

コンピュータ科学III

担当：武田敦志 <takeda@cs.tohoku-gakuin.ac.jp>

<http://takeda.cs.tohoku-gakuin.ac.jp/>

コンピュータの基本(1)

■ 現実世界とコンピュータ

● 現実世界

すべての情報はアナログ

⇒ アナログでないと現実世界では意味が無い

● コンピュータ

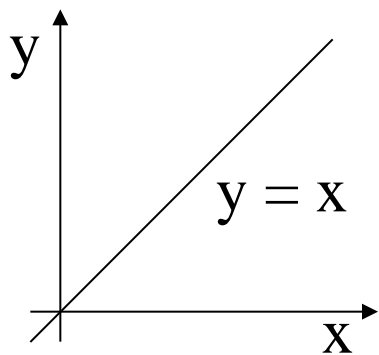
すべての情報はデジタル (整数値)

⇒ デジタルでないとコンピュータでは扱えない

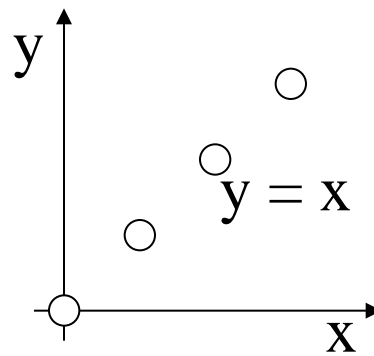
コンピュータの基本(2)

■ アナログとデジタル

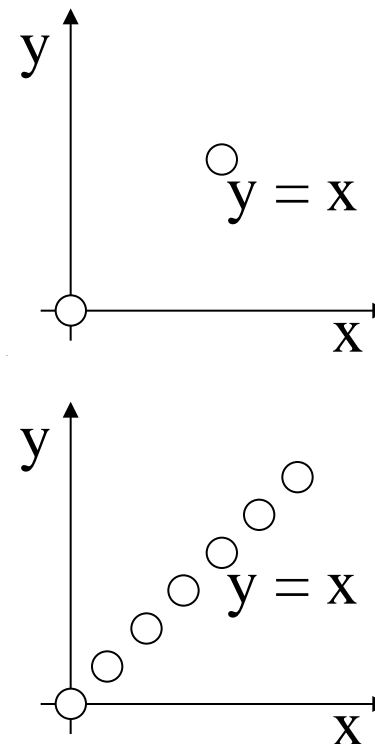
- アナログ情報： 連続値の情報
- デジタル情報： 離散値の情報



アナログ



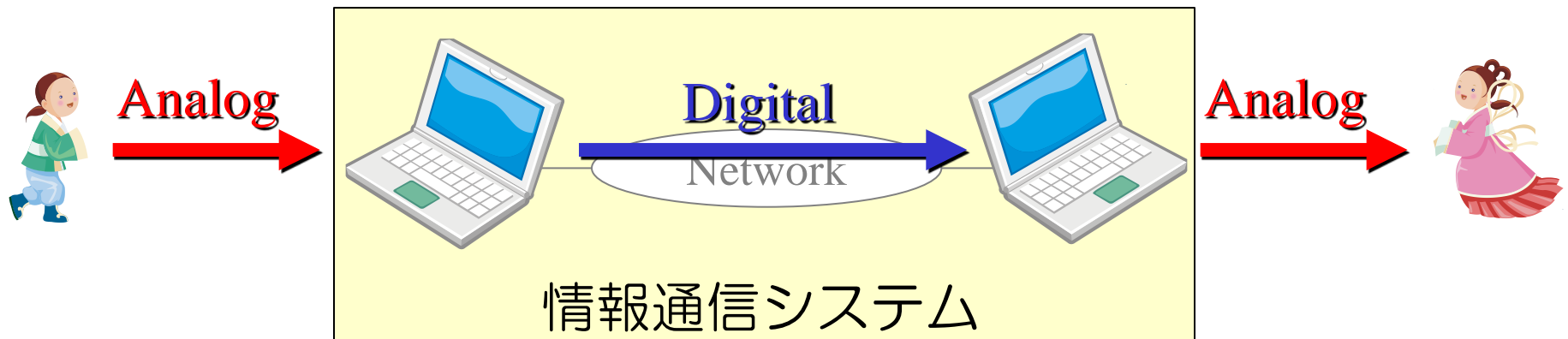
デジタル



コンピュータの基本(3)

■情報通信システム

- 入力時にアナログからデジタルに変換する
すべてを整数値で表現する
- 出力時にデジタルからアナログに変換する
整数値で表現されたデータをアナログ信号に変換する



情報通信の基本(1)

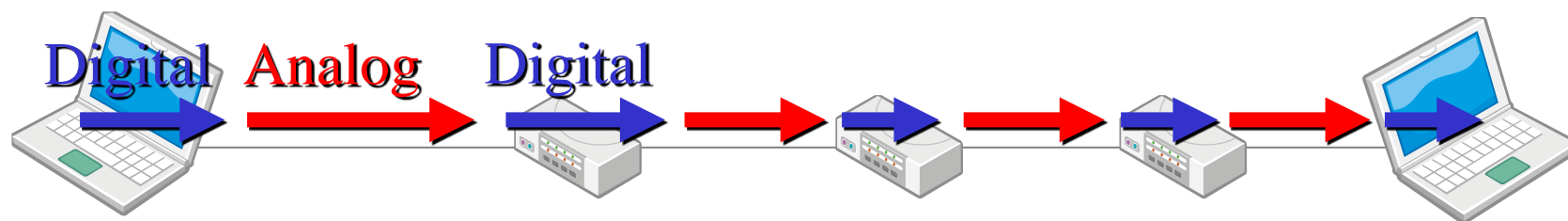
■情報通信に必要な技術

アナログな現象を利用してデジタルな情報を伝える技術

現実世界を介して通信する ⇒ 物理現象はアナログ



↓ 実際は . . .



情報通信の基本(2)

■ 基本的な通信方式

- 物質を介して電位を伝搬させる



左側の電圧を上げる

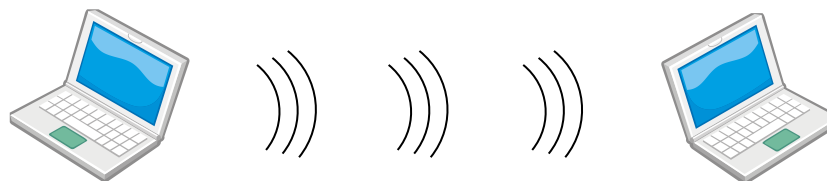
左側の電圧を下げる



右側の電圧も上がる

右側の電圧も下がる

- 空間を介して電磁波（光）を伝搬させる

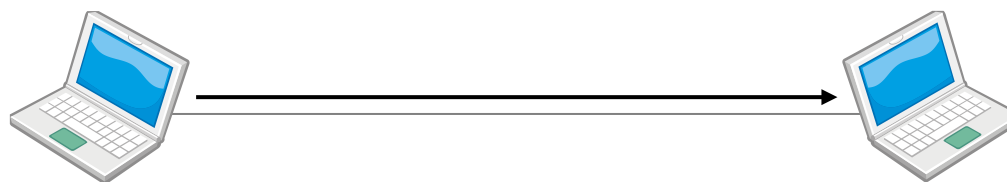


ベースバンド方式(1)

■NRZ方式 (Non Return Zero)

デジタル符号の値によって電圧を決定する

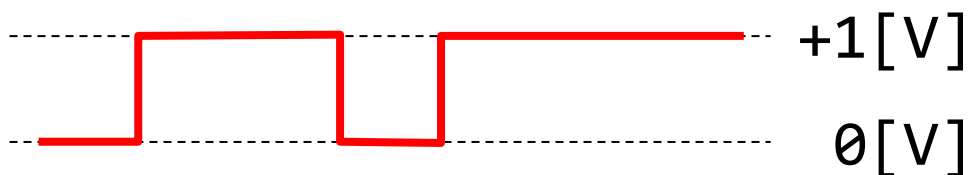
- 符号『1』のとき：電圧が高い状態にする
- 符号『0』のとき：電圧が低い状態にする



デジタル符号

0 1 1 0 1 1 1

アナログ信号
(電圧)



ベースバンド方式(2)

■RZ方式 (Return Zero)

デジタル符号の値によって電圧を決定する

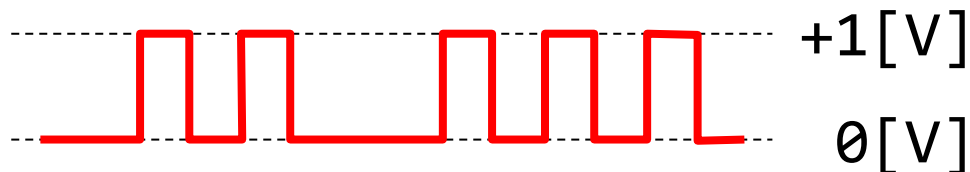
ただし、毎回『0』の状態に戻す



デジタル符号

0 1 1 0 1 1 1

アナログ信号
(電圧)

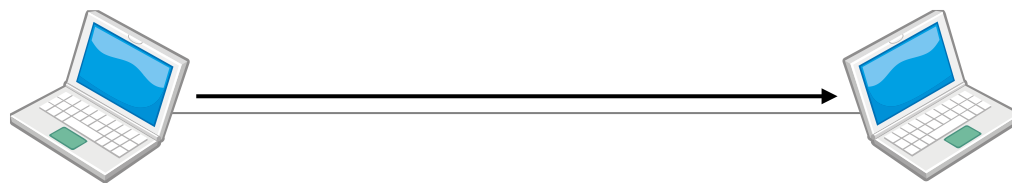


ベースバンド方式(3)

■マンチェスタ方式

デジタル符号の値によって電圧を変化させる

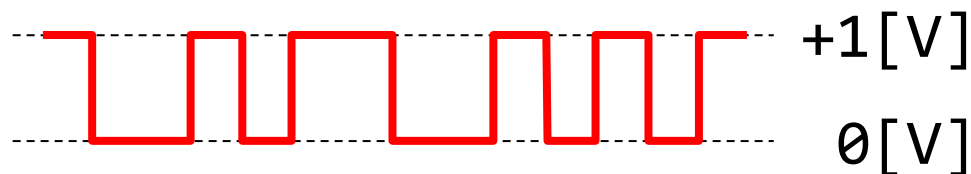
- 符号『1』のとき：電圧を『低い⇒高い』とする
- 符号『0』のとき：電圧を『高い⇒低い』とする



デジタル符号

0 1 1 0 1 1 1

アナログ信号
(電圧)

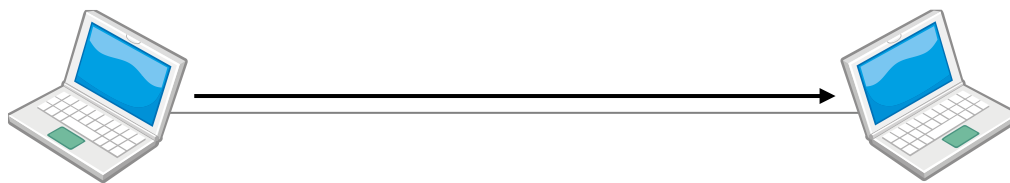


ベースバンド方式(4)

■2bit以上を同時に送る

電圧の状態を4個以上に分ける

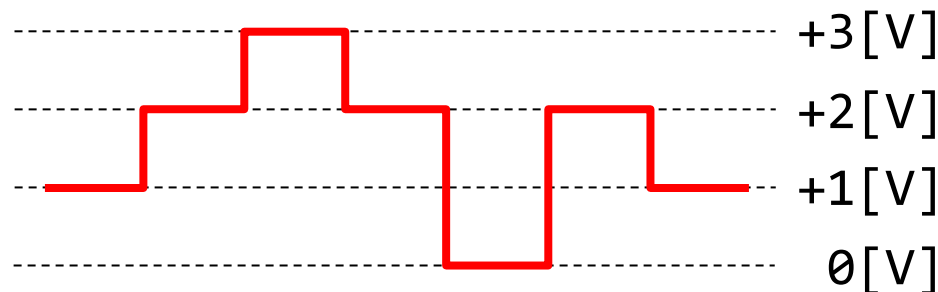
- 符号『00』 : 0[V]
- 符号『01』 : +1[V]
- 符号『10』 : +2[V]
- 符号『11』 : +3[V]



デジタル符号

01 10 11 10 00 10 01

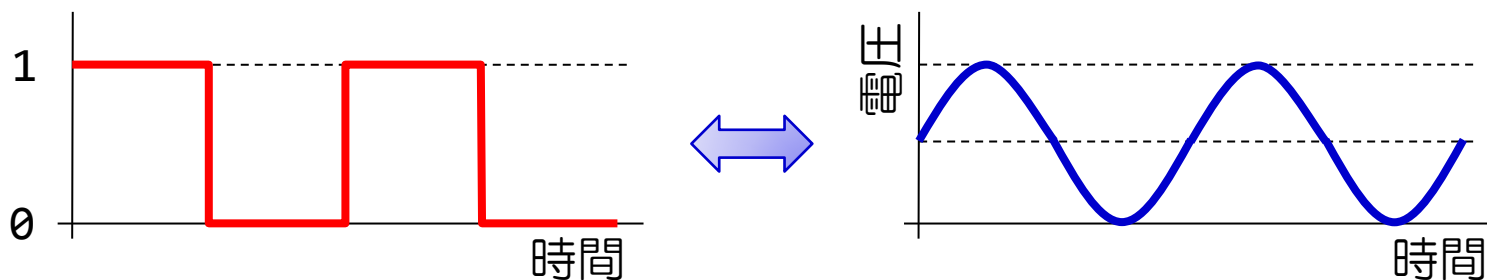
アナログ信号
(電圧)



帯域伝送方式(1)

■帯域変調方式

デジタル符号を正弦波に乗せて伝送する

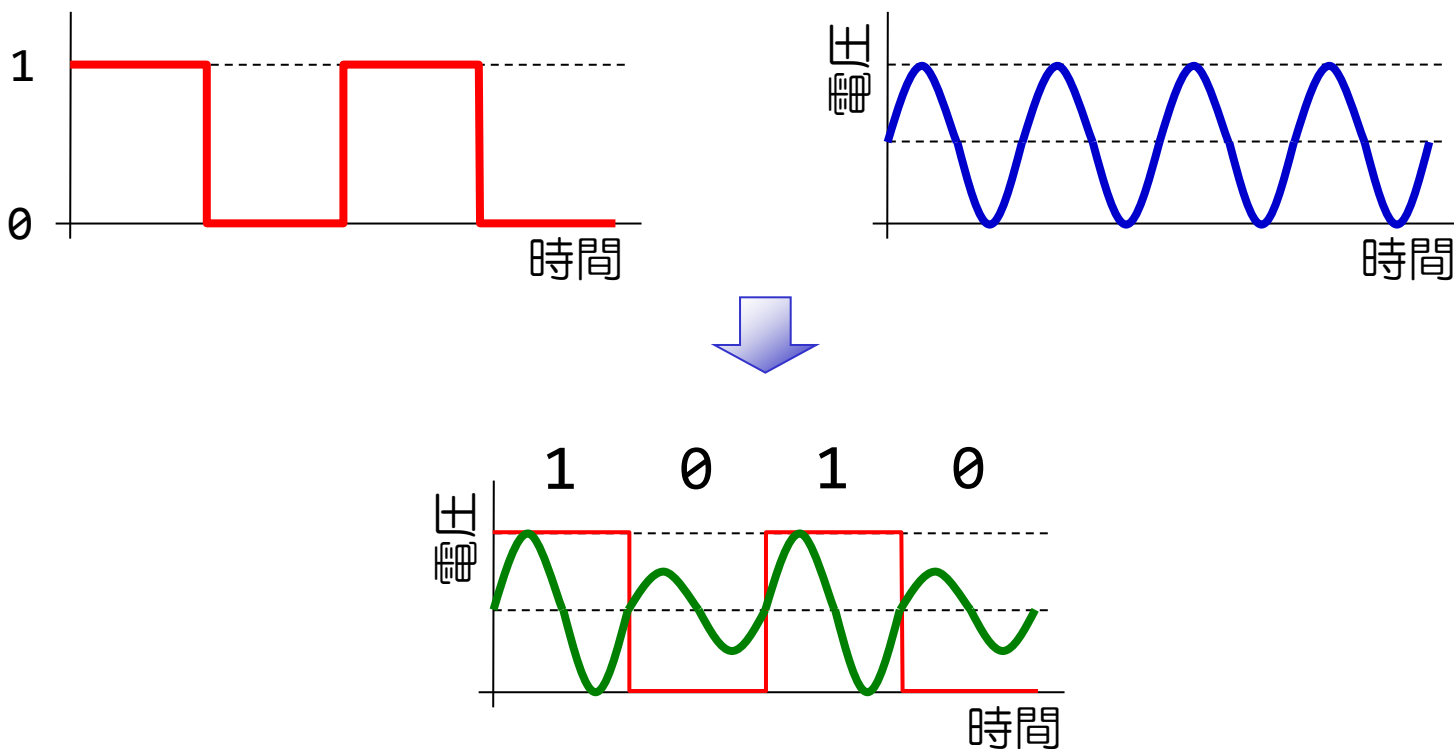


- 長距離通信が可能
- 他のデータ通信に『乗せる』ことができる
- 信号を多重化する方法が多い

帯域伝送方式(2)

■AM変調方式

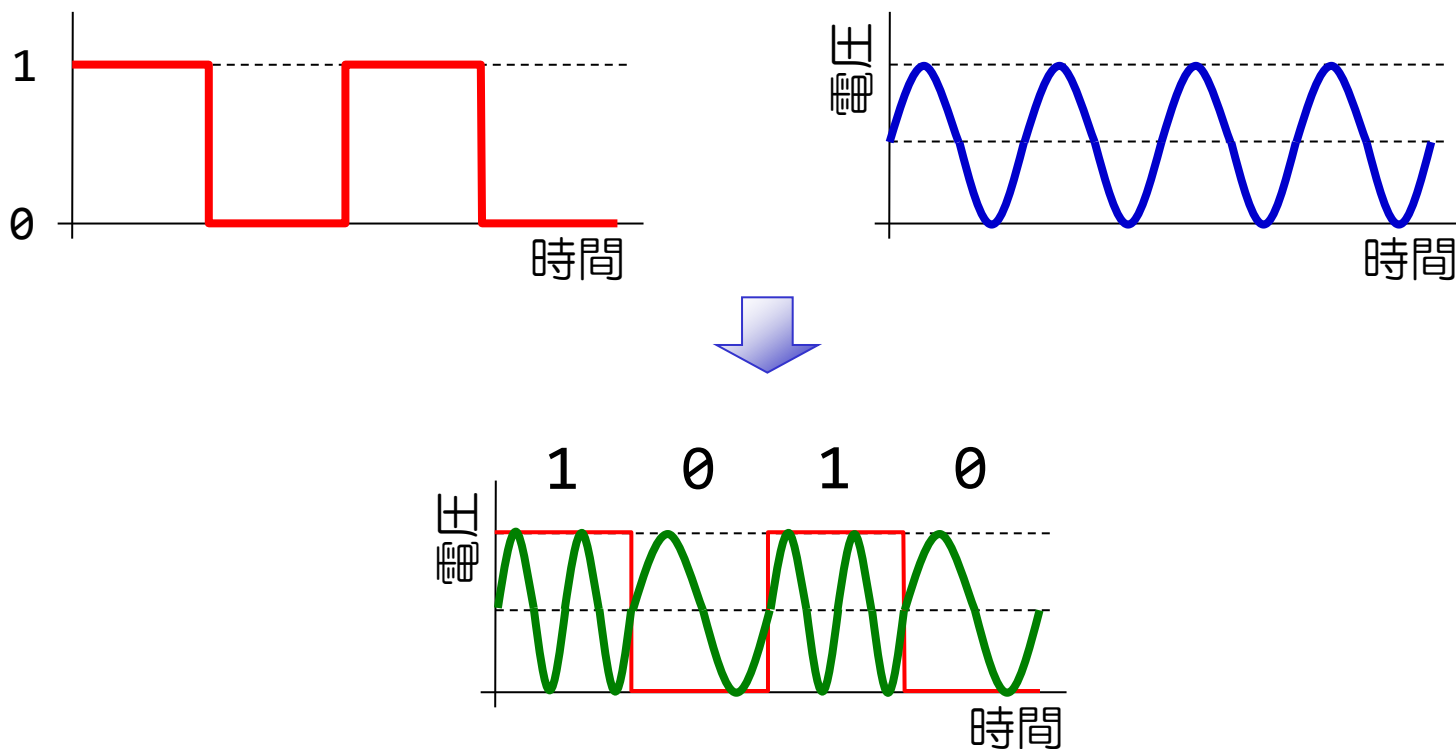
デジタル符号によって正弦波の振幅を変化させる



帯域伝送方式(3)

■FM変調方式

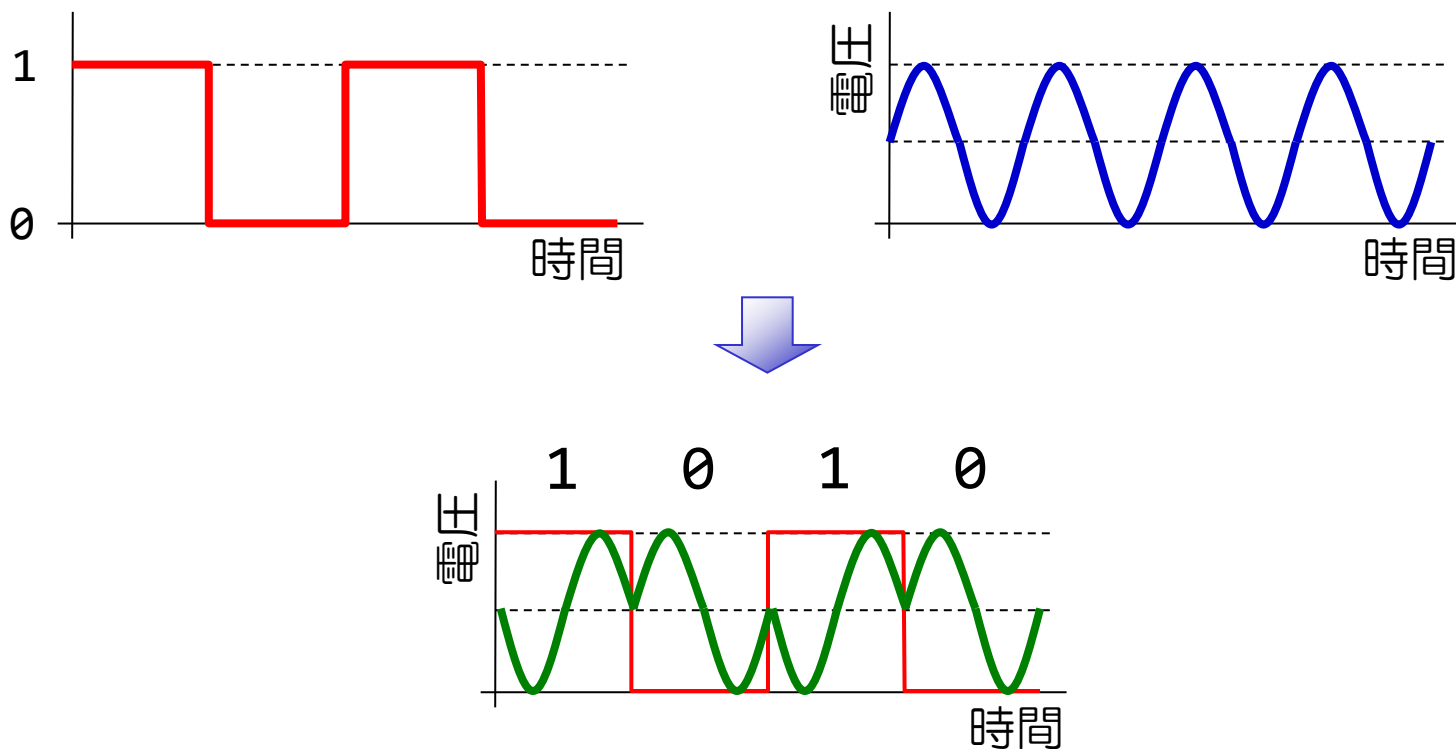
デジタル符号によって正弦波の周波数を変化させる



帯域伝送方式(4)

PM変調方式

デジタル符号によって正弦波の位相を変化させる



帯域伝送方式(5)

■信号の多重化

●周波数分割多重伝送方式

複数の周波数帯域を使い、複数の信号を同時に送信する

- ◆フィルタで特定の周波数の波だけを取り出せる
- ◆周波数変換（フーリエ変換・逆フーリエ変換）を使う

●時分割多重伝送方式

複数の信号を『順番に』送信する

- ◆通信速度が向上するわけではない
- ◆ベースバンド方式でも多重化できる

伝送速度と変調速度(1)

■ 伝送速度

1 秒間に伝送できる最大データのbit数

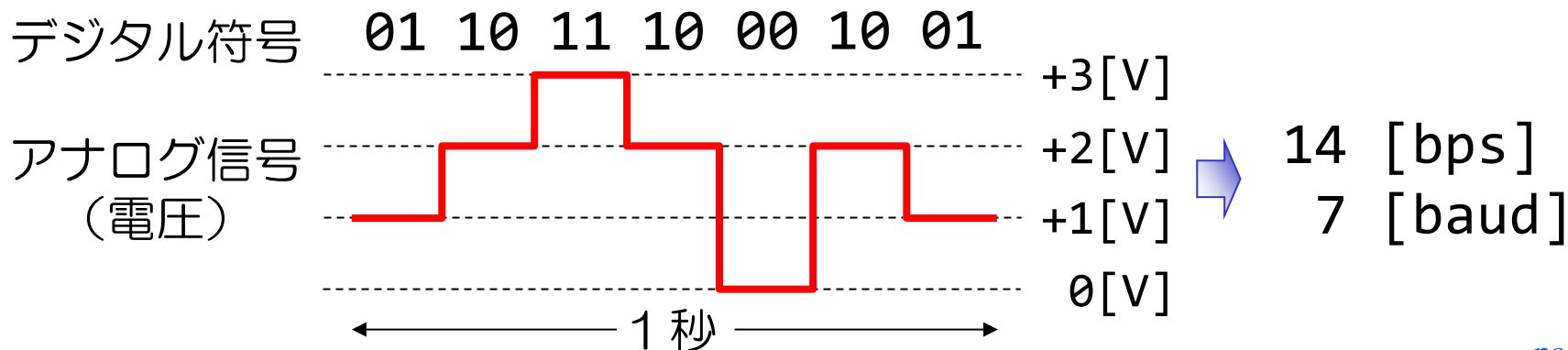
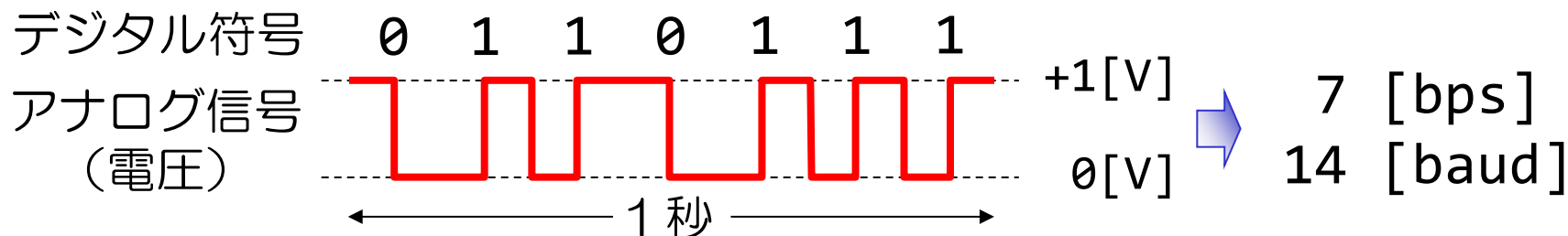
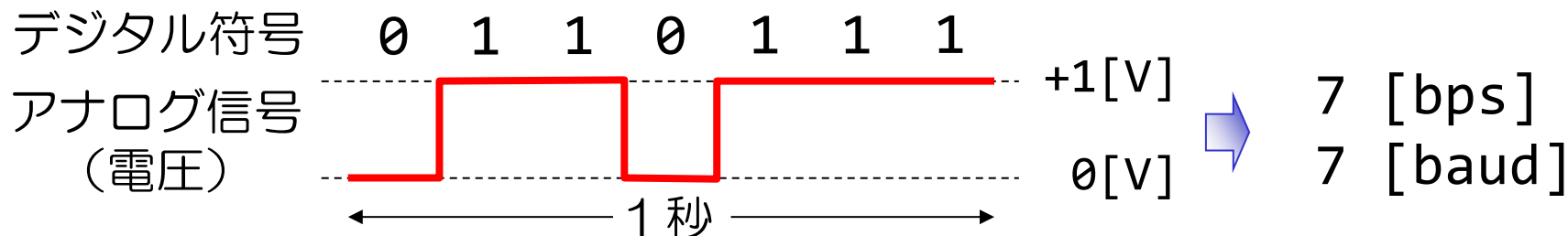
単位は bps (bit per second)

■ 変調速度

1 秒間に信号を変化する最大の回数

単位は baud (ボー)

伝送速度と変調速度(2)



最大伝送速度(1)

■理論上の最大伝送速度[1]

伝送路の帯域	： B [Hz]	(搬送波の周波数)
信号電力	： S [W]	(搬送波の振幅)
雑音電力	： N [W]	(ノイズによる搬送波の変化)

最大伝送速度

$$C = B \log_2(1 + S/N) \text{ [bps]}$$

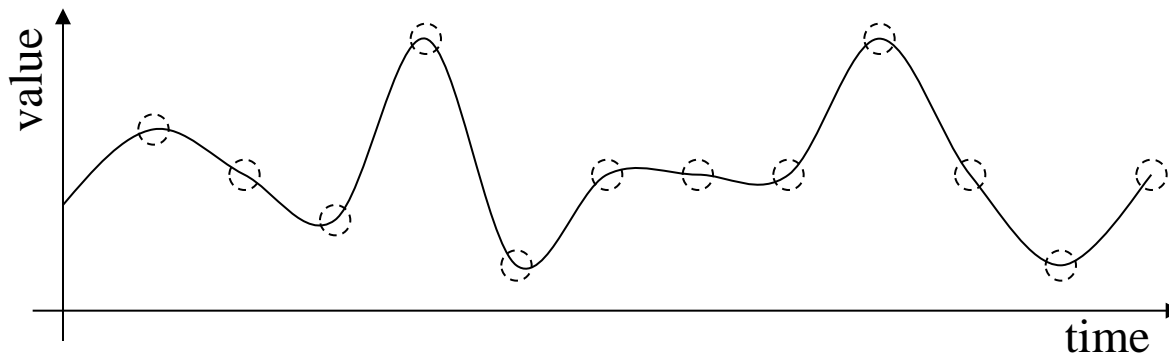
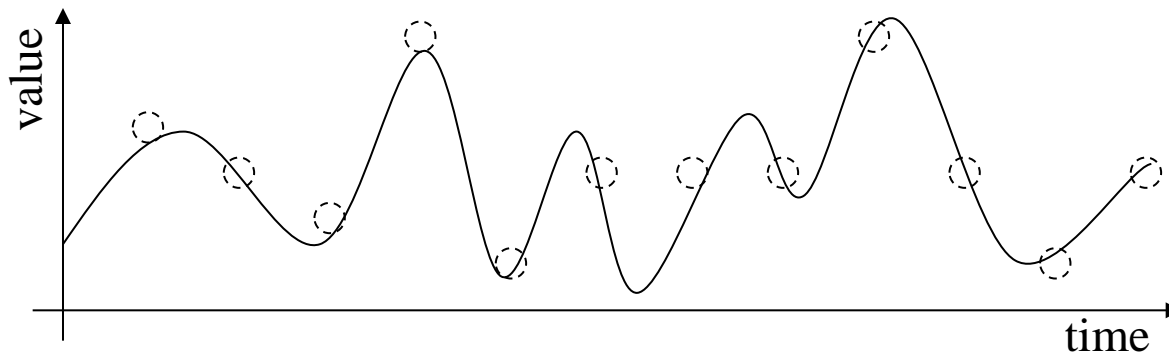
ただし、雑音発生はガウス分布に従うことを想定する
(ホワイトノイズを想定)

[1] Claude E. Shannon, “A Mathematical Theory of Communication,” Bell System Technical Journal, vol.27, no. 3, pp.379–423, 1948.

最大伝送速度(2)

■ AD-DA変換の特徴（標本化定理）

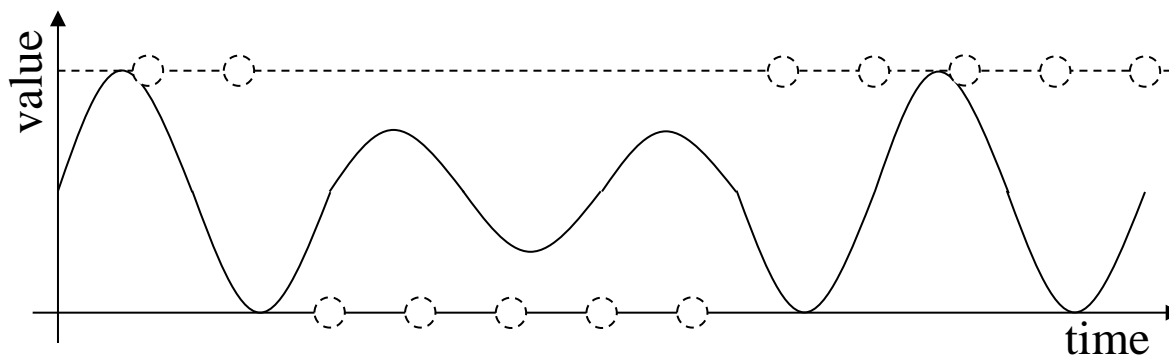
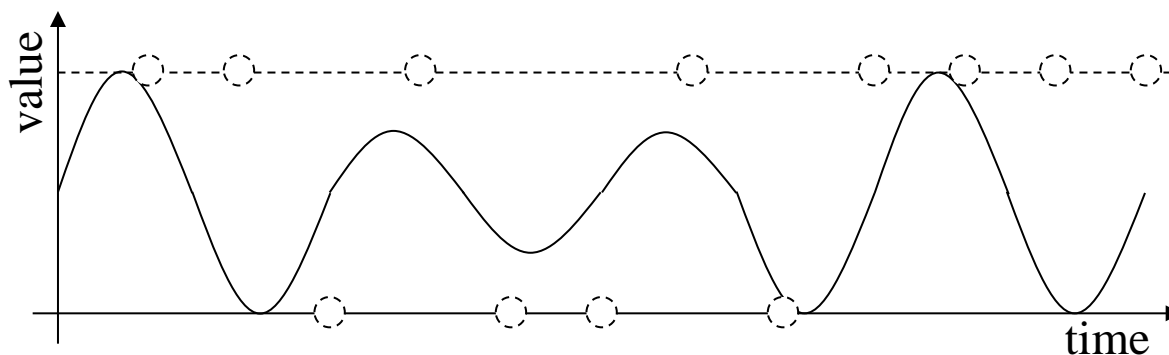
- 元のアナログ信号には戻せない（必ず誤差が生じる）



最大伝送速度(3)

■DA-AD変換の特徴 (ナイキスト・レート)

- 元のデジタル信号には戻せないことがある



デジタル符号
⇒ AM変調

最大伝送速度(4)

■ナイキスト・レート

伝送路（搬送波）の周波数： B [Hz]

最大変調速度（1秒間に変調できる回数）

$$F \leq 2B \text{ [baud]}$$

（ F [baud]の通信を行うためには、 $F/2$ [Hz]の周波数が必要）

1回の変調で表現できる符号の数： L

1回の変調で伝送できる情報の量： $M = \log_2 L$

最大伝送速度（1秒間に伝送できる情報の量）

$$C \leq 2BM$$

$$\leq 2B \log_2 L \quad (\text{ノイズは想定していない})$$

最大伝送速度(5)

■シャノン・ハートレーの定理

最大伝送速度（1秒間に伝送できる情報の量）

$$C \leq 2B \log_2 L \quad (\text{ノイズがない場合})$$

信号電力： S [W]

雑音電力： N [W]（ガウス分布に従うノイズとする）

信号電力 S を複数の符号に分割するとき、分割可能な数

$$L \leq (1 + S/N)^{1/2}$$

ホワイトノイズを想定した最大伝送速度

$$C \leq 2B \log_2(1 + S/N)^{1/2}$$

$$\leq B \log_2(1 + S/N)$$

伝送媒体(1)

■銅線

銅を介した電圧の変化で通信する
主に近距離通信に利用

■無線

空間を介した電磁波（光）通信
主に近距離通信に利用

■光ファイバ

光ファイバを介した光通信
高速・長距離通信に利用

伝送媒体(2)

- 目に見える光通信