

計算機ネットワーク

開講クォーター: 1-2Q

曜日・時限: 火7-8限

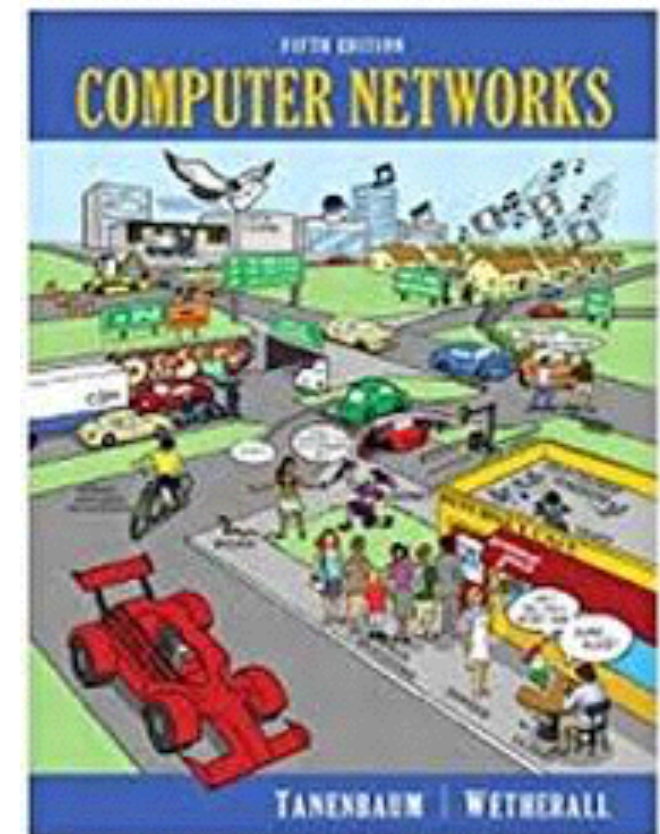
講義室: 1Q @ W834, 2Q @ W931

横田理央

rioyokota@gsic.titech.ac.jp



参考書



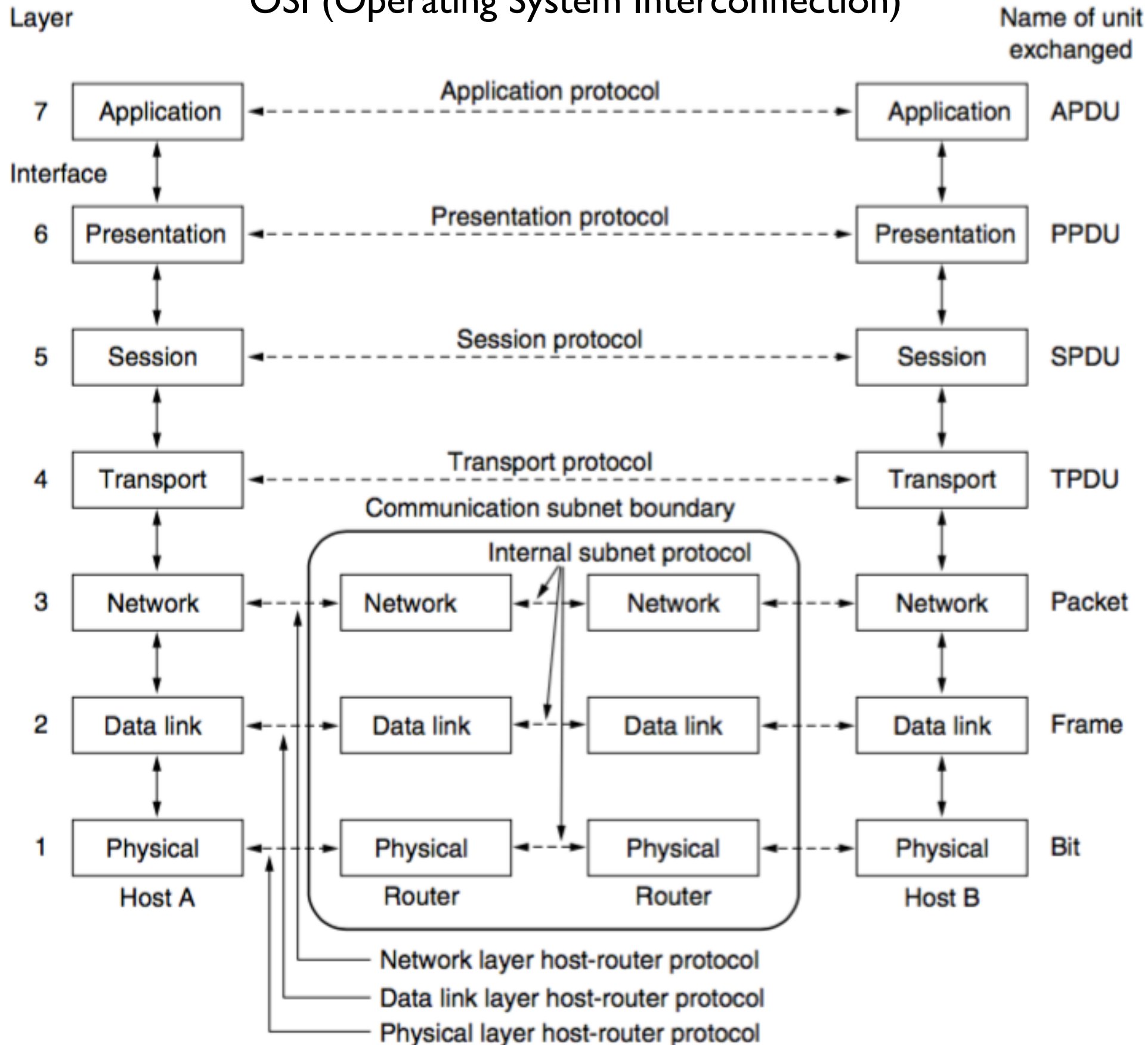
教科書

講義日程 (1Q)

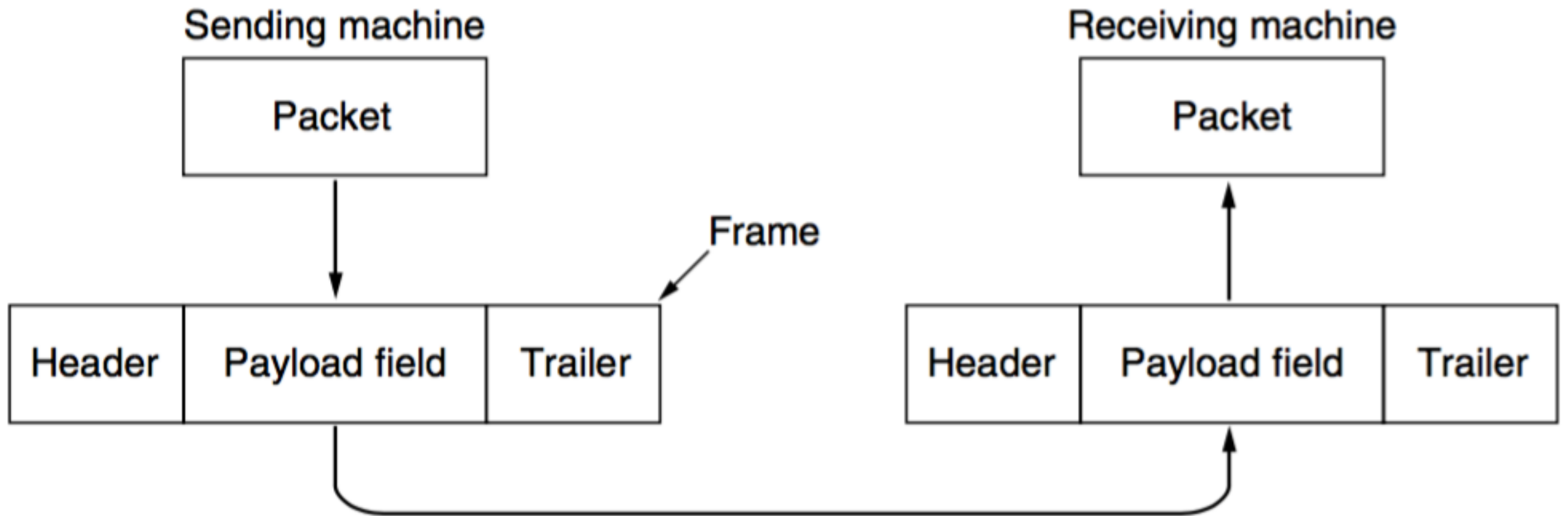
	授業計画		課題
04/05	第1回	計算機ネットワークの基本概念 ハードウェア・ソフトウェア, 参照モデル	1 章 ネットワークの種類と参照モデルを理解し プロトコル階層と各層の設計課題
04/12	第2回	物理層1 有線伝送と無線伝送	2 章 物理チャネルの特性を理解し データ通信の理論的基礎を理解
04/19	第3回	物理層2 デジタル変調と多重化	2 章 ベースバンド伝送と通過帯域伝送, 電話網, 携帯電話システムを説明できる
04/26	第4回	データリンク層1 誤りの検出・訂正	3 章 誤りの検出・訂正のしくみを理解し 検出・訂正符号の計算ができる
05/10	第5回	データリンク層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
05/17	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
05/24	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
05/31	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 reference model

OSI (Operating System Interconnection)

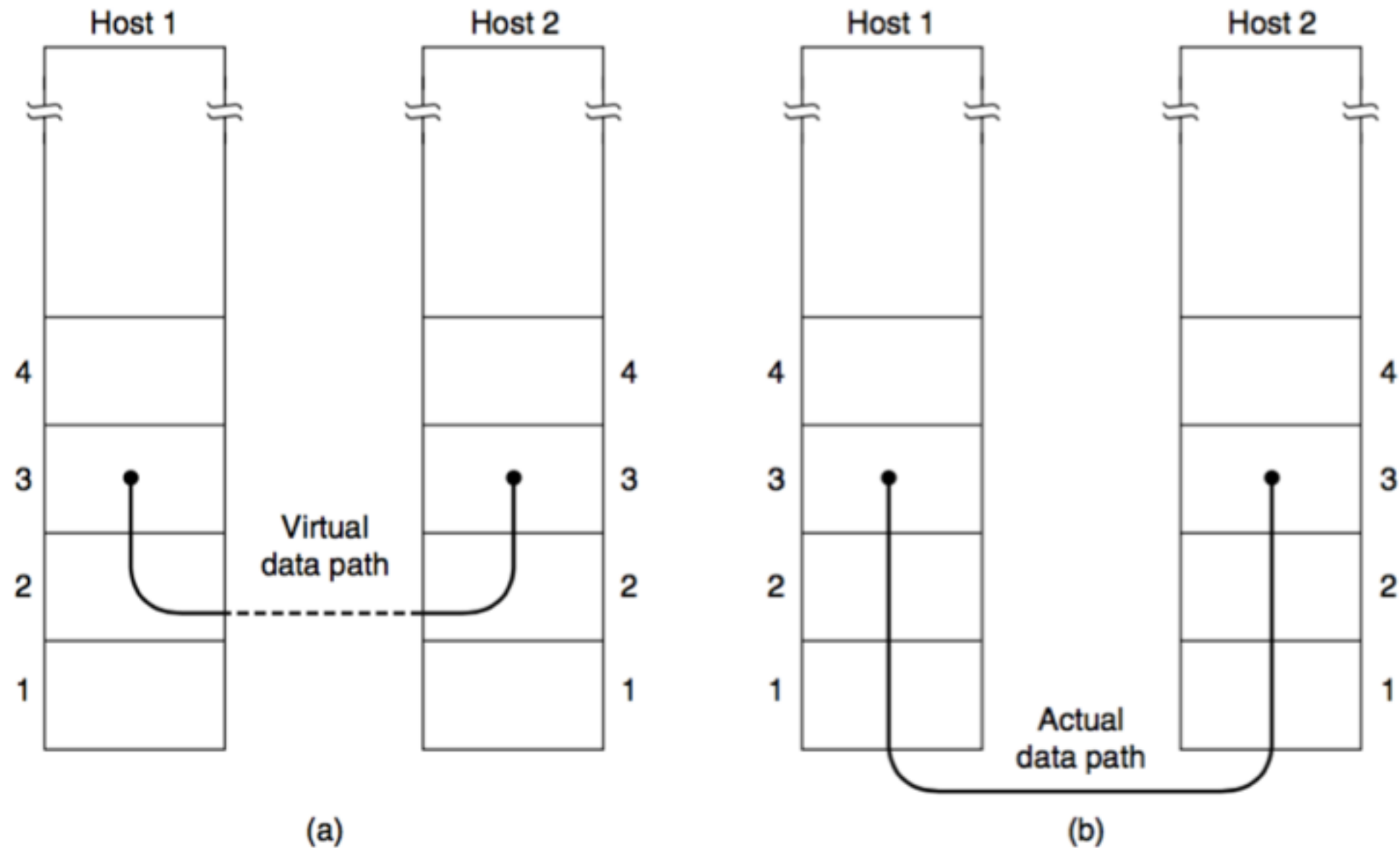


Data link layer



1. Providing a well-defined service interface to the network layer.
2. Dealing with transmission errors.
3. Regulating the flow of data so that slow receivers are not swamped by fast senders.

Virtual data path



Layer 3 requires the data to be error-free and in-order

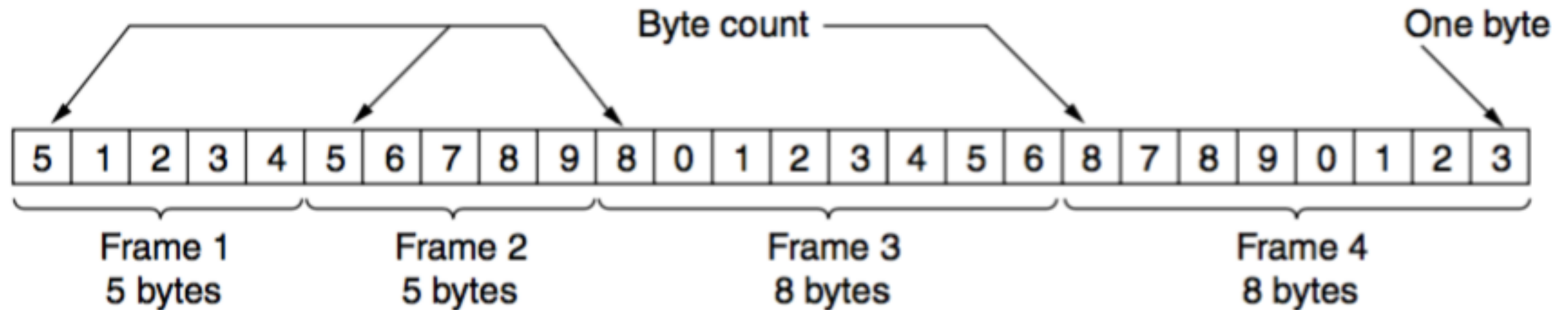


Layer 1 does not guarantee the data to be error-free or in-order

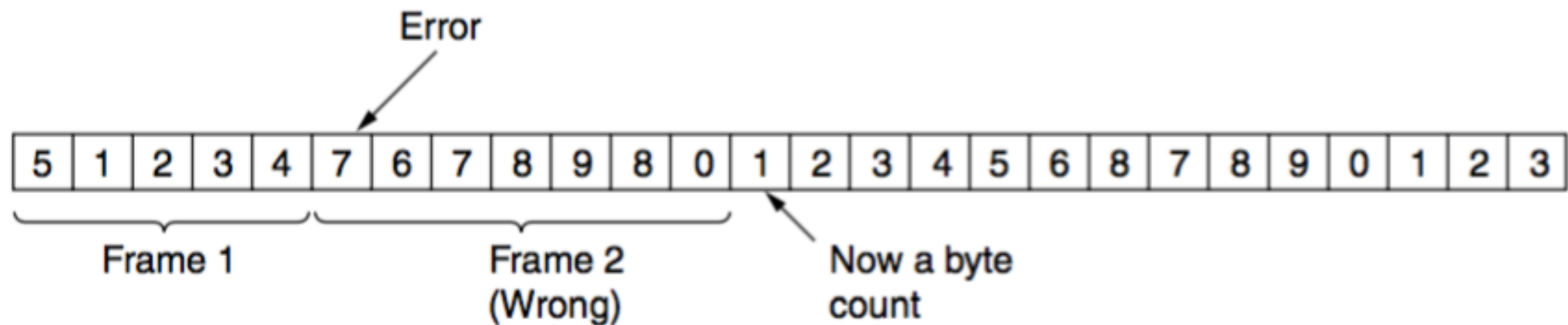
How to detect errors?

1. Byte count.
2. Flag bytes with byte stuffing.
3. Flag bits with bit stuffing.
4. Physical layer coding violations.

Byte count



(a)



(b)

Use a field in the header to specify the number of bytes in the frame

What if the count has an error?

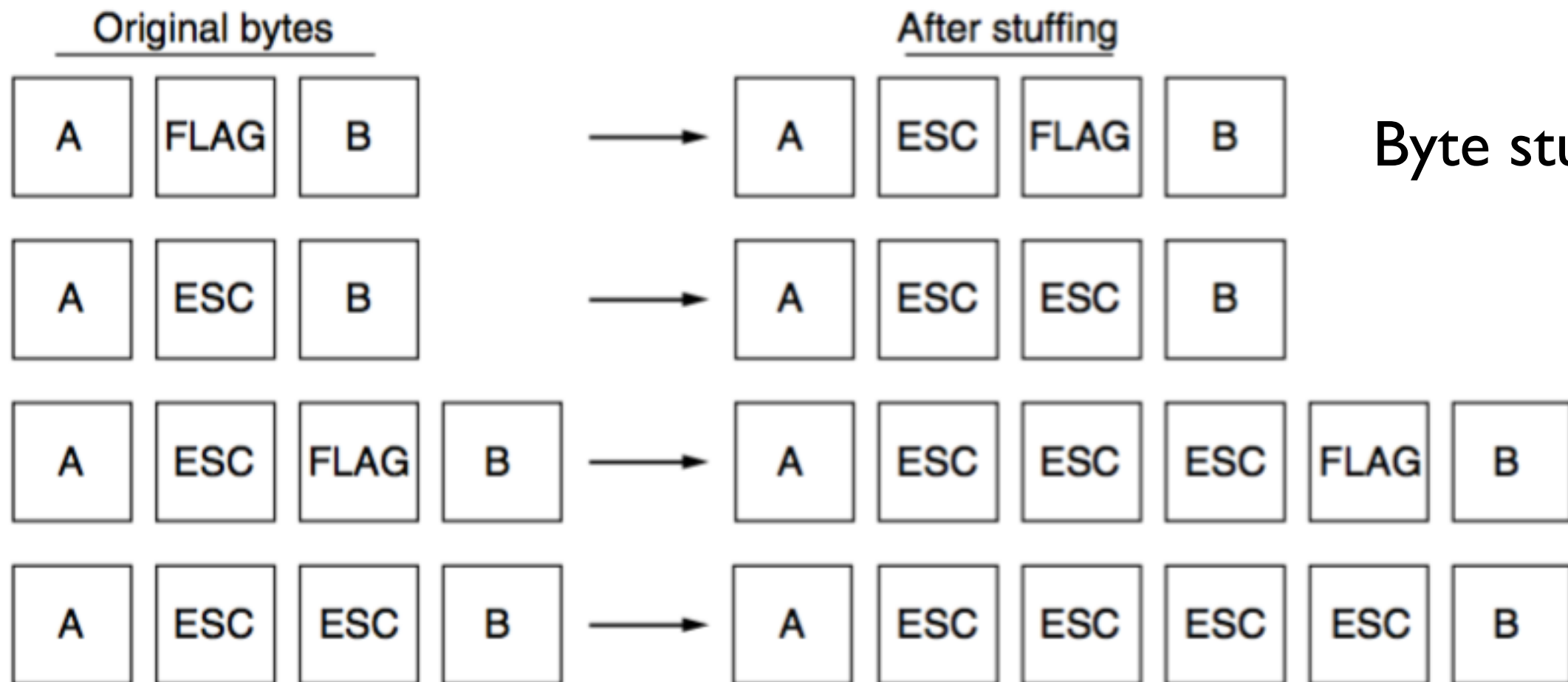
Flag Byte

01111110

01111110



(a)

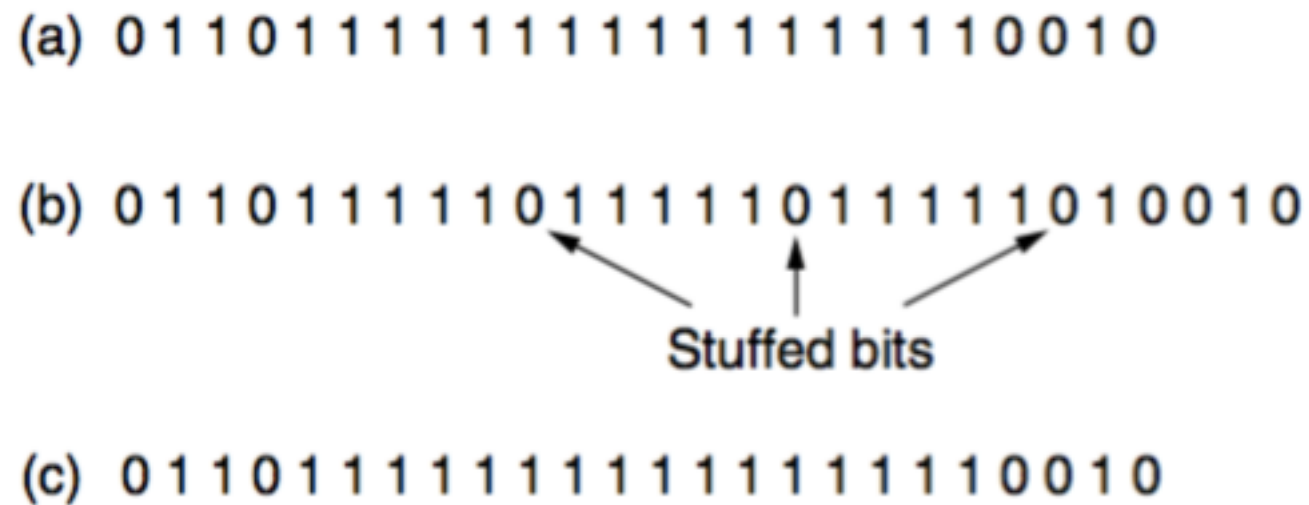


(b)

Place a flag byte at the beginning and end of the frame

What if the flag byte appears in the data?

Bit stuffing



When the sender sees 5 consecutive 1s in the data, it stuffs a 0

When the receiver sees 5 consecutive 1s followed by a 0, it removes the 0

A side effect is that the length of a frame now depends on the contents of the data

Physical layer coding violations

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

1 1 1 1 1

1 1 1 1 1

FLAG	Header	Payload field	Trailer	FLAG
------	--------	---------------	---------	------

Error detection and correction (誤り検出訂正)

Types of errors:

1. Random bit-flips caused by thermodynamic noise
2. Burst of multiple errors caused by interference

Error-correcting codes:

1. Hamming codes.
2. Binary convolutional codes.
3. Reed-Solomon codes.
4. Low-Density Parity Check codes

Hamming distance

(n,m) code

$$n = m + r$$

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

$$\begin{array}{r}
 10001001 \\
 10110001 \\
 \hline
 00111000
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 \text{XOR} \\
 d=3
 \end{array}$$

$$\begin{array}{ll}
 m = 4 & n = 5 \\
 r = 1 & d = 1
 \end{array}$$

n-bit codeword

To detect d errors we need a code with d+1 distance

To correct d errors we need a code with 2d+1 distance

$$(n + 1)2^m \leq 2^n$$

$$(m + r + 1) \leq 2^r$$

Error detection and correction

2B/10B code

Data	Codeword
00	0000000000
01	0000011111
10	1111100000
11	1111111111

$$m = 2 \quad n = 10$$

$$r = 8 \quad d = 5$$

detect 4 errors
correct 2 errors

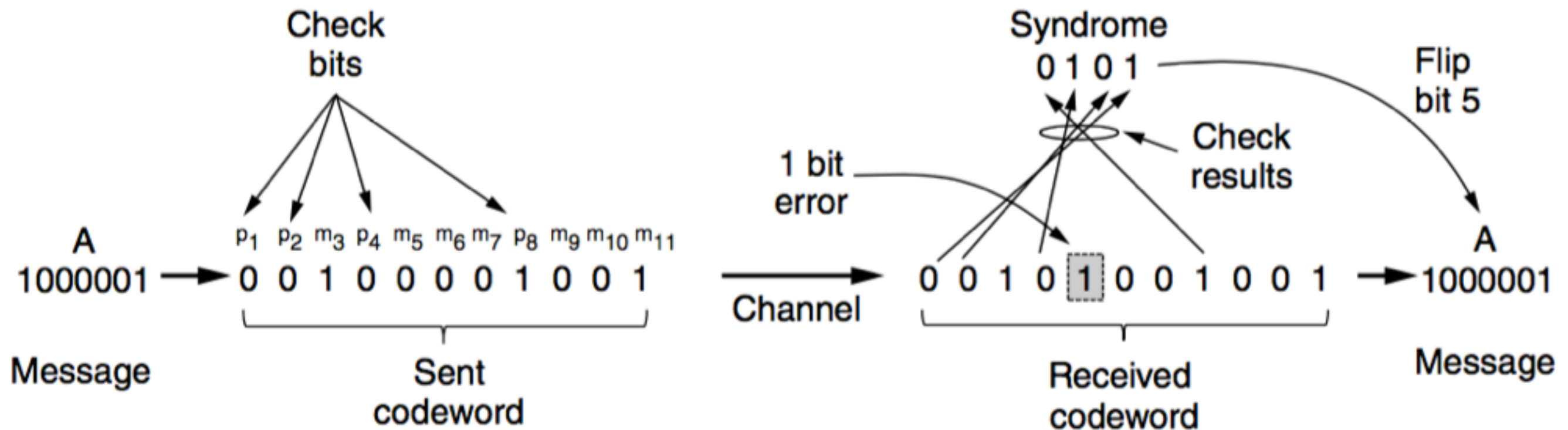
Data (4B)	Codeword (5B)	Data (4B)	Codeword (5B)
0000	11110	1000	10010
0001	01001	1001	10011
0010	10100	1010	10110
0011	10101	1011	10111
0100	01010	1100	11010
0101	01011	1101	11011
0110	01110	1110	11100
0111	01111	1111	11101

$$(m + r + 1) \leq 2^r$$

To detect d errors we need a code with $d+1$ distance

To correct d errors we need a code with $2d+1$ distance

Hamming codes



$$m = 7 \quad n = 11$$

$$r = 4 \quad d = 3$$

$$3 = 1 + 2$$

$$5 = 1 + 4$$

$$6 = 2 + 4$$

$$7 = 1 + 2 + 4$$

$$9 = 1 + 8$$

$$10 = 2 + 8$$

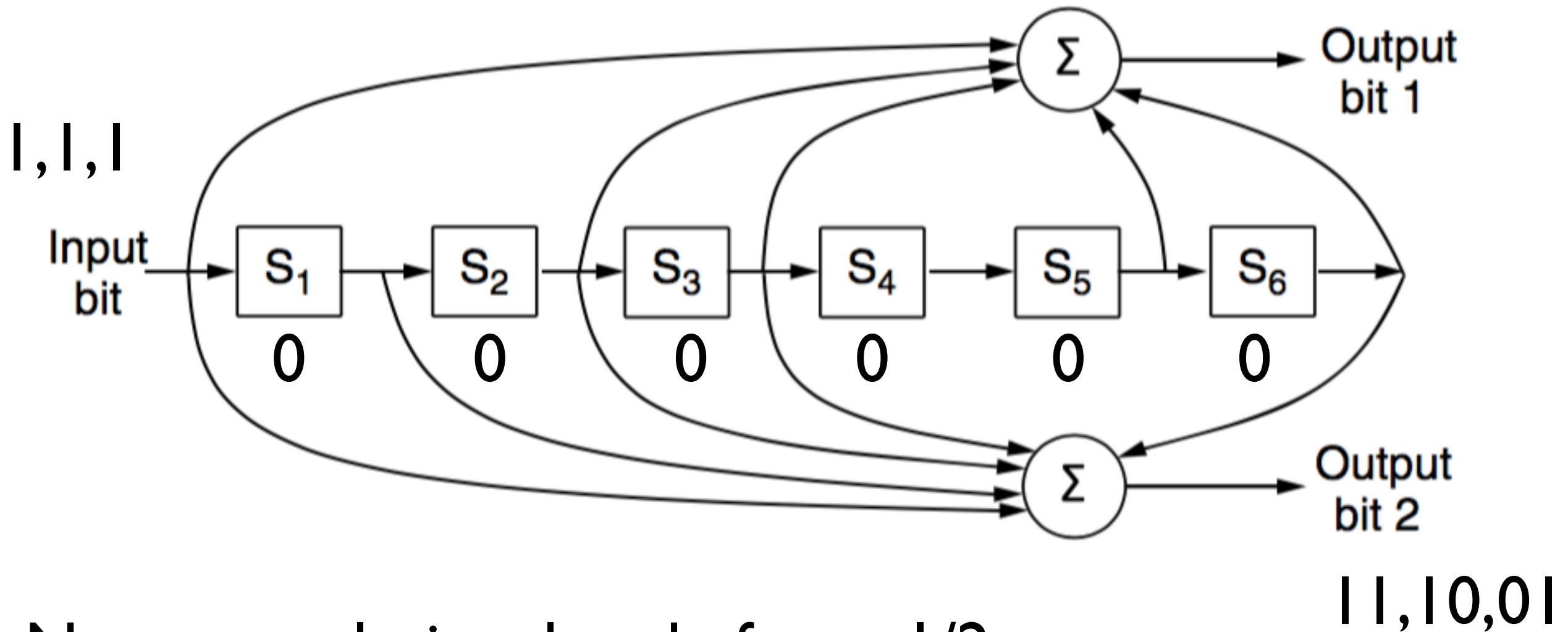
$$11 = 1 + 2 + 8$$

Bits that are powers of 2 are checkbits

Parity: if number of 1s is even 0, if odd 1 \longrightarrow Syndrome

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

Convolutional codes



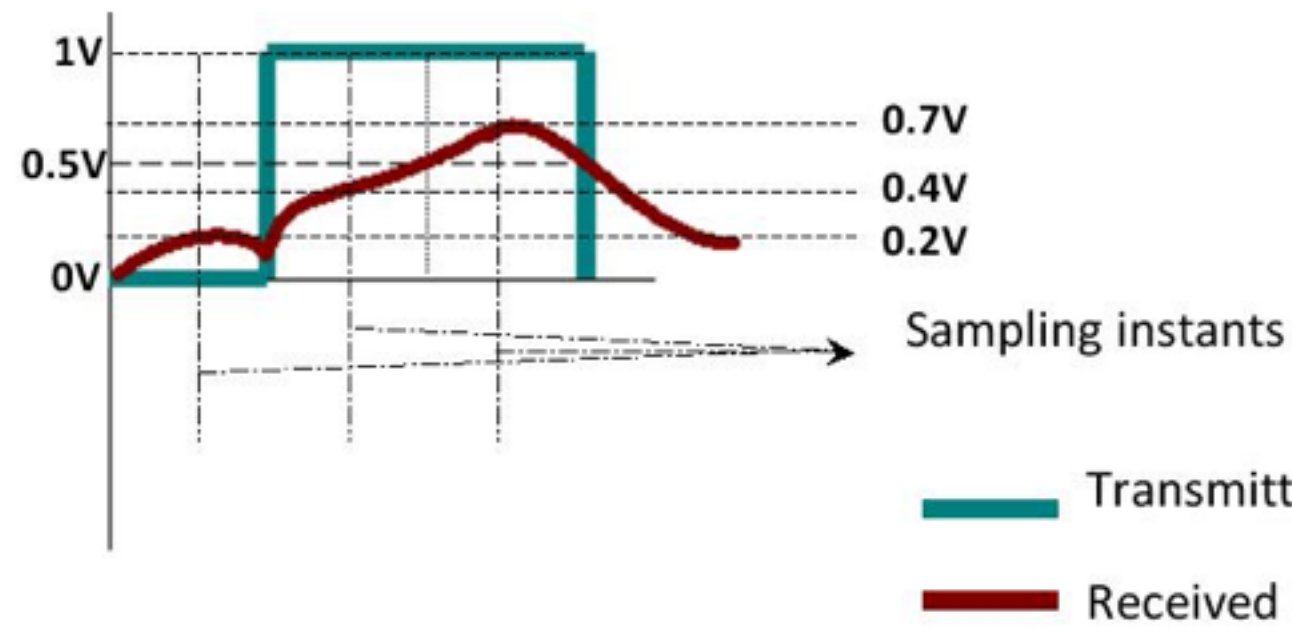
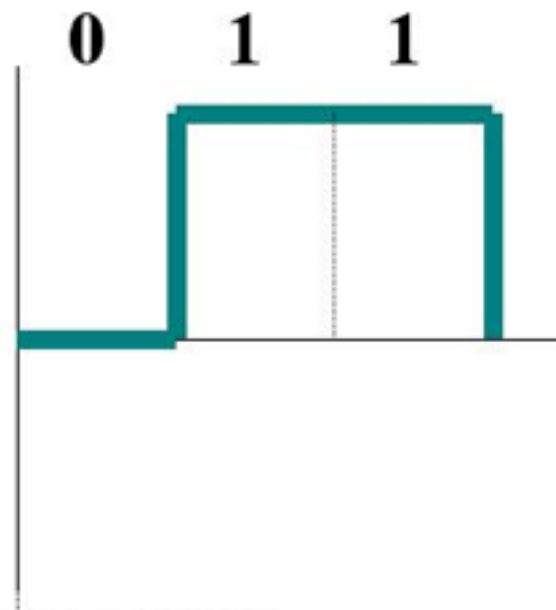
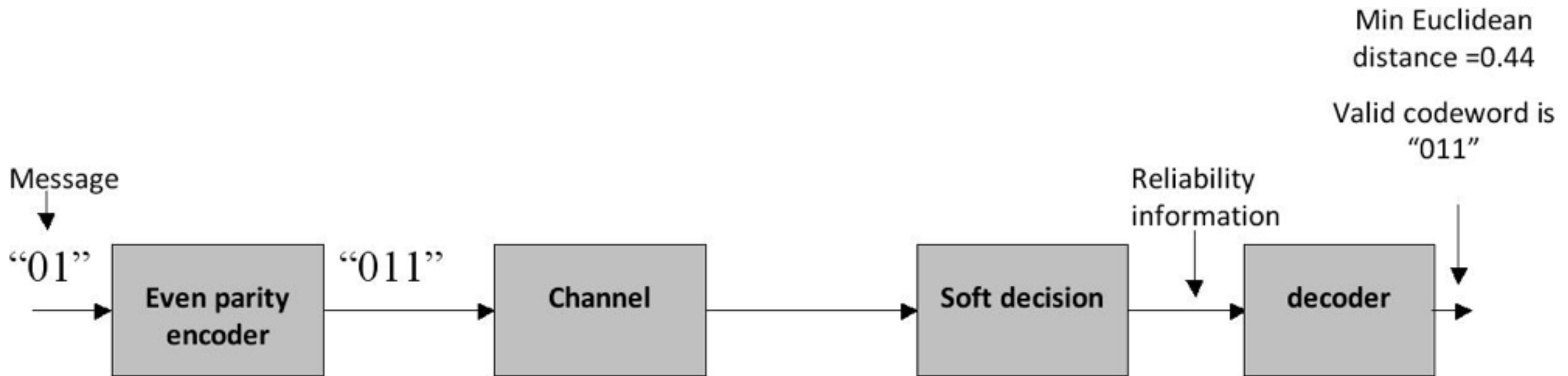
Nasa convolutional code for $r=1/2$

First used for the Voyager mission

Constraint length $k=7$

Number of shifts to flush the buffer

Soft-decision decoding



Reed-Solomon codes

The message $x = (x_1, \dots, x_k)$ is mapped to a polynomial

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

The codeword is obtained by evaluating $p_x(a)$ at n different points a_1, \dots, a_n

CDs, DVDs, Blu-ray Discs, QR Codes, DSL, and WiMAX

(255, 233) code is widely used

Error detecting codes

Error-detecting codes:

1. Parity.
2. Checksums.
3. Cyclic Redundancy Checks.

Append even parity

1011010 \longrightarrow 10110100

Consider the following case:

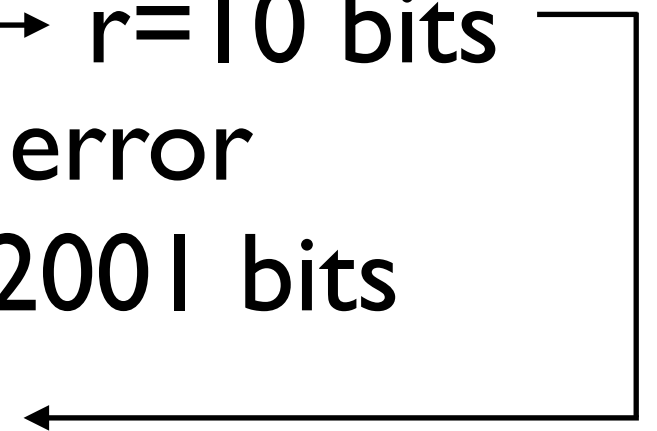
Error rate of the channel is 10^{-6}

Block size $m=1000$ bits $(m + r + 1) \leq 2^r \rightarrow r=10$ bits

Once every 1000 blocks there will be 1 error

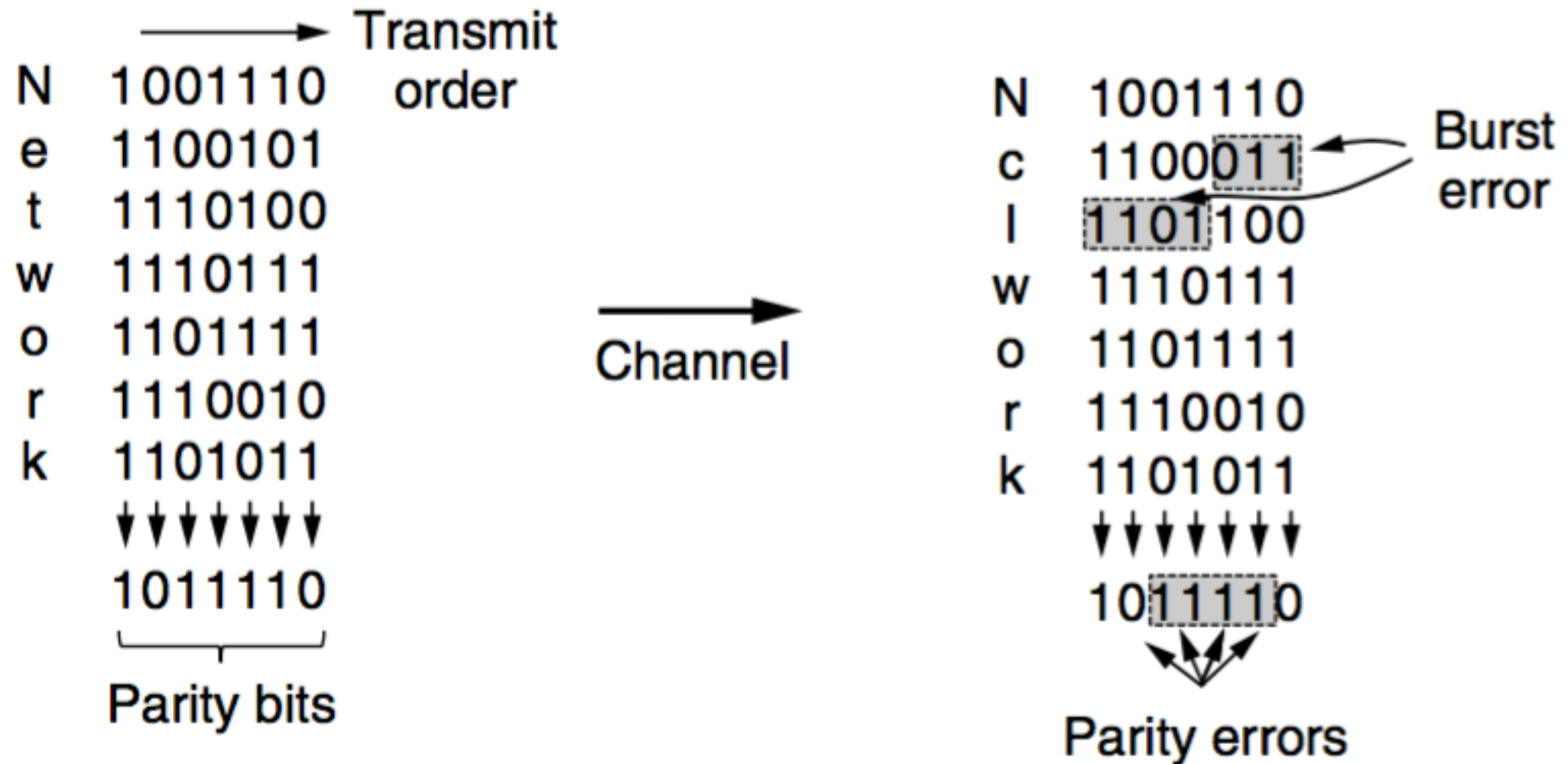
Error detection and resending requires 2001 bits

Hamming code will require 10,000 bits



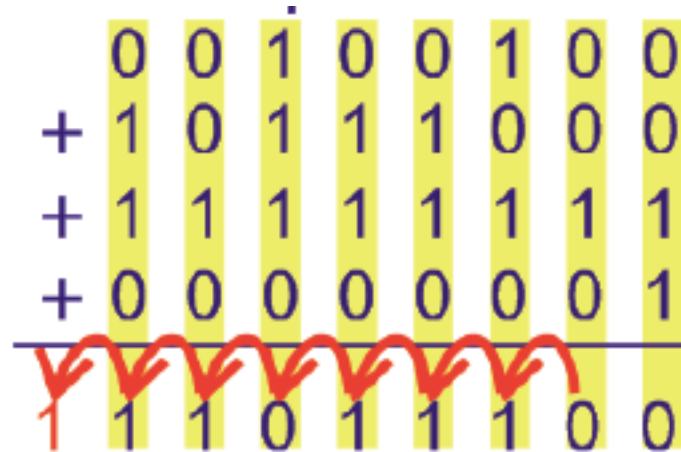
Interleaving

— multidimensional checksum —

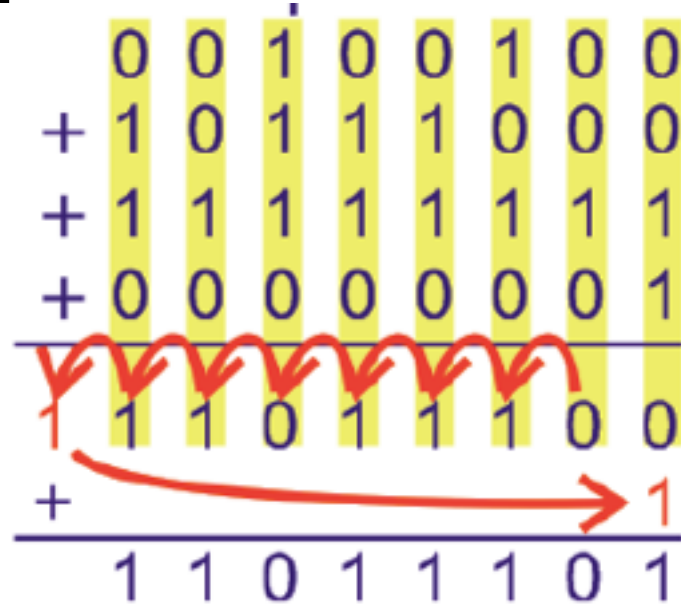


Checksums

Integer addition checksum



One's complement checksum



Fletcher's checksum

Use two running one's complement checksums

$A = A + \text{Byte}_i$; $B = B + A$;

Significant improvement comes from the running sum B

Cyclic redundancy check

— polynomial code —

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

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

1. Let r be the degree of $G(x)$. Append r zero bits to the low-order end of the frame so it now contains $m + r$ bits and corresponds to the polynomial $x^r M(x)$.
2. Divide the bit string corresponding to $G(x)$ into the bit string corresponding to $x^r M(x)$, using modulo 2 division.
3. Subtract the remainder (which is always r or fewer bits) from the bit string corresponding to $x^r M(x)$ using modulo 2 subtraction. The result is the checksummed frame to be transmitted. Call its polynomial $T(x)$.

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

Cyclic redundancy check

```

Frame:  1 1 0 1 0 1 1 1 1 1
Generator: 1 0 0 1 1

```

Diagram illustrating the CRC-16 calculation for the frame 10011. The frame is padded with four zeros to form the dividend 100110000. The divisor is the polynomial 110000011. The quotient is 1100001110 (labeled "Quotient (thrown away)"). The remainder is 10 (labeled "Remainder").

Transmitted frame: 1 1 0 1 0 1 1 1 1 1 0 0 1 0 ← Frame with four zeros appended minus remainder

講義日程 (1Q)

	授業計画		課題
04/05	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
04/12	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
04/19	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
04/26	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
05/10	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
05/17	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
05/24	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
05/31	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