

Computer Networks

コンピュータネットワーク 第07回

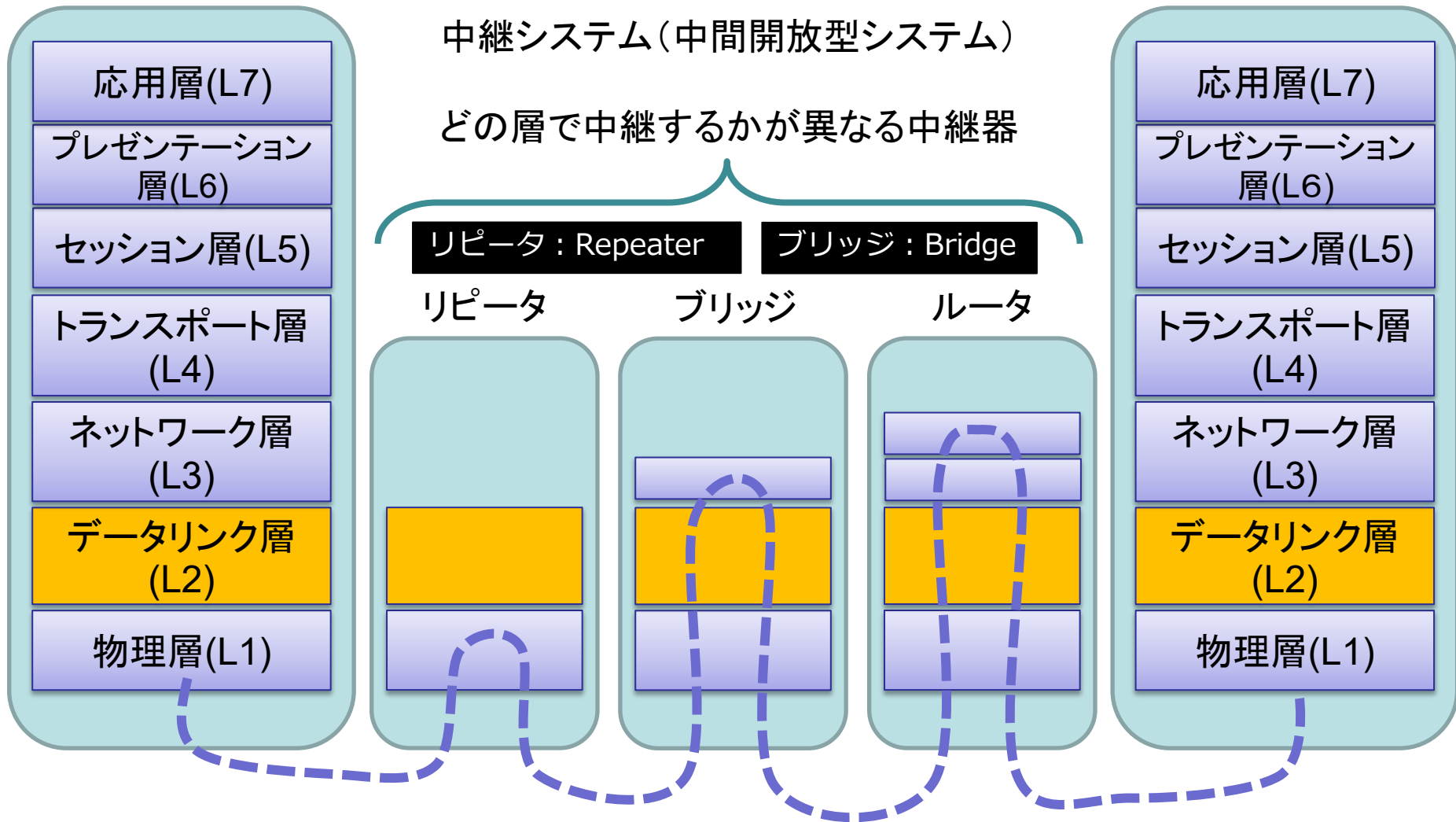
第7章 データリンク層

担当: 西村 俊和 (NISHIMURA Toshikazu)

E-mail: tnt@is.ritsumei.ac.jp

中継システム(再掲)

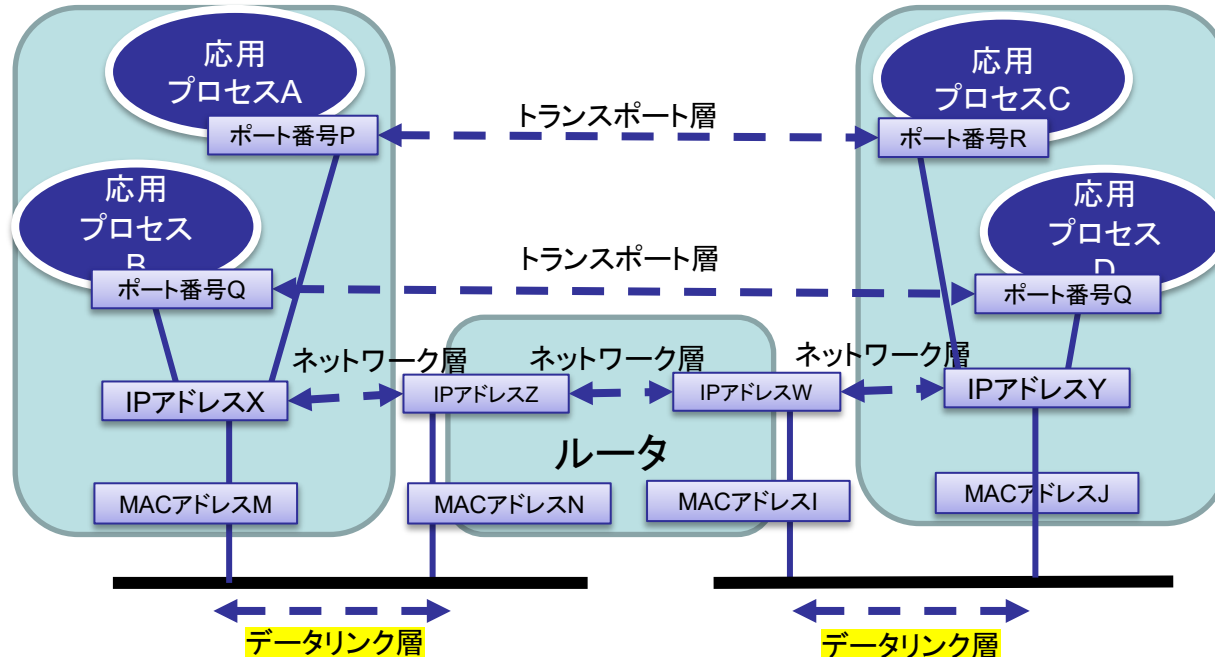
- 中継システム(ネットワーク層以下)ではパケット交換を担う。
- トランスポート層より上はEnd-To-Endの通信を担う。



データリンク層とは

データリンク : Data link

- OSI参照モデル(7階層)の第2層(L2)に相当する
- データリンク層は**直接接続**されている複数の端末間の通信を担う
 - ネットワーク層(L3)は「中継」を担う
 - トランスポート層(L4)は「End-To-End通信」を担う



データリンク層の概要

● データリンク制御

- データリンクとは送信ノードと受信ノードの間に生成される論理的な伝送路
- データリンクの確立と解放
- リピータ(物理層(L1))やブリッジ(L2)を介して繋がったノード間で成立

● 同期制御

- 送信ノードと受信ノードで伝送のタイミングを合わせる
 - 送信側:「フレーム」を生成
 - 受信側:フレームの開始と終了を検知しデータを取得

● 誤り制御

- 受信側で正しくデータが受け取れたかを確認し必要なら訂正する

● 上位層の多重化

- 複数の上位層プロトコルを混在させる(IPとNETBEUIなど)

● フロー制御

- 受信ノードの処理能力を越えない速度で送信するようにデータの流量を調整する

MAC副層
(Media Access
Control)

フレーム : Frame

LLC副層
(Logical Link
Control)

データリンク層の代表的プロトコル

- HDLC(High-level Data Link Control)

- ISO策定のデータリンクプロトコル

- PPP (Point to Point Protocol)

シリアル : Serial

- 電話回線などを使ったシリアル通信上のデータリンク
- ダイヤルアップ機能と認証機能を定義(ダイヤルアップPPP)

ダイヤルアップ : Dialup

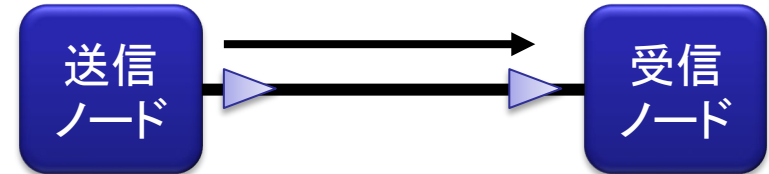
- イーサネット(Ethernet)(DIXとIEEE802.3の複数規格)

- LAN(Local Area Network)ではデファクトスタンダードのネットワーク規格。物理層(L1)を含む。
- LANの回で詳述

データ通信の基礎

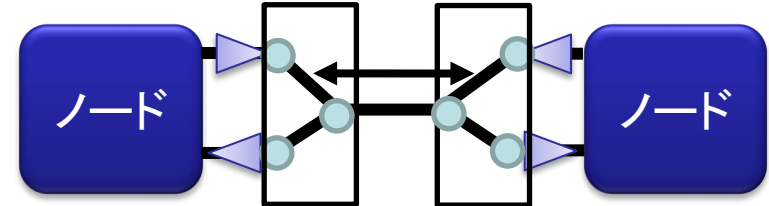
● 単方向通信(Simplex Communication)

- 送信ノード1つと受信ノード1つを1本の伝送路で接続
- 送信→受信への一方向のみの伝送



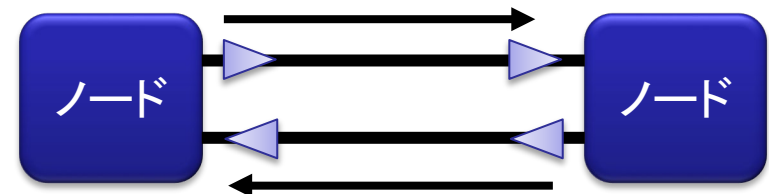
● 半二重通信(Half-duplex Comm.)

- ノード間を1本の伝送路で接続し、伝送方向を切り替えることで双方向の伝送を行う
- 同時には双方向伝送できない
- どちらに送信するか決める必要がある



● 全二重通信(Full-duplex Comm.)

- 送信用／受信用に2本の伝送路を用意して同時双方向伝送可能。
- 多重アクセス制御によって3つ以上のノードで通信も可能
(FDMA, CDMA)



ノードの接続形態(トポロジー)

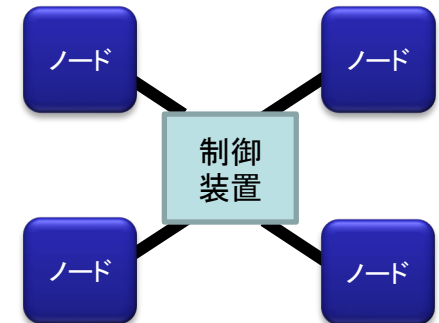
● ネットワークトポロジー

ネットワークトポロジー : Network topology

- 複数ノードが接続されている**ネットワークの接続形態**として以下の3種類が代表的

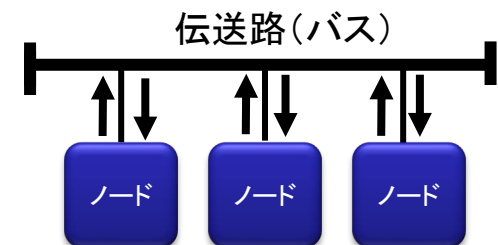
● スター型(Star topology)

- 1台の制御装置を介して複数のノードを接続
- ノード増減が自由、故障原因の特定が容易
- 制御装置が故障すると全滅



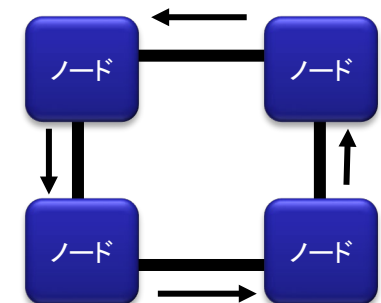
● バス型(Bus topology)

- 1本の伝送路をすべてのノードが共有
- ノード増減がわりと自由、1ノード故障しても残りに影響が少ない
- 「衝突(Collision)」が発生し性能が落ちる



● リング型(Ring topology)

- ノード間をリング状の伝送媒体で接続
- 配線が比較的短くて済む→大規模ネットワーク
- 1ノードの故障が全体に大きく影響



● データリンクの確立と解放

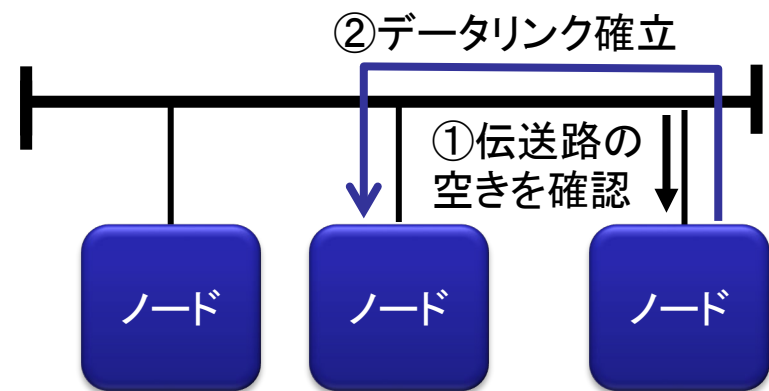
- 単方向通信では不要(送信者は自明)
- 全二重通信では不要(それぞれの方向に専用伝送路が存在する)
- 半二重通信では必須(誰が誰に送信するか通信前に決めて、伝送路を専有しないといけない)
- コンテンション方式
- ポーリング／セレクトイング方式

コンテンション : Contention

ポーリング／セレクトイング : Polling / selecting

● コンテンション方式

- すべてのノードが対等で早いもの勝ちでデータリンクを確立
- 使用中のときは待機して再実行
- 「衝突」への対策が必要(イーサネットのCSMA/CDなど)
 - 衝突の回避／検知と再送



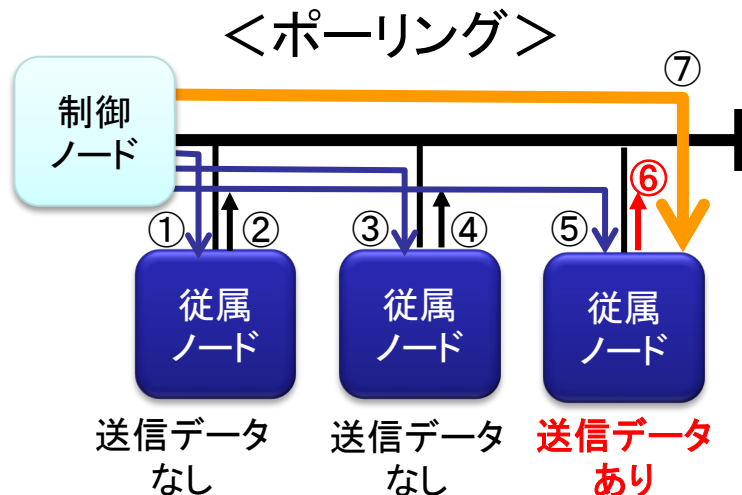
データリンク制御

● ポーリング／セレクトイング方式

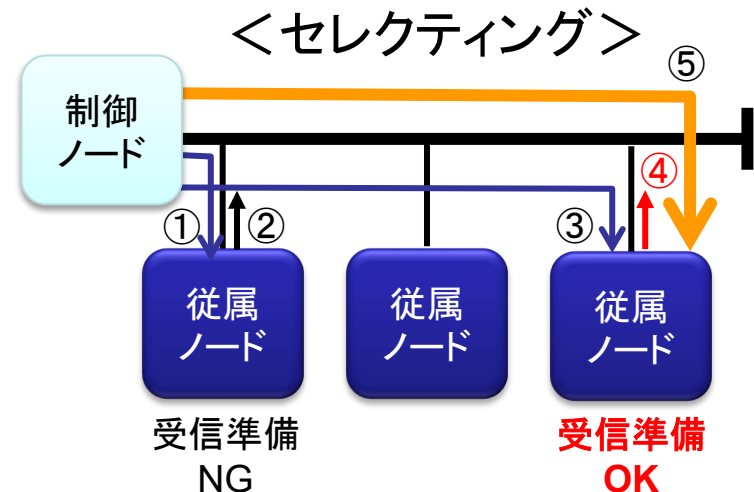
- データリンクを制御するノード： 制御ノード
- すべての通信は制御ノードと従属ノードの間でのみ行われる
 - 従属ノード間の通信はいったん制御ノードを介して行う必要がある。
- ポーリング： 従属ノードから制御ノードへの送信
- セレクトイング： 制御ノードから従属ノードへの送信

ポーリング : Polling

セレクトイング : Selecting



- ①③⑤送信データの有無確認
- ②④否定応答
- ⑥肯定応答
- ⑦データリンク確立

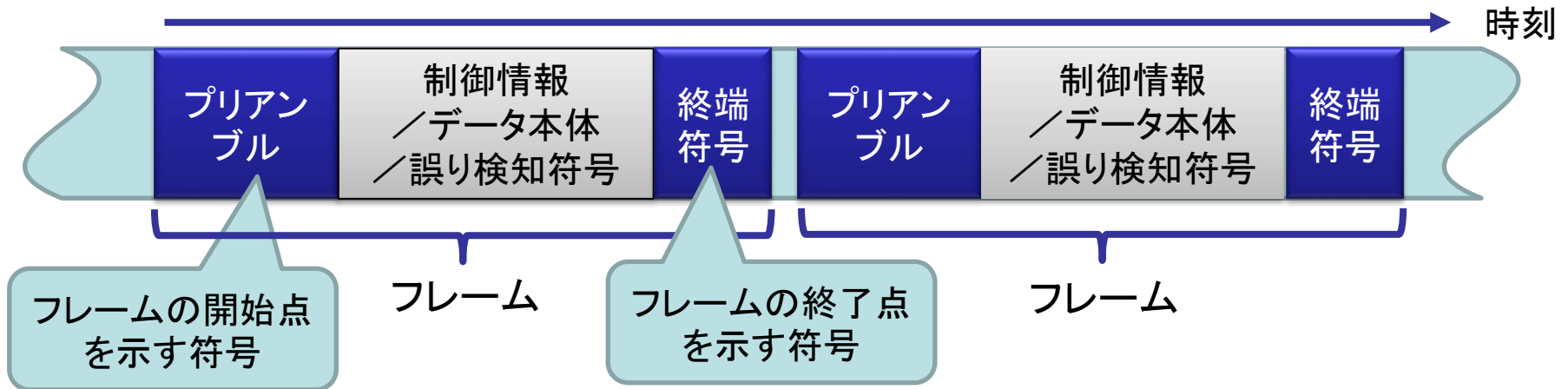


- ①③受信準備OKか確認
- ②否定応答
- ④肯定応答
- ⑤データリンク確立

● 同期制御とは

データリンクフレーム : Data link frame

- メディアアクセス制御(Media Access Control: MAC)とも
- 送信ノードと受信ノードでデータ送受信のタイミングをあわせること
→ 「データリンクフレーム」(単にフレームとも)



● データリンクフレーム

- MAC副層の実装ごとに異なるフレームの定義がある。
Ethernet II(DIX), Ethernet(802.3), PPP, HDLC他

HDLCフレーム (High-level Data Link Control Frame)

● HDLCフレームの種類

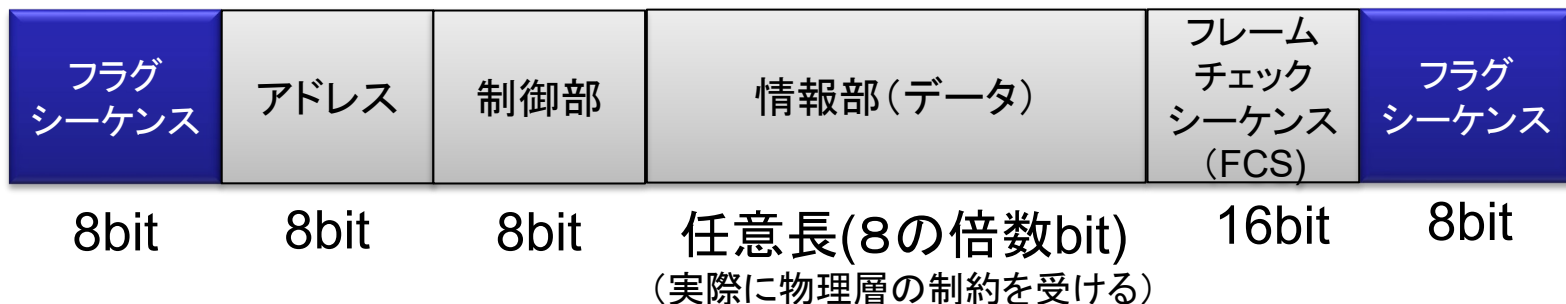
- I形式：データを伝送する形式(制御部に順序番号を格納)
- S形式：伝送の制御を行う形式
(再送・フロー制御：受信可／不可／受信拒否など)
- U形式：動作モード設定、異常通知を行う形式

フレームチェックシーケンス : Frame check sequence

● HDLCフレームの構造

フラグシーケンス : Flag sequence

- データの開始点、ノード識別子(アドレス)、
送受信の制御情報、データ本体、誤り検知符号



HDLCのフラグシーケンスとゼロインサート



● HDLCのフラグシーケンス

- フレーム開始と終了を示すビット列：「0111 1110」
- 同じビットが伝送したいデータに含まれた場合、そのまま送信するとフラグシーケンスと区別できない。

● ゼロインサート

ゼロインサート : Zero insert

- 送信データの中に「11111」と1が5回連続したら、その直後に「0」を挿入する
- 受信したときに「11111」と1が5回連続したらその直後の「0」を取り除く

0011 1111 1111 1100



0011 1110 1111 1011 00

● 誤り制御とは

- 物理層で生じるノイズ等による伝送誤りへの対応
- 誤り検出：誤りを見つけるだけ。そのフレームは破棄
- 誤り訂正：冗長性のある符号を用いて誤りを修復する、あるいは破棄されたフレームの再送を要求する

● 誤り検出

- 垂直パリティ
- チェックサム
- CRC(Cyclic Redundancy Code)

パリティ : Parity

チェックサム : Checksum

● 誤り訂正

- 再送訂正
- 自己訂正

● 垂直パリティ(Vertical parity)

- 文字単位(5~8bit)ごとに「1」のbitの個数が偶数ないしは奇数になるように1bit付加する: 偶数パリティ／奇数パリティ
- 例)「00110000」→「00110000 0」(偶)／「00110000 1」(奇)
- 送られたパリティと計算したパリティを比較
- 偶数個のビットが反転すると検知できない

● チェックサム(Checksum)

ワード : Word

- ワード単位(8／16bit)に分割してワードの和を計算し1ワード付加する
- 例)「1111 1000 1111 1001 1111 1010 1111 1011」
足すと「11 1110 0110」→下位1ワードをとる「1110 0110」
- 送られたチェックサムと計算したものとを比較
- 検知できない誤りもある(16bitなら1/65536の確率)

● 巡回冗長検査 (Cyclic Redundancy Code: CRC)

- ワード単位(8,12,16,32bit)にわけ、特定多項式(規格によって異なる)による計算結果を求める(CRC-CCITT, CRC-32)
- 符号理論に基づいて、被検査ビット列を特定のビット列(=特定多項式)で除算し、その剰余をチェックする
- CRC-32なら 2^{32} 通りを完全に区別できる

10010100
除数 101001

● 例) CRC-5の場合

入力「10010100」

特定多項式「 x^5+x^3+1 」 → 「101001」

$10010100 \% 101001 = 11001$ (10進数で25)

2進数の割り算はXORの繰り返しで計算できる。

([http:// https://ja.wikipedia.org/wiki/巡回冗長検査](http://https://ja.wikipedia.org/wiki/巡回冗長検査))

0011000
101001

110000
101001

11001

● 再送訂正

- 誤り検知をして、誤りだった場合はフレームを破棄し、制御部の信号を使って再送要求フレームを送信元にする。
- どのフレームが破棄されたかを指定するフィールドが必要
- 再送要求の制御は上位層(TCPなどトランスポート層)で扱うほうが単純で効率がよいため、あまりL2では使われない。

● 自己訂正

ハミング符号 : Hamming code

- 誤り訂正符号(Error Correction Code)をデータに付加して、その冗長性を利用して壊れたデータを復元する
- ハミング符号: パリティの拡張版
 - ビットの集合を複数つくってそれぞれのパリティを求め付加する
 - どのパリティビットが反転したかによってどのビットが誤りかわかる
 - パリティビットを増やせば複数ビットの誤りも訂正できる

パリティビット : Parity bit

ハミング符号: R. W. ハミング(Hamming) (1950)

P ₁	P ₂	D ₁	P ₃	D ₂	D ₃	D ₄
1	0	1	1	0	1	0
1	0	1	1	0	1	0
P ₁ = OK		P ₂ = OK		P ₃ = OK		
1	0	1	1	0	1	0
P ₁	P ₂	D ₁	P ₃	D ₂	D ₃	D ₄

すべてのパリティが一致＝誤りなし

Bits	P ₁	P ₂	D ₁	P ₃	D ₂	D ₃	D ₄	P ₄	D ₅	D ₆	D ₇	D ₈	D ₉	D ₁₀	D ₁₁
P ₁	X		X		X		X		X		X		X		X
P ₂		X	X			X	X			X	X			X	X
P ₃				X	X	X	X					X	X	X	X
P ₄								X	X	X	X	X	X	X	X

データ11bit, パリティ4bitの各パリティ計算の対象bit

P ₁	P ₂	D ₁	P ₃	D ₂	D ₃	D ₄
1	0	1	1	0	1	0
1	0	1	0	0	1	0
P ₁ = OK		P ₂ = OK		P ₃ = Error		
1	0	1	1	0	1	0
P ₁	P ₂	D ₁	P ₃	D ₂	D ₃	D ₄

パリティP3だけ不一致＝P3が誤り

P ₁	P ₂	D ₁	P ₃	D ₂	D ₃	D ₄
1	0	1	1	0	1	0
1	0	0	1	0	1	0
P ₁ = Error		P ₂ = Error		P ₃ = OK		
1	0	1	1	0	1	0
P ₁	P ₂	D ₁	P ₃	D ₂	D ₃	D ₄

パリティP1/P2のみ不一致＝D1が誤り

- データリンク層とは
 - HDLC (High-level Data Link Control)
- データ転送の基礎
 - 単方向・半二重・全二重
 - スター型・バス型・リング型
- データリンク制御
 - コンテンション方式・ポーリング／セレクトティング方式
- 同期制御
 - データリンクフレーム
- 誤り制御
 - 誤り検出：パリティ・チェックサム・CRC
 - 誤り訂正：再送訂正・自己訂正