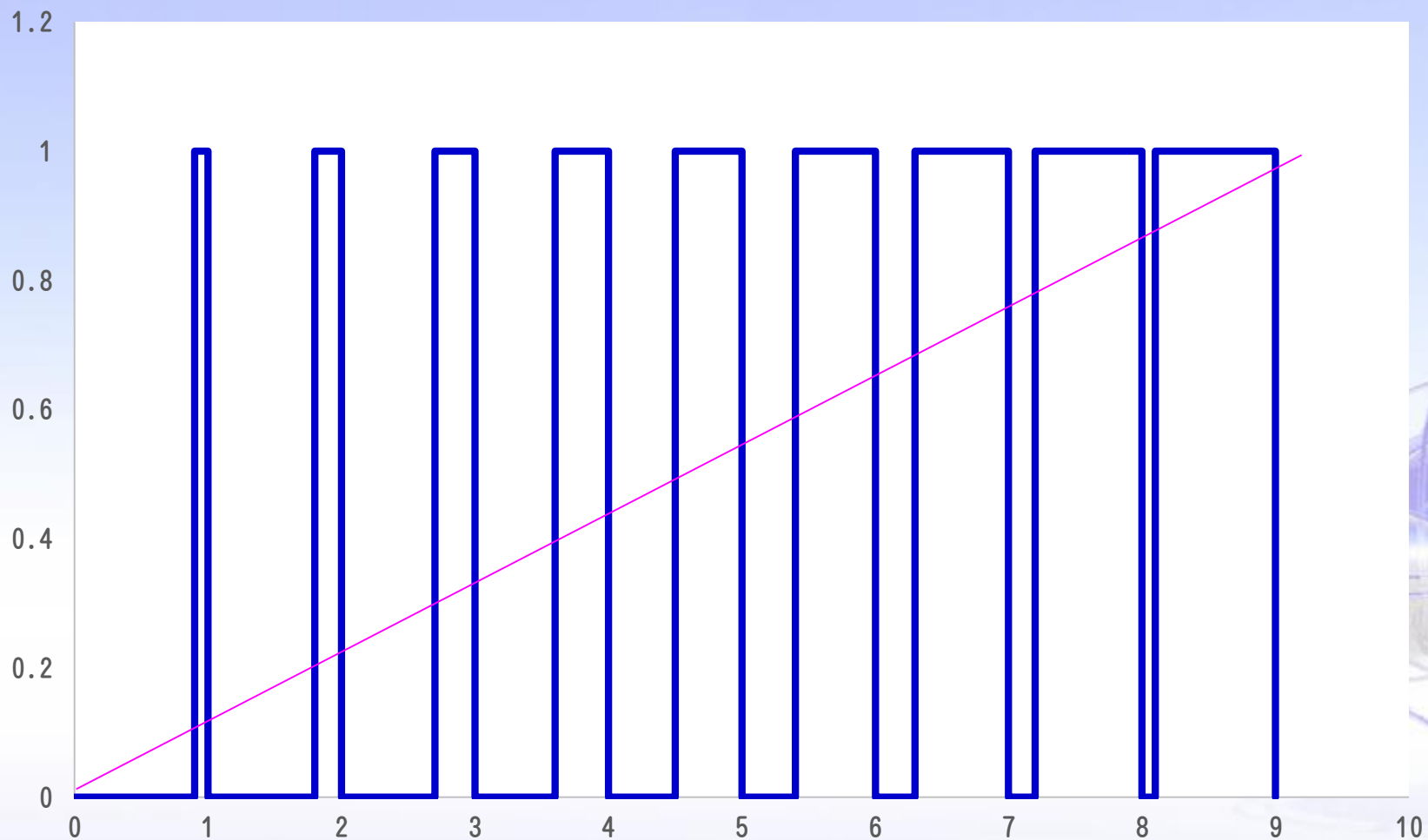
duty比 0.5



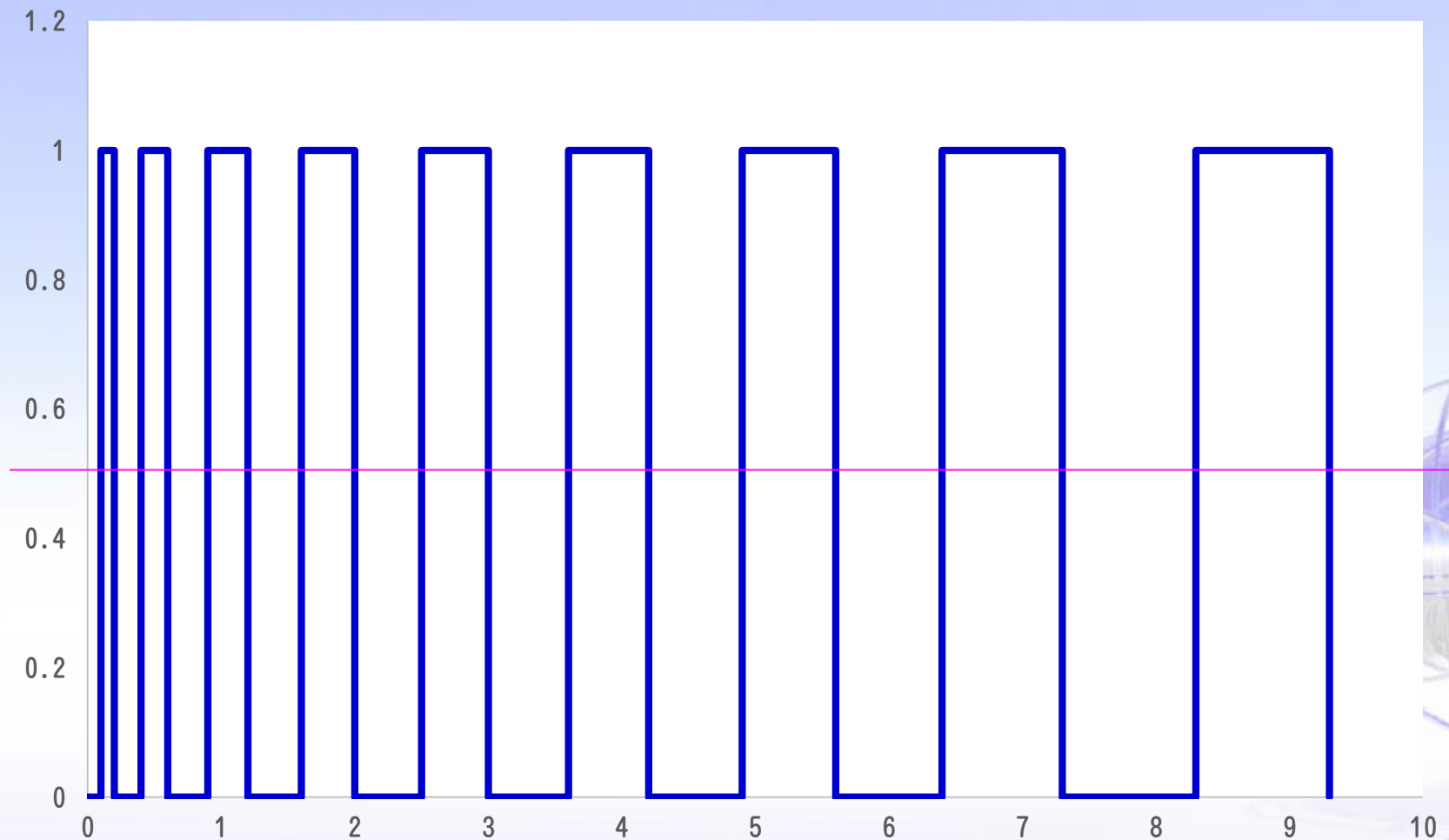
duty比 0.2

$$\frac{\text{Highの時間}}{\text{周期}}$$

# 周期一定・デューティ比可変



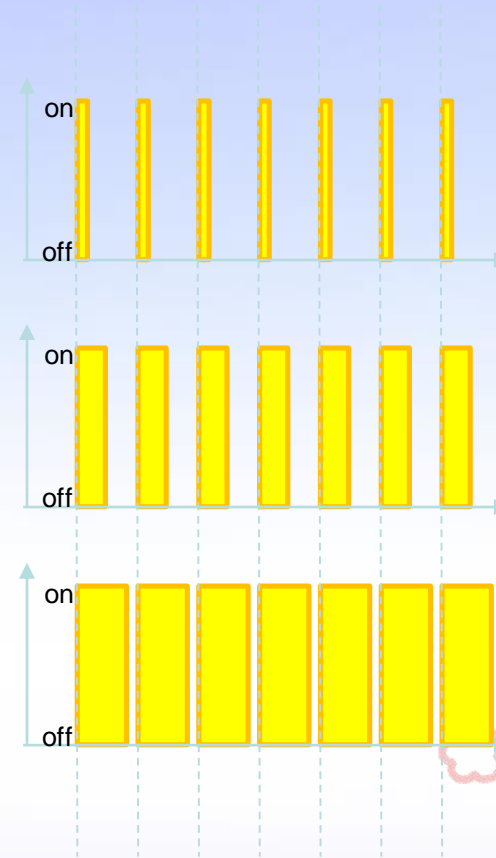
# 周期可変・デューティ比一定



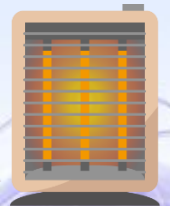
# 身近なPWM

PWMは情報処理・制御分野で広く使われている

- ・ 自動温度調整機能が無く，onとoffしか出来ないヒータで温度調節するときは，ヒータをつけたり，消したりするはず
- ・ 少しつけて，長く消すと，少し暖かくなる
- ・ 長くつけて，少し消すと，かなり暖かくなるはず
- ・ 「時間幅」で実効的な暖かさを決めている



少し暖かくなる



かなり暖かくなる



PWMはシステム応答時間より十分に短い時間幅で制御する必要がある

- ・ LED調光の例

- LEDの応答時間は100 ns程度，人間の目の応答時間は50 ms程度であり，「つける」，「消す」の時間タイミングを調整するだけで，人間の目をごまかして，明るさ調整が可能

- ・ ヒータの例

- 1分つけて，3分消すと，デューティ比25%で，少し暖かい状態をキープできるが
- 10分つけて，30分消すと，同じくデューティ比25%ではあるが，30分の間に温度が下がりきって寒くなってしまう（部屋の断熱性能に依存するが…）

# PWMの特徴(特長)

## メリット

- ・ デジタル制御が可能で、デジタル機器に適している
- ・ 0～100%までリニアに変えられる
  - (例えばLED調光の場合、)電流制御だと10%以下点灯は、電流が微小過ぎて制御困難
  - 電流と明るさが比例していないので、絶対値の輝度調整が困難
  - PWMであれば、明るさと電力が比例

## デメリット

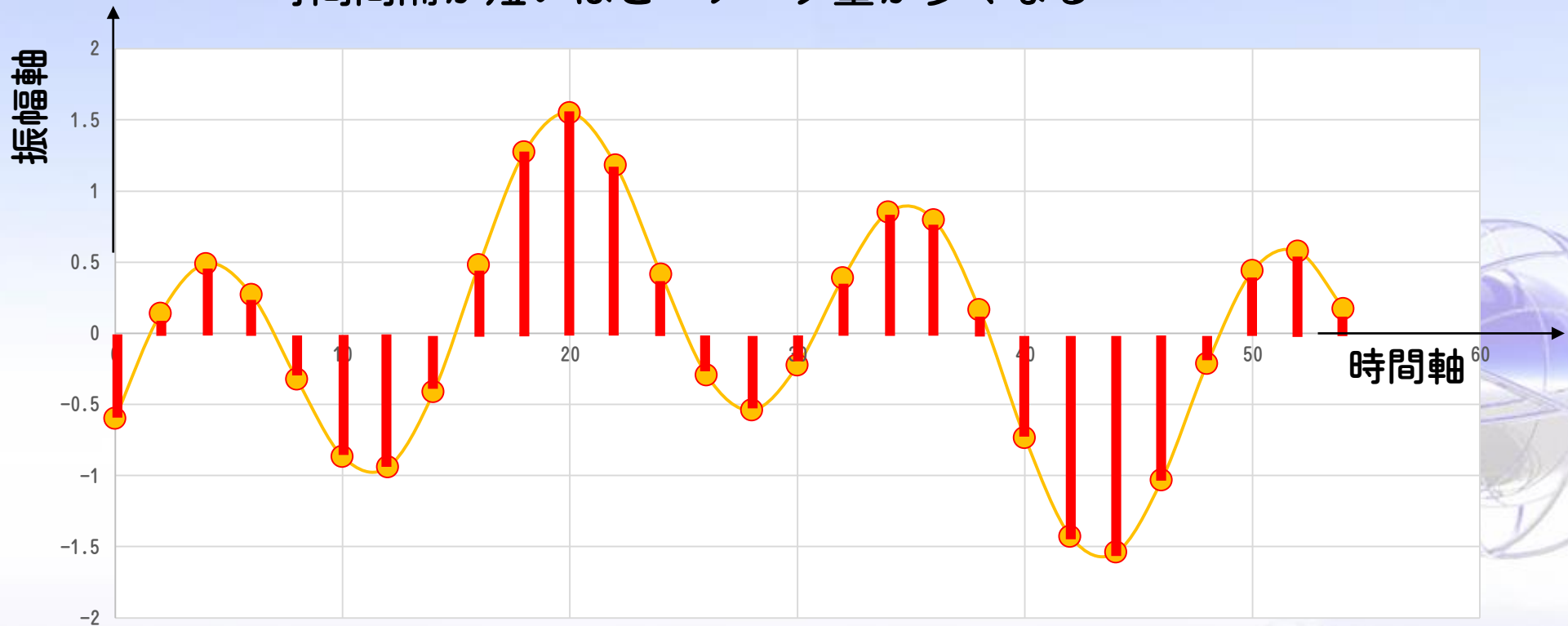
- ・ 高速なサイクル制御が必要で、プロセッサのリソースを消費

オールデジタルであれば電流制御よりもPWMの方が回路がシンプル  
色調調整：各色(RGB)の明るさの輝度あわせ(初期設定)  
輝度調整：全体の輝度のコントロール

# 標本化 (sampling)

アナログ信号を一定時間間隔で測定し、離散信号として収集すること

- 時間間隔が短いほど アナログ信号を忠実に再現できる
- × 時間間隔が短いほど データ量が多くなる

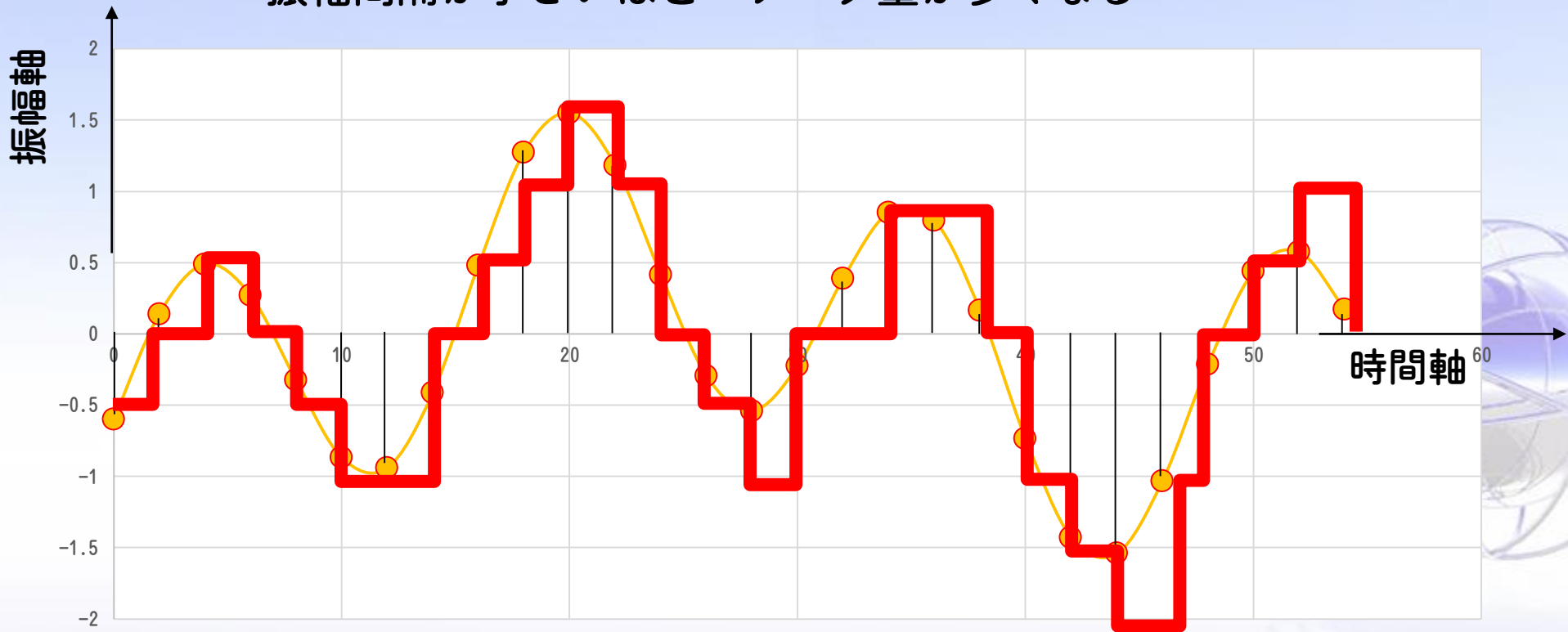




# 量子化 (quantization)

振幅の大きさを離散的な値で**近似的**に表すこと

- 振幅間隔が小さいほど アナログ信号を忠実に再現できる
- × 振幅間隔が小さいほど データ量が多くなる



# 符号化 (encoding)

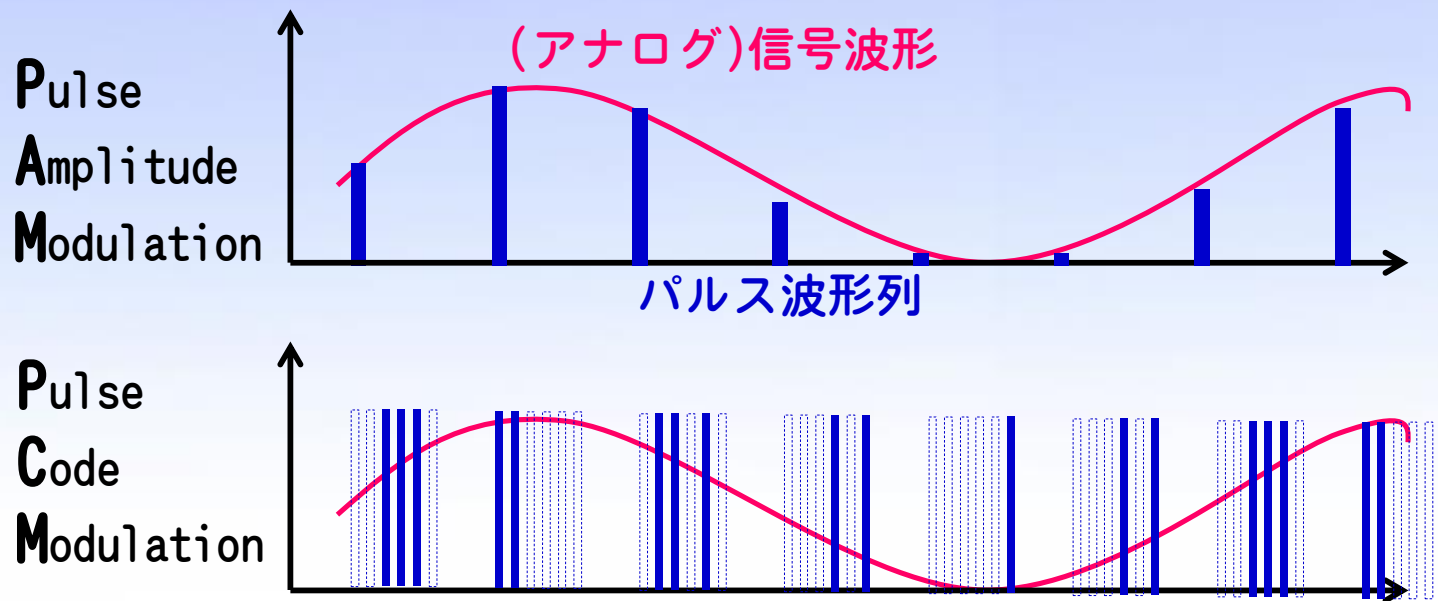
デジタル信号に特定の方法で、後に元の(あるいは近似)信号に戻せるような変換を加えること

	自然2進数	折り返し2進数
0	000	000
1	001	001
2	010	011
3	011	010
4	100	110
5	101	111
6	110	101
7	111	100

折り返し2進数：  
隣り合う階調でのビット  
反転を最小化し、デバイ  
スの消費電力を削減

# PAMとPCMの比較

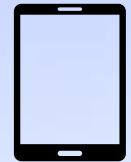
PCMは信号を符号化し、パルス列に符号を転写して変調



# PCMの利用シーン

PCMは情報通信，情報処理で音声データを中心に広く使われている

情報通信：有線電話の音声信号はPCMデータ（携帯電話からの音声信号も，アンテナから有線区間に入ればPCMデータに変換される）



情報処理：Windows標準の音声データである.wavファイルはPCMデータ





# まとめ

PAMはパルスの振幅を変調，PWMはパルスの幅を変調，PPMはパルスの（時間方向の）位置を変調

パルス変調は，ディジタル変調同様に標本化，量子化，符号化の手続きが必要となる

量子化により必ず量子化誤差が発生する

PWMは情報処理・制御分野で広く使われている

PWMはシステム応答時間より十分に短い時間幅で制御する必要がある

PCMは信号を符号化し，パルス列に符号を転写して変調

PCMは情報通信，情報処理で音声データを中心に広く使われている

## 第7回情報通信システム概論演習問題

- ・ 振幅変調信号を復調する際，乗算する発振器からの波形が位相誤差 $\theta$ を持っているとする．即ち，

$$e_d = A\{1 + s(t)\} \cos(\omega_c t) \cos(\omega_c t + \theta)$$

であるとき，復調される信号の振幅は，位相誤差が無いときの振幅  $\frac{A}{2}$  の何倍になるか．計算式とともに示せ．

## 数式を解く前に

- ・ 「振幅変調信号を復調する際、乗算する発振器からの波形が位相**誤差** $\theta$ を持っている」ということは良いことなのか、悪いことなのか？
- ・ **悪い**ことだとしたら、どんな影響として現れるのか？
- ・ 振幅がどう変わるのか？大きくなるのか？小さくなるのか？一定なのか？
- ・ 出てきた答えの $\theta$ にゼロを代入する(位相誤差が無いときを考える)と、どうなるのが正しいのか？



## 復調時の位相誤差の影響に関する計算

$$\begin{aligned}e_d &= A\{1 + s(t)\} \cos(\omega_c t) \cos(\omega_c t + \theta) \\&= A\{1 + s(t)\} \cos(\omega_c t) \{\cos(\omega_c t) \cos(\theta) - \sin(\omega_c t) \sin(\theta)\} \\&= A\{1 + s(t)\} \{\cos^2(\omega_c t) \cos(\theta) - \cos(\omega_c t) \sin(\omega_c t) \sin(\theta)\} \\&= A\{1 + s(t)\} \left\{ \frac{\cos(2\omega_c t) + 1}{2} \cos(\theta) - \frac{\sin(2\omega_c t)}{2} \sin(\theta) \right\} \\&= A\{1 + s(t)\} \left\{ \frac{\cancel{\cos(2\omega_c t)} + 1}{2} \cos(\theta) - \frac{\cancel{\sin(2\omega_c t)}}{2} \sin(\theta) \right\} \\&= A\{1 + s(t)\} \left\{ \frac{1}{2} \cos(\theta) \right\}\end{aligned}$$

$$\frac{A\{1 + s(t)\}}{2}$$

$\cos(\theta)$  倍

これの何倍か



# 答えの確認

