コンピュータネットワーク

開講クォーター: 1Q

曜日・時限: 火、金1-2限

講義室: S011

横田理央

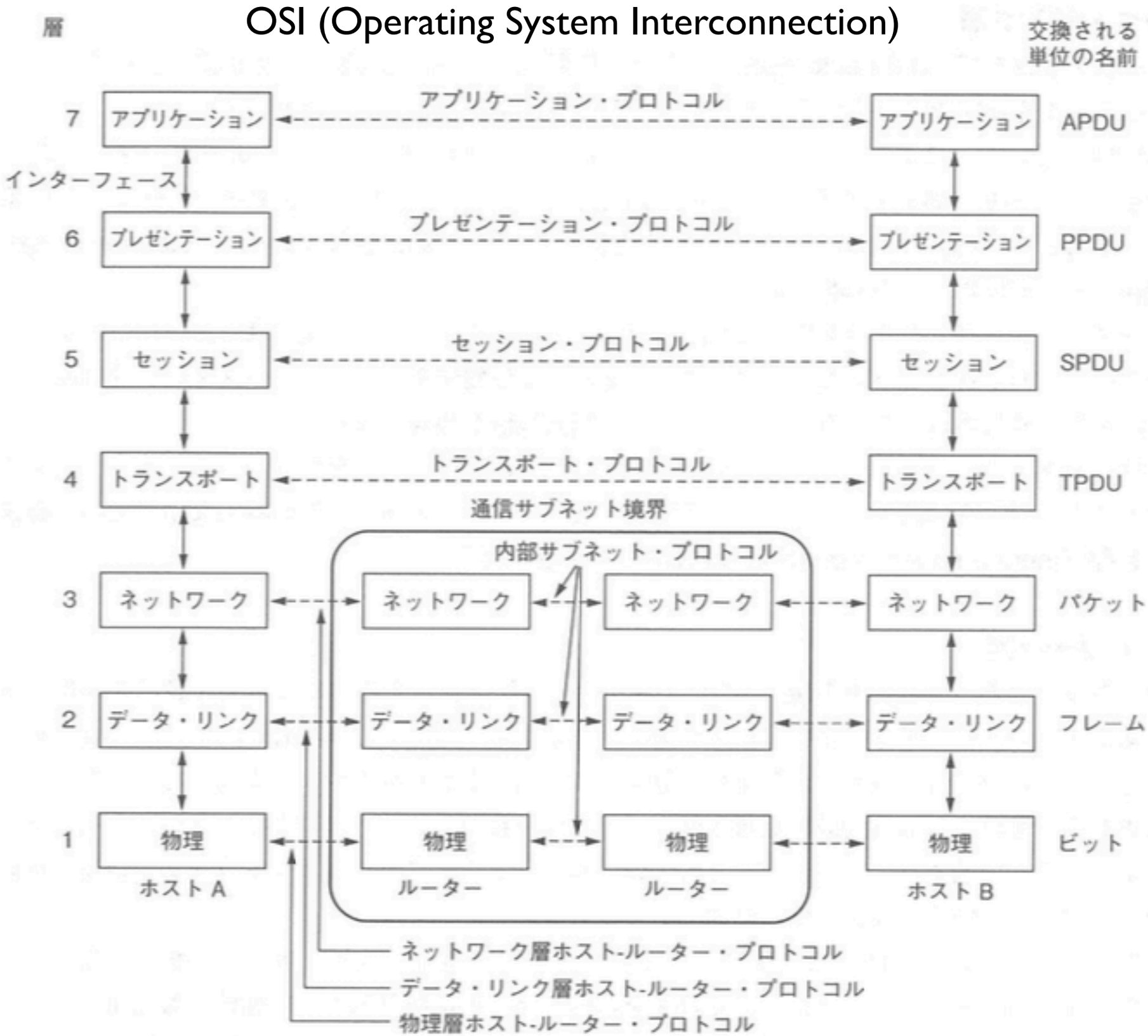
rioyokota@gsic.titech.ac.jp

講義日程

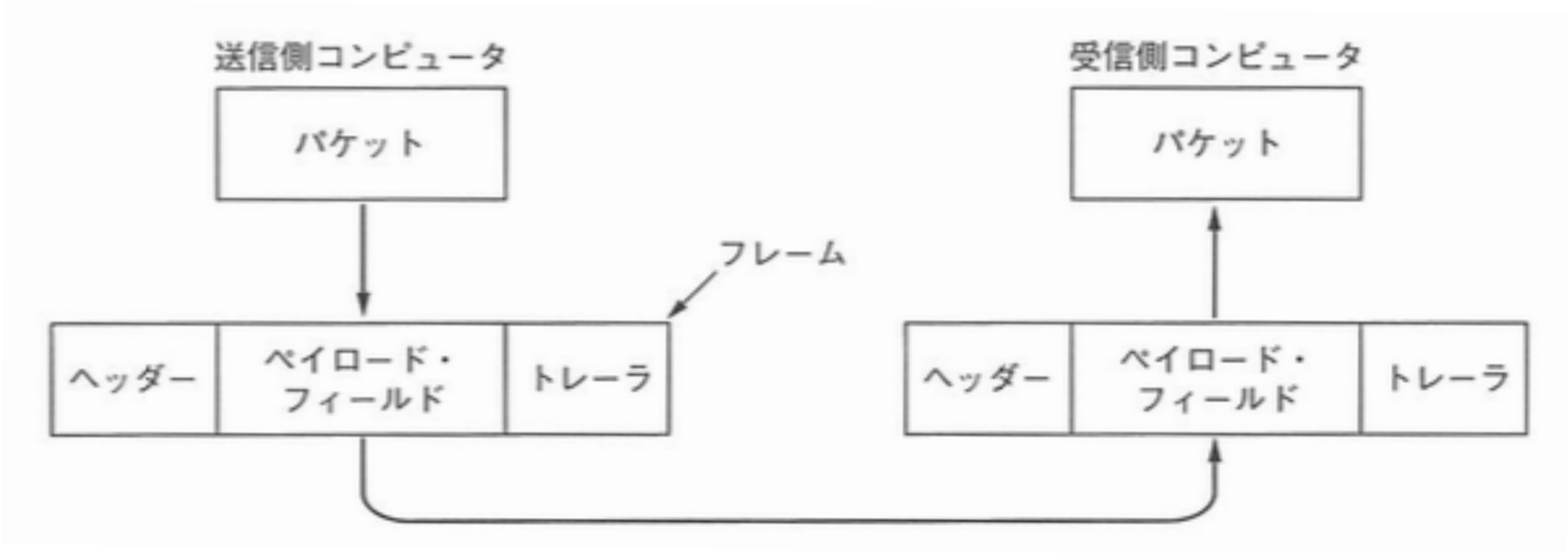
		授業計画		課題
04/11	第１回	計算機ネットワークの基本概念 ハードウェア・ソフトウェア，参照モデル	１章	ネットワークの種類と参照モデルを理解し プロトコル階層と各層の設計課題
04/14	第２回	物理層１ 有線伝送と無線伝送	２章	物理チャネルの特性を理解し データ通信の理論的基礎を理解
04/18	第３回	物理層２ デジタル変調と多重化	２章	ベースバンド伝送と通過帯域伝送， 電話網，携帯電話システムを説明できる
04/21	第４回	データリンク層１ 誤りの検出・訂正	３章	誤りの検出・訂正のしくみを理解し 検出・訂正符号の計算ができる
04/25	第５回	データリンク層２ データリンク・プロトコル	３章	データリンク・プロトコルの種類， 各プロトコルを定量的に評価できる
04/28	第６回	メディア・アクセス副層１ ブロードキャスト・チャネル	４章	多重アクセス・プロトコルを理解し データ・レートを計算できる
05/02	第７回	メディア・アクセス副層２ 無線 LAN，Bluetooth, RFID	４章	個別のプロトコル・スタックを理解し データリンク層スイッチングを理解
05/09	第８回	理解度確認総合演習 (中間試験) 第１回から第７回までの内容の演習形式による確認		第１回から第７回までの理解度確認と 到達度自己評価

OSI参照モデル

OSI (Operating System Interconnection)

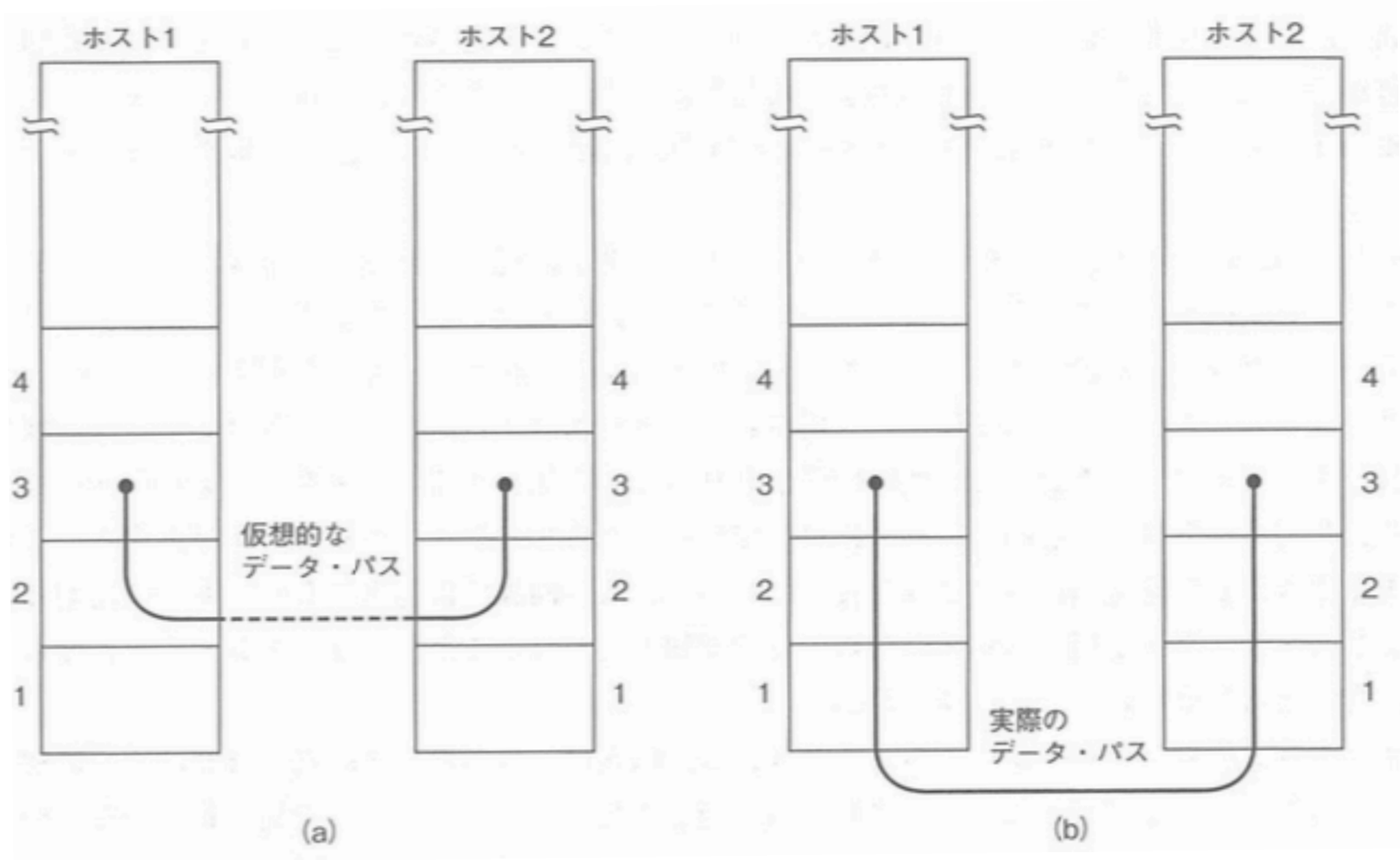


データ・リンク層



1. ネットワーク層に対してきちんと定義されたサービス・インターフェイスを提供
2. 伝送誤りに対処
3. 遅い受信者が速い受信者のデータであふれることのないようにデータの流れを制御

仮想通信



Layer 3 に誤りのないデータを順番通りに届けなくてはならない

↕

Layer 1 から届くデータは誤りを有し、順番通りとは限らない

誤りを検出するには？

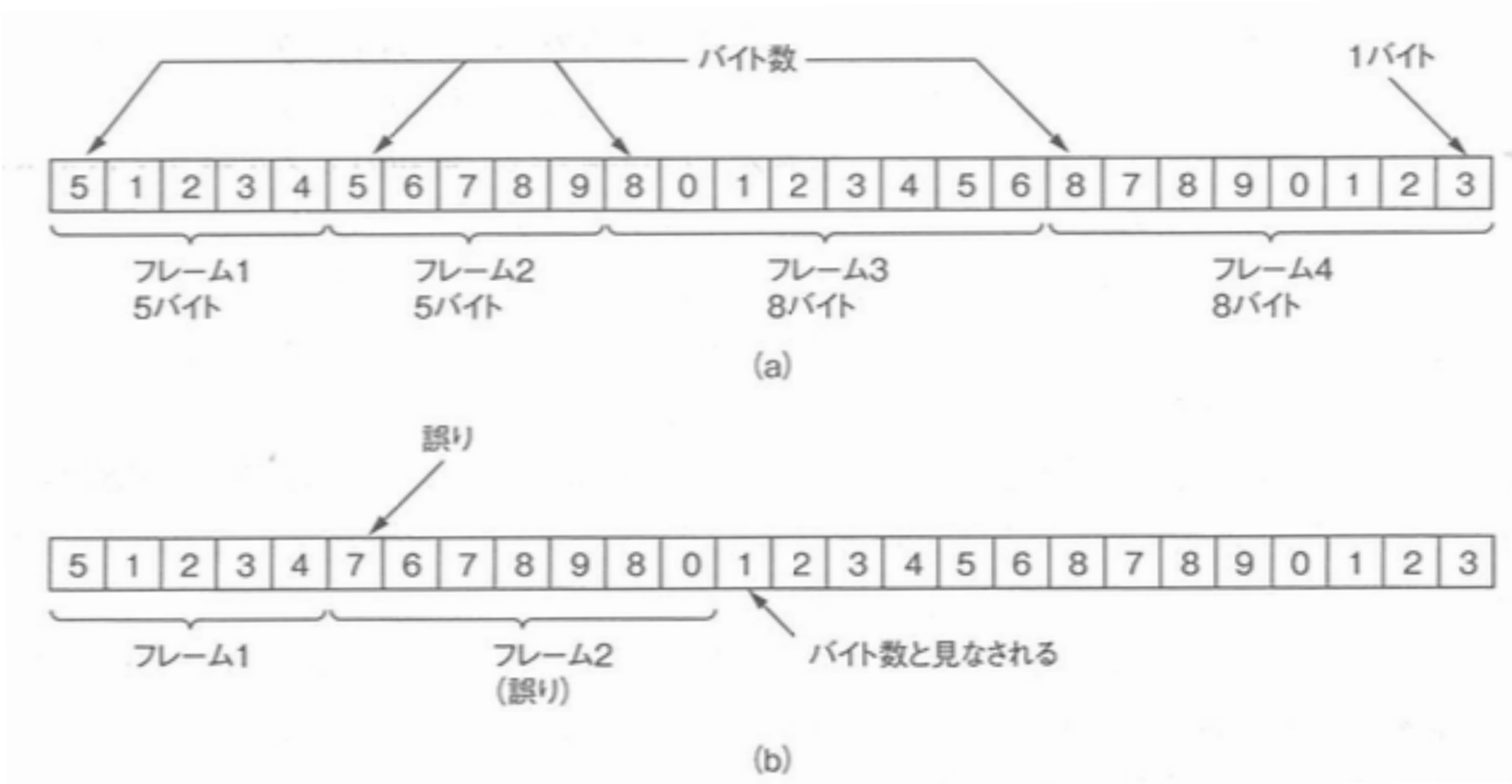
1. バイト数

2. バイト詰めを伴うフラグ・バイト

3. ビット詰めを伴うフラグ・パターン

4. 物理符号化違反

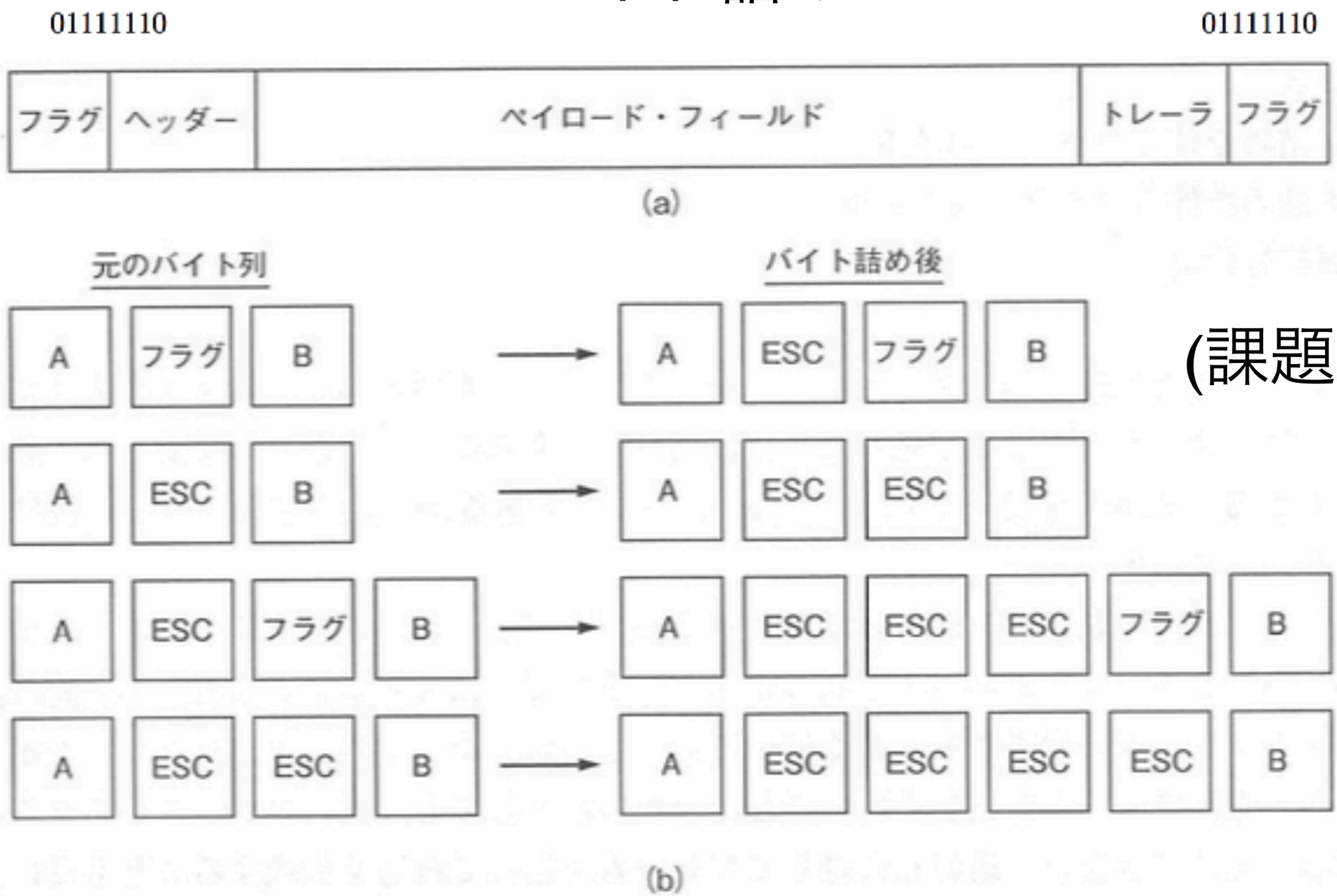
バイト数



ヘッダ中のフィールドにフレーム中のバイト数を示す

伝送中の誤りによってヘッダ中のバイト数が誤る可能性

バイト詰め



(課題 1,2)

フレームの前後にフラグ・バイトをつける

データ中にフラグ・バイトと同じものが含まれていたら？

ビット詰め

(a) 0 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 1 0

(b) 0 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 0 0 1 0

詰められたビット

(c) 0 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 1 0

(課題 3)

送信データに1が5回並んだら0を挿入する

受信データに11111が現れたら0を削除する

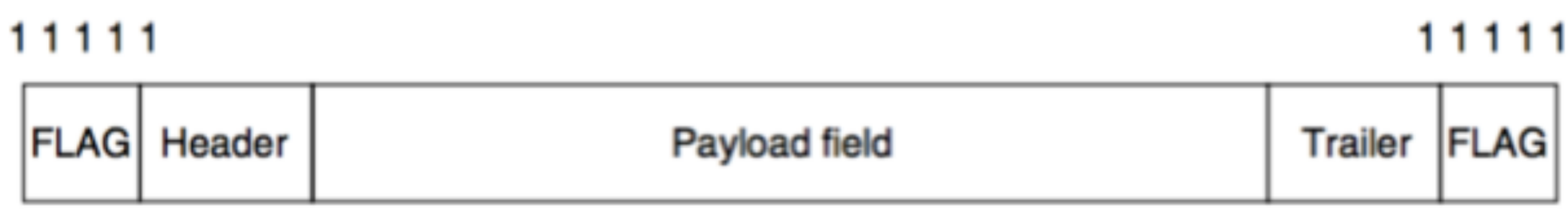
↓

データの大きさがデータの内容に依存してしまう

符号化違反

Data (4B)	Codeword (5B)	Data (4B)	Codeword (5B)
0000	11110	1000	10010
0001	01001	1001	10011
0010	10100	1010	10110
0011	10101	1011	10111
0100	01010	1100	11010
0101	01011	1101	11011
0110	01110	1110	11100
0111	01111	1111	11101

4B/5B



誤り検出および訂正

誤りの種類:

1. Random 熱雑音によるビット反転
2. Burst 電気的妨害による一時的なバースト

誤り訂正符号:

1. ハミング符号
2. 2進畳み込み符号
3. Reed-Solomon 符号
4. 低密度パリティ検査符号

Hamming 距離

(n,m) code

$$n = m + r$$

(課題 4)

Data (4B)	Codeword (5B)	Data (4B)	Codeword (5B)
0000	11110	1000	10010
0001	01001	1001	10011
0010	10100	1010	10110
0011	10101	1011	10111
0100	01010	1100	11010
0101	01011	1101	11011
0110	01110	1110	11100
0111	01111	1111	11101

$$m = 4 \quad n = 5$$
$$r = 1 \quad d = 1$$

n-bit codeword

```
10001001
10110001   XOR
--------
00111000   d=3
```

d個の誤りを検出するためには d+1 の距離が必要

d個の誤りを訂正するためには 2d+1 の距離が必要

誤り検出・訂正

2B/10B code

Data	Codeword
00	0000000000
01	0000011111
10	1111100000
11	1111111111

$m = 2 \quad n = 10$

$r = 8 \quad d = 5$

4重の誤りを検出 0000011111 / 0000000001

2重の誤りを訂正 0000000111 / 0000000000

0000000001 0000000010 0000000100 0000001000 0000010000
0000100000 0001000000 0010000000 0100000000 1000000000

距離1にn個の誤りの可能性がある

距離hに$_n C_h$個の誤りの可能性がある

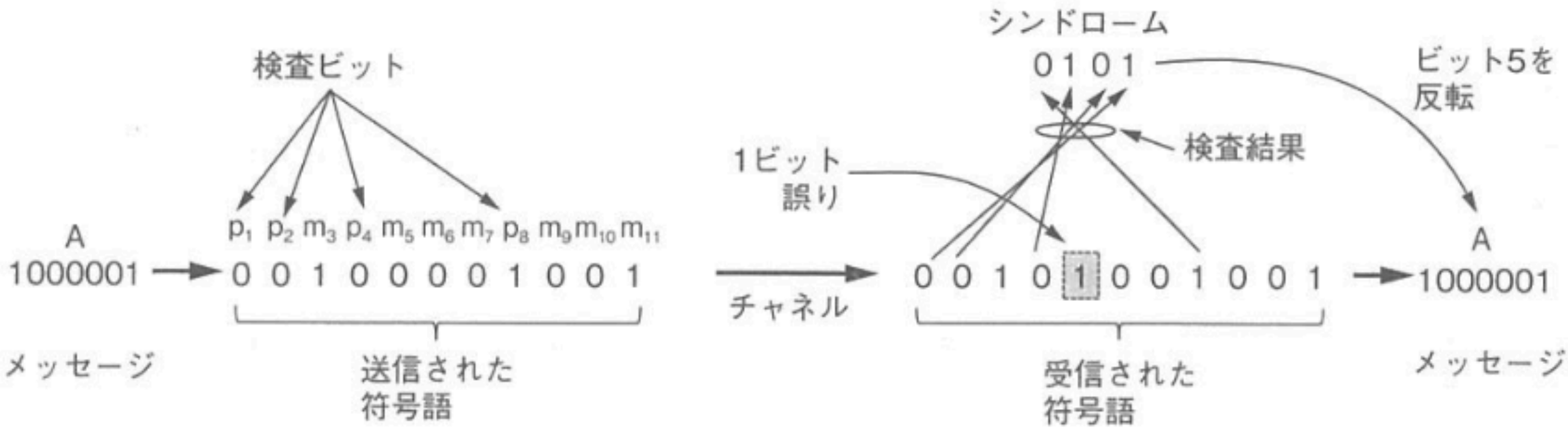
d個の誤りを検出するためには d+1 の距離が必要

d個の誤りを訂正するためには 2d+1 の距離が必要

2の距離を持たせるためには $(n+1)2^m \leq 2^n$

hの距離を持たせるためには ??

ハミング符号 (課題 4)



$m = 7 \qquad n = 11$

$r = 4 \qquad d = 3$

m p

3=1+2
5=1+4
6=2+4
7=1+2+4
9=1+8
10=2+8
11=1+2+8

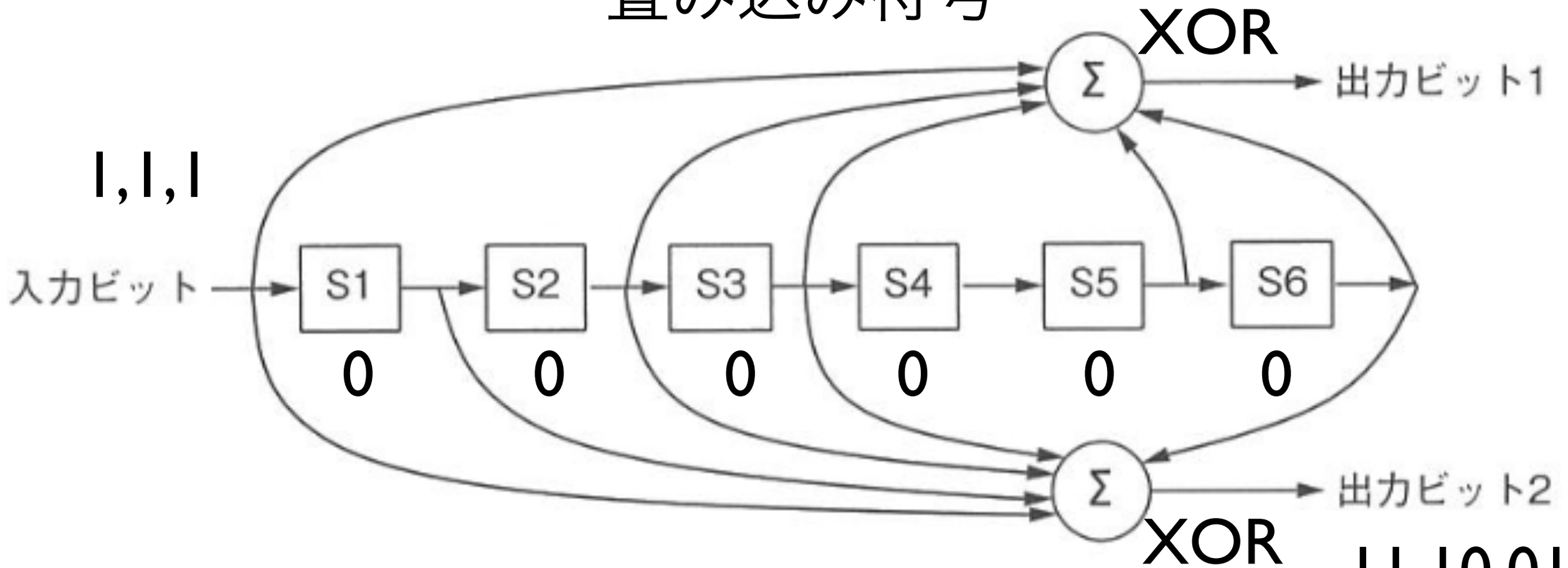
2のべき乗のビットは検査ビット

通信前後でXOR

パリティ: 1が偶数個なら0, 奇数個なら1 ⟶ シンドローム

	$p_8=\{m_9,m_{10},m_{11}\}$	$p_4=\{m_5,m_6,m_7\}$	$p_2=\{m_3,m_6,m_7,m_{10},m_{11}\}$	$p_1=\{m_3,m_5,m_7,m_9,m_{11}\}$
Before	1	0	0	0
After	1	1	0	1

畳み込み符号

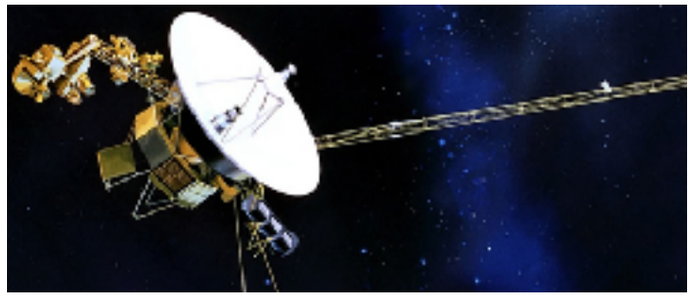


1000000, 1100000, 1110000

NASA畳み込み符号

Voyager計画で用いられた

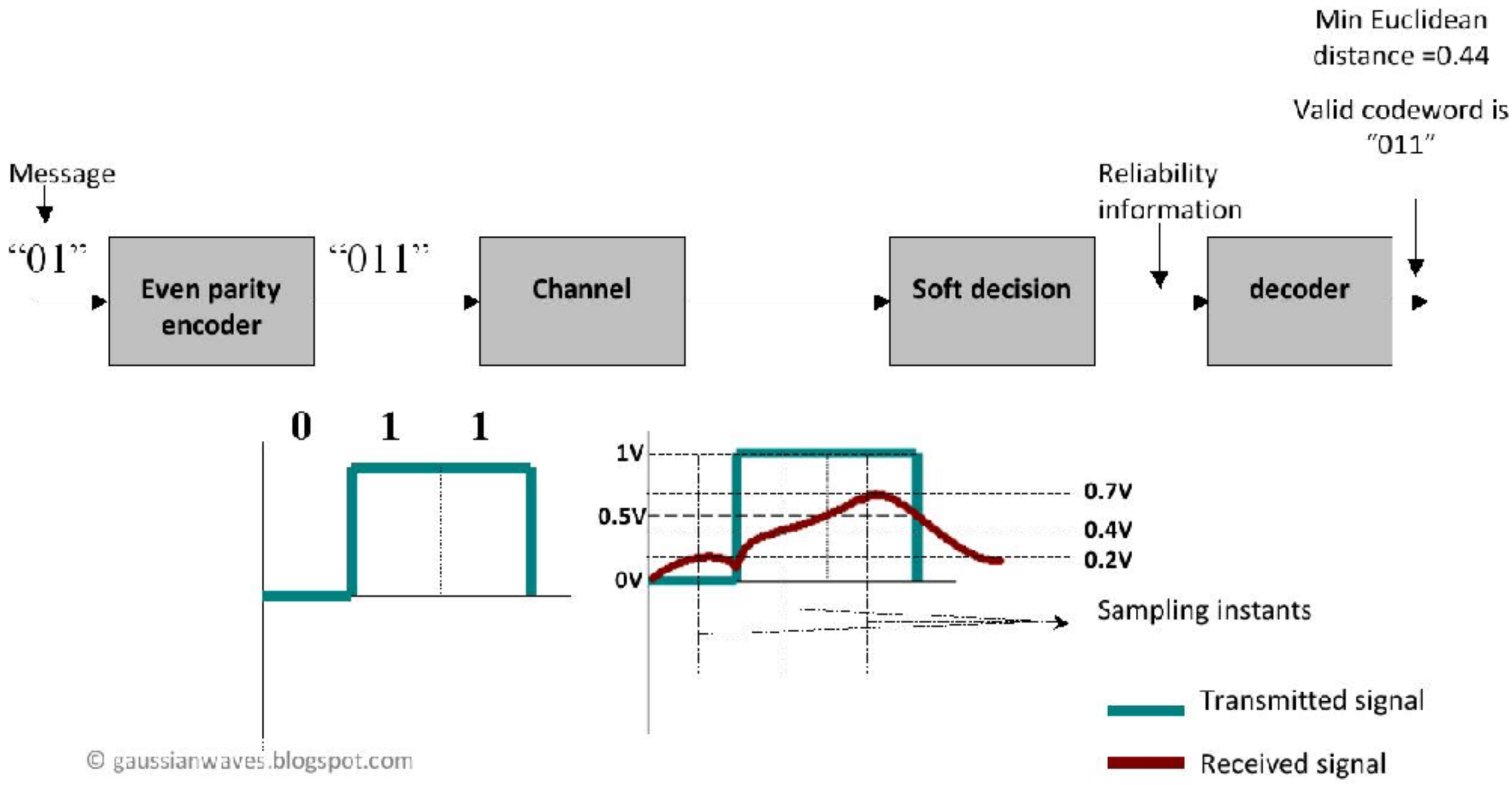
Wifiにも用いられている



符号化率1/2、制約長 k=7

出力が依存する以前のビット数

軟判定復号


Min Euclidean distance =0.44
Valid codeword is "011"
Message
"01"
Even parity encoder
"011"
Channel
Soft decision
Reliability information
decoder
0 1 1
1V
0.5V
0V
0.7V
0.4V
0.2V
Sampling instants
Transmitted signal
Received signal
© gaussianwaves.blogspot.com

リード・ソロモン符号

メッセージ $x = (x_1, \ldots, x_k)$ を多項式に変換する

$$p_x(a) = \sum_{i=1}^{k} x_i a^{i-1}$$

符号は $p_x(a)$ のn個の異なる点 $a_1, \ldots, a_n$ での値

CDs, DVDs, ブルーレイ, QRコード,WiMAXなどで用いられる

n=255, m=233, r=32のものがよく用いられる

強力な誤り訂正

単一誤りとバースト誤りの両方に強い

誤り検出符号

誤り検出符号:

1. パリティ　　1011010 ⟶ 10110100　パリティビットを付加
2. チェックサム
3. 巡回冗長検査 Cyclic Redundancy Check (CRC)

例)

誤り率が 10^{-6}

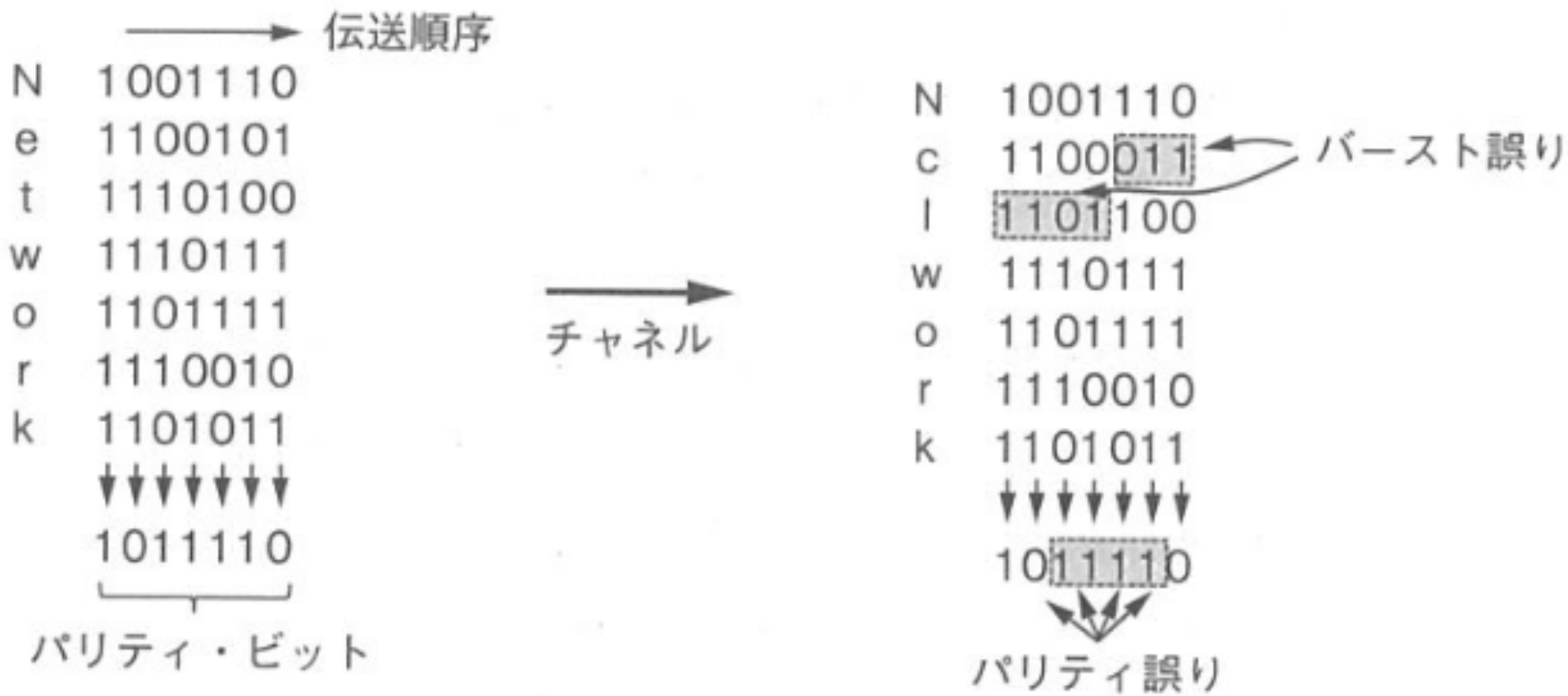
ブロックサイズ m=1000ビット $(m + r + 1) \leq 2^r$ → r=10ビット

1000 ブロック(1,000,000ビット) に1つの誤り

誤り検出と再送信は 1000+1001ビット要する

ハミング符号は10,000ビット要する

インターリービング
― 飛び飛びパリティ ―

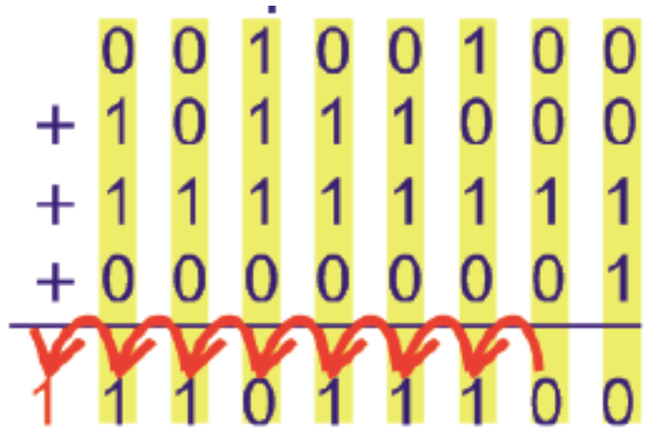


７個おきにパリティ

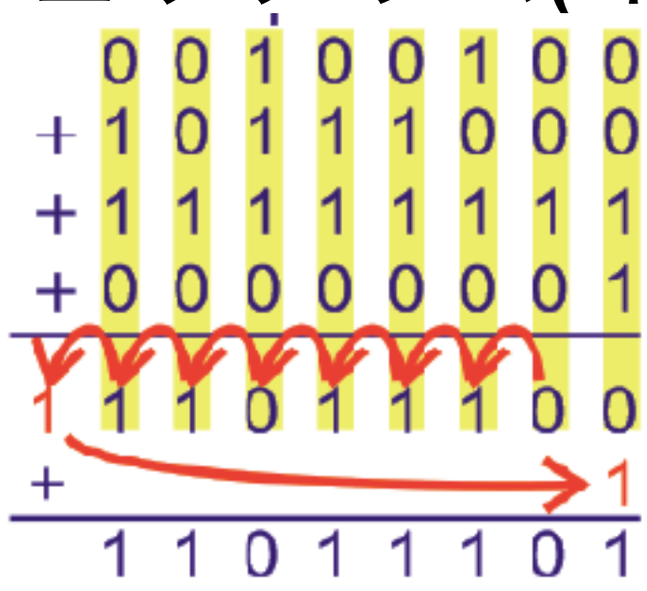
バーストに強い

チェックサム

整数和チェックサム



1の補数チェックサム(インターネットチェックサム)



(課題 5)

フレッチャーのチェックサム

1の補数チェックサムを2回用いる

$A = A + Byte_i;\ B = B + A;$

巡回冗長検査(CRC)
— 多項式符号 —

$$110001 \longrightarrow 1x^5 + 1x^4 + 0x^3 + 0x^2 + 0x^1 + 1x^0$$

$$\begin{array}{r} 10011011 \\ +\ 11001010 \\ \hline 01010001 \end{array} \qquad \begin{array}{r} 00110011 \\ +\ 11001101 \\ \hline 11111110 \end{array} \qquad \begin{array}{r} 11110000 \\ -\ 10100110 \\ \hline 01010110 \end{array} \qquad \begin{array}{r} 01010101 \\ -\ 10101111 \\ \hline 11111010 \end{array}$$

1. rをG(x)の次数とする。フレームの最下位に0ビットをr個付加して、全体でm+rビットとし、$x^rM(x)$を表すようにする。
2. $x^rM(x)$を表すビット列をG(x)を表すビット列で2の剰余系における割り算を用いて割る。
3. $x^rM(x)$を表すビット列から2の剰余系における減算を用いて余りを引く。結果が送信すべきチェックサムを付けたフレームである。

$$[T(x) + E(x)]\,/G(x) = E(x)/G(x)$$

巡回冗長検査(CRC)

(課題 6)

フレーム：1101011111
生成多項式：10011

```
                1100001110  ← 商（捨てられる）
10011 ) 11010111110000  ← 四つのゼロを付加したフレーム
        10011
         10011
         10011
          00001
          00000
           00011
           00000
            00111
            00000
             01111
             00000
              11110
              10011
               11101 0
               10011
                10010
                10011
                 00010
                 00000
                    10  ← 余り
```

送信されるフレーム：11010111110010 ← 四つのゼロを付加したフレームから余りを引いたもの

講義日程

		授業計画		課題
04/11	第１回	計算機ネットワークの基本概念 ハードウェア・ソフトウェア，参照モデル	１章	ネットワークの種類と参照モデルを理解し プロトコル階層と各層の設計課題
04/14	第２回	物理層１ 有線伝送と無線伝送	２章	物理チャネルの特性を理解し データ通信の理論的基礎を理解
04/18	第３回	物理層２ デジタル変調と多重化	２章	ベースバンド伝送と通過帯域伝送， 電話網，携帯電話システムを説明できる
04/21	第４回	データリンク層１ 誤りの検出・訂正	３章	誤りの検出・訂正のしくみを理解し 検出・訂正符号の計算ができる
04/25	第５回	データリンク層２ データリンク・プロトコル	３章	データリンク・プロトコルの種類， 各プロトコルを定量的に評価できる
04/28	第６回	メディア・アクセス副層１ ブロードキャスト・チャネル	４章	多重アクセス・プロトコルを理解し データ・レートを計算できる
05/02	第７回	メディア・アクセス副層２ 無線 LAN，Bluetooth, RFID	４章	個別のプロトコル・スタックを理解し データリンク層スイッチングを理解
05/09	第８回	理解度確認総合演習 (中間試験) 第１回から第７回までの内容の演習形式による確認		第１回から第７回までの理解度確認と 到達度自己評価