

計算機網路概論



IEEE 802.3 Ethernet 乙太網路

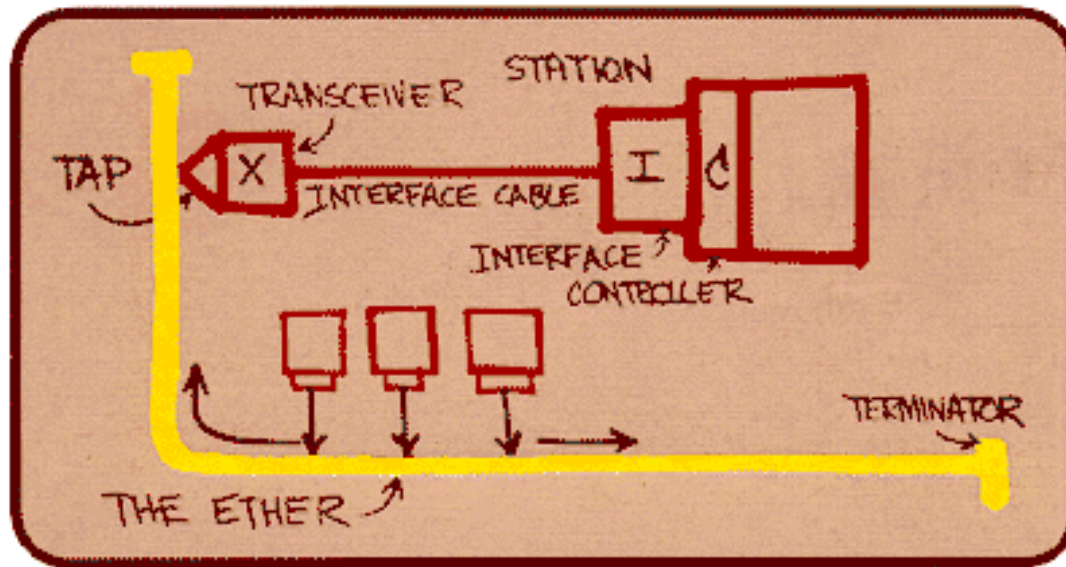
© All rights reserved. No part of this publication and file may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without prior written permission of Professor Nen-Fu Huang (E-mail: nfhuang@cs.nthu.edu.tw).

大綱

- 簡介
- Ethernet 網路拓撲
- Ethernet 訊框格式
- Ethernet MAC 協議 -- CSMA/CD
- 802.3 Ethernet 標準

Ethernet 乙太網路

- 過去三十年中最成功的區域網路技術
- 第一個被廣泛使用的區域網路技術
- 傳輸速度約可達到: 10 Mbps – 100 Gbps



Metcalfe's Ethernet 骨架

Ethernet 乙太網路

- 於 1970 年代中期，一群位於全錄帕羅奧多研究中心(Xerox PARC)的研究員共同發展而成
- 於1987年，DEC 與 Intel 加入 Xerox 共同定義了 **10-Mbps Ethernet** 標準。
- 此標準由 **IEEE standard 802.3** 所組成
- 目前許多802.3 的標準已被延伸成以下版本
 - 100-Mbps 版本稱為 **高速乙太網 (Fast Ethernet)**,
 - 1000-Mbps 版本稱為 **千兆乙太網 (Gigabit Ethernet)**,
 - **10 Gigabit Ethernet**, 最後還有
 - 100 Gigabit Ethernet

Ethernet: 不可靠傳輸, 無連線傳輸

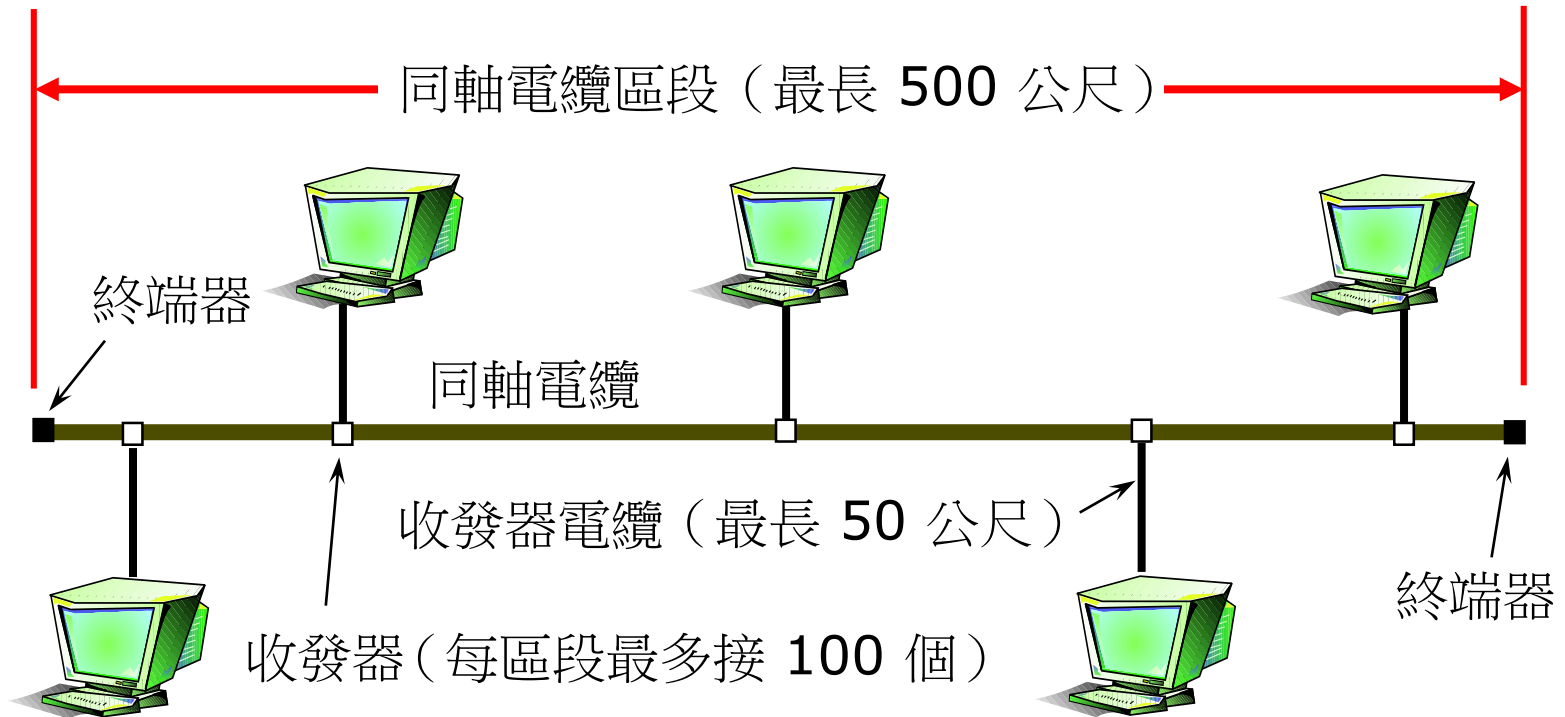
- **無連線 (Connectionless)**: 傳送端網路介面卡及接收端網路介面卡之間傳送封包前不需建立連線
- **不可靠傳輸 (Unreliable)**: 接收端的網路介面卡不會送資料傳輸確認訊息(ACKs)或資料傳輸未確認訊息(NACKs)給傳送端之網路介面卡
- 乙太網路的 MAC 協定: **載波偵聽多重存取/碰撞檢測(CSMA/CD)**

大綱

- 簡介
- **Ethernet 網路拓撲**
- **Ethernet 訊框格式**
- **Ethernet MAC 協議 -- CSMA/CD**
- **802.3 Ethernet 標準**

匯流排拓樸 (Bus Topology)

- 匯流排拓樸流行於 90年代
 - 所有端點皆於同一碰撞區域 (同時傳送會相互碰撞)

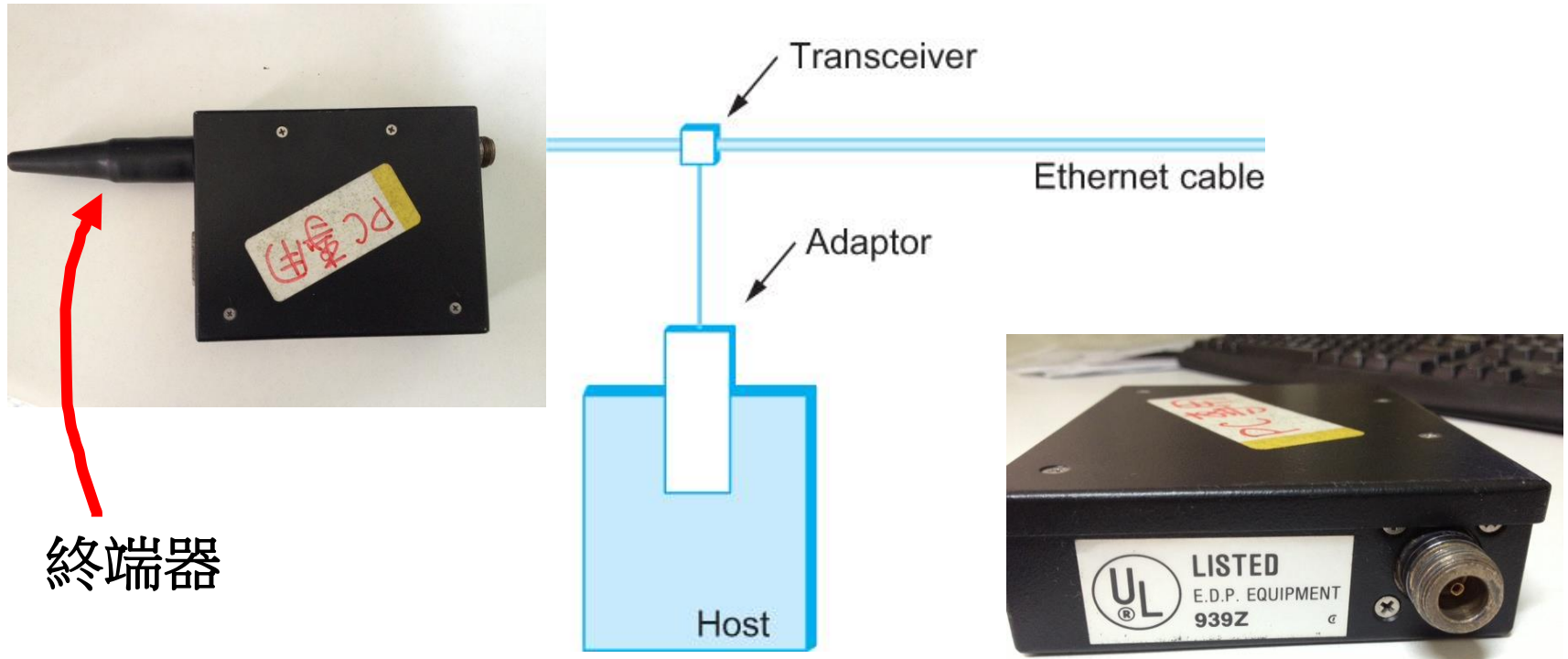


Ethernet 乙太網路 (10Base5)

- 乙太網路段為最長可達 500 公尺的同軸纜線
- 主機藉由分接技術連接到乙太網路段上
- 一個收發器（一個直接連接在分接點上的小裝置）用以偵測鏈結是否閒置，並在主機傳送時負責驅動訊號
- 收發器也負責接收傳入的訊號
- 收發器的另一端連接到乙太網路介面卡，而介面卡則插在主機上。但目前多數是直接實作在電腦上。
- 此 CSMA/CD 協議均是實做在介面卡上。

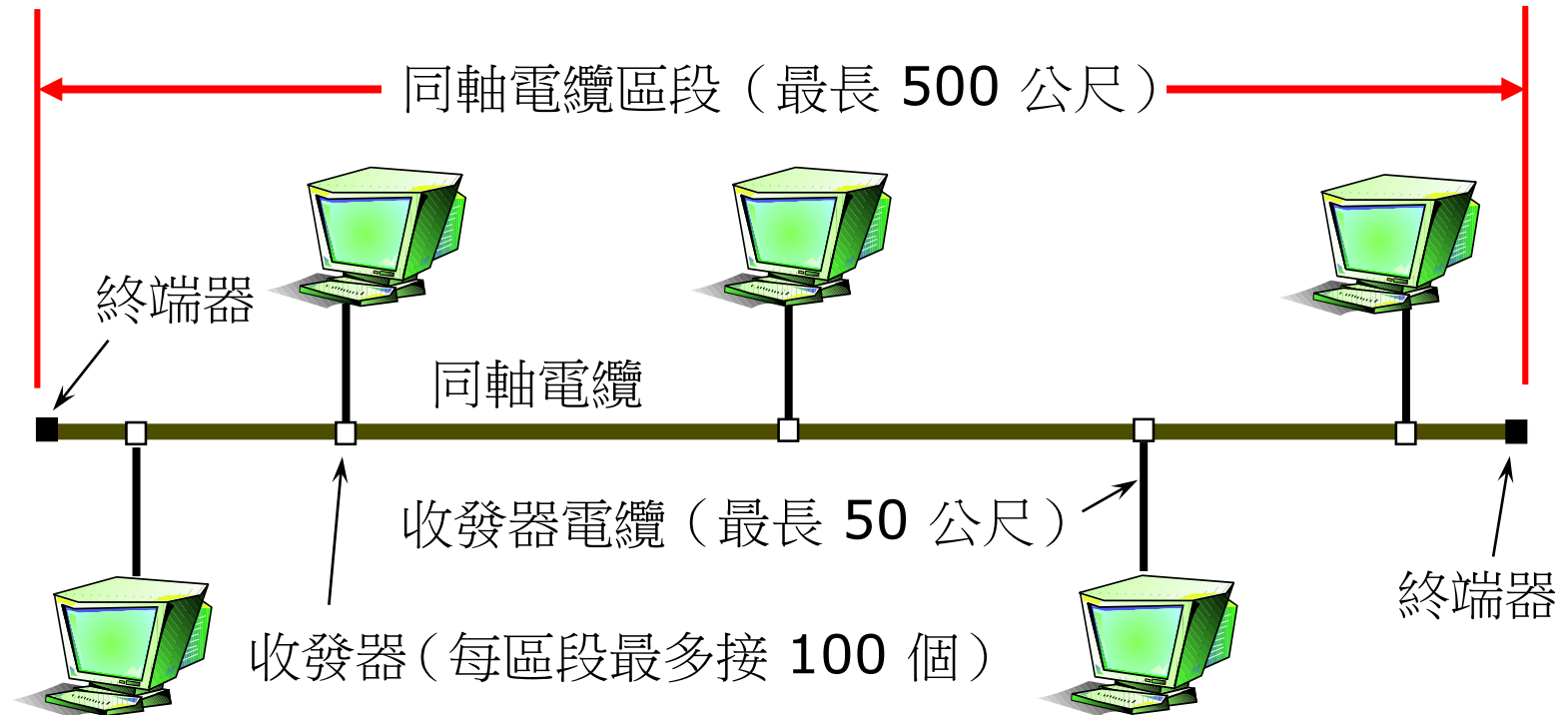


Ethernet 乙太網路 (10Base5)

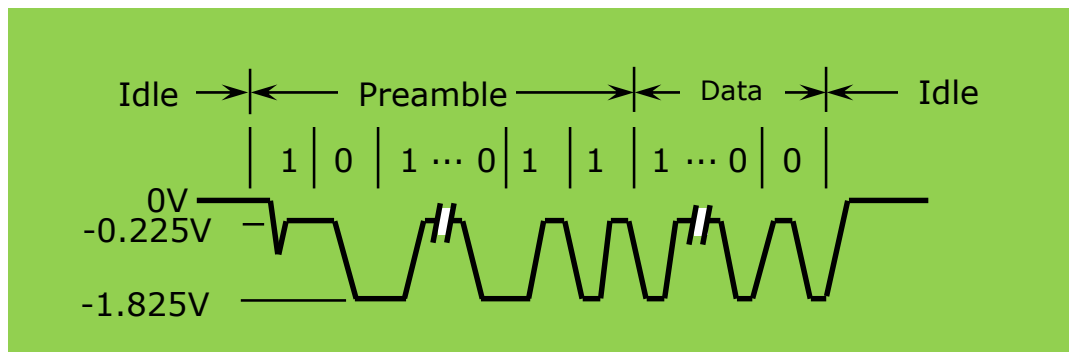


乙太網路收發器, 介面卡, 和 終端器

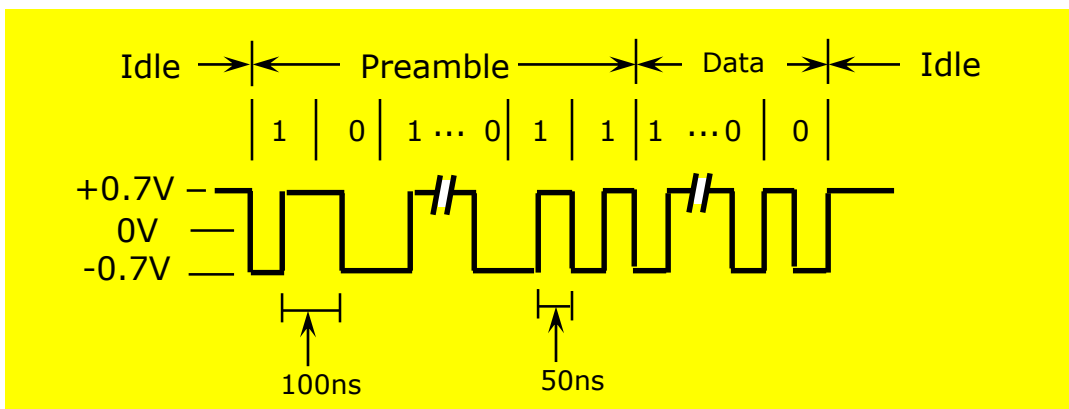
網路架構範例 1 (單一網段)



纜線訊號(曼徹斯特編碼)



同軸電纜上訊號



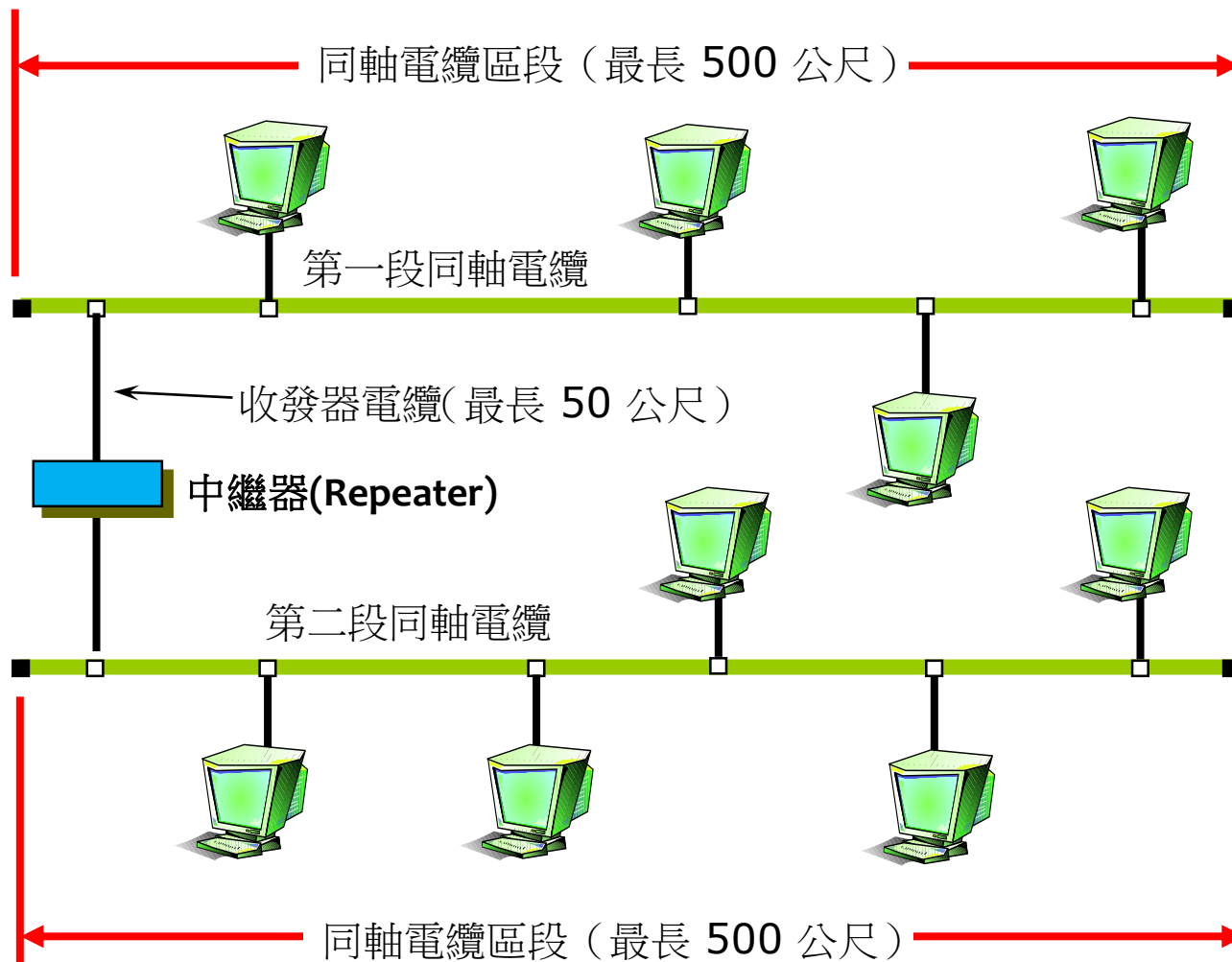
收發電纜上訊號

- 每一位元都會有一電位轉變(如同 clocks)
- 可用來讓傳送端及接收端進行時間的同步

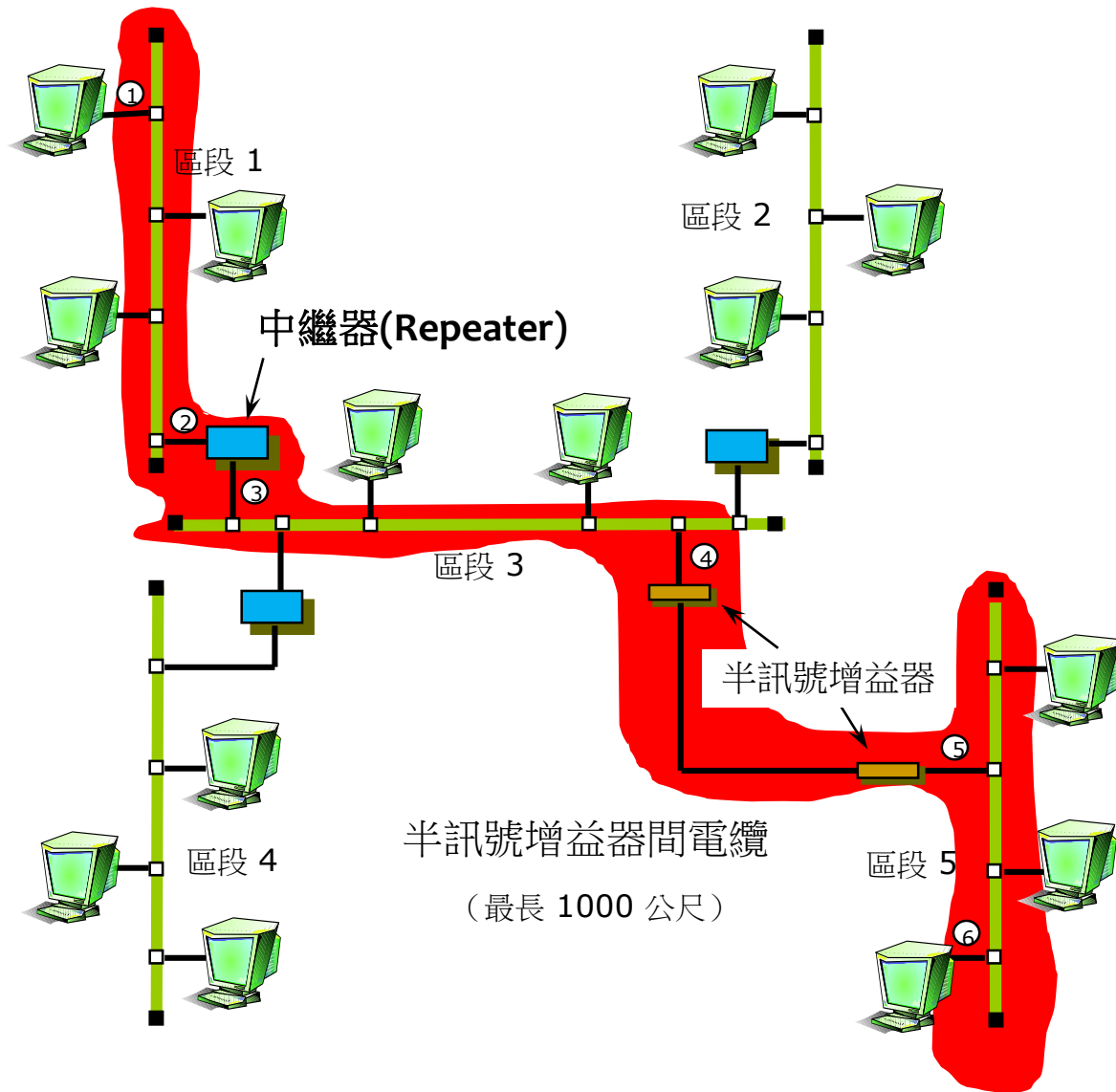
Ethernet 乙太網路 (10Base5)

- 多個乙太網路段可以藉由**中繼器(repeater)**來連接
- 中繼器是用來傳送數位訊號的裝置
- 任兩部主機之間不能有超過四台中繼器
 - 這表示一個乙太網路的最大可達範圍長度僅為 2500 公尺

網路架構範例 2 (雙網段)



網路架構範例 3 (五網段, 最大上限)



Ethernet 乙太網路 (10Base2)

■ 乙太網路新技術

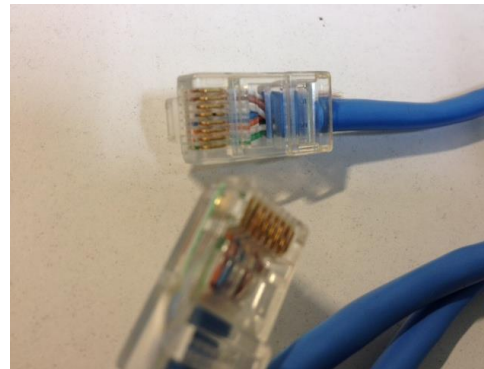
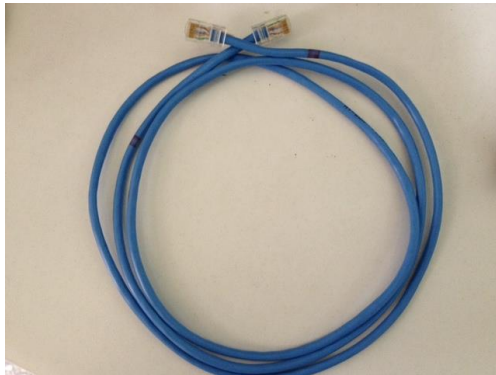
- 非使用同軸電纜，乙太網路也可以使用較細的纜線來實作，稱之為**10Base2** (原先的則稱之為**10Base5**)
 - ▶ **10** 表示該網路以**10 Mbps**運作
 - ▶ **Base** 起因於此類纜線被用於基頻系統
 - ▶ **2** 表示每一網段最長為 **200 公尺**



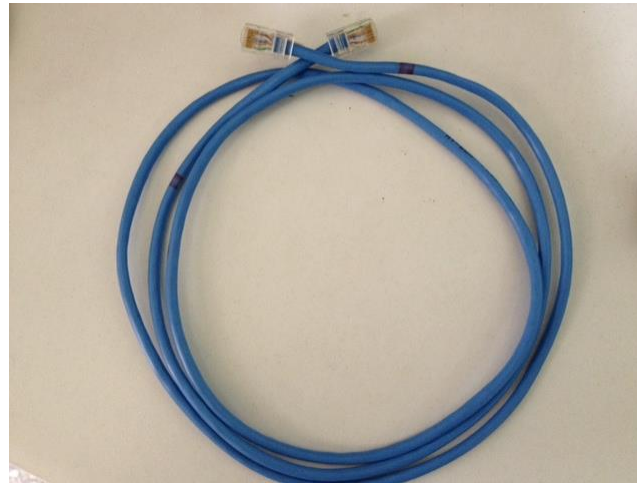
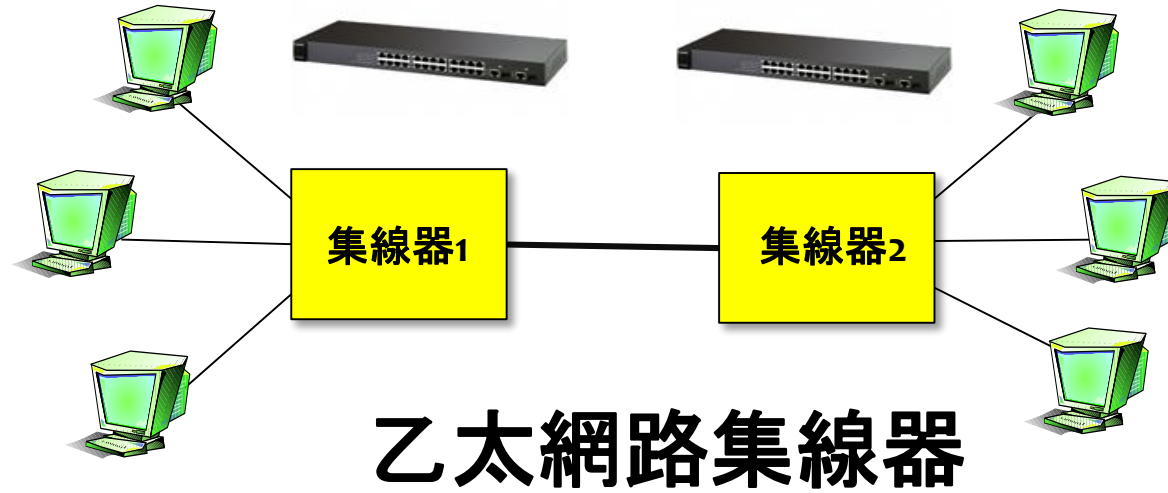
Ethernet 乙太網路(10BaseT)

■ 乙太網路新技術

- 一個更新的纜線技術稱作10BaseT
 - ▶ T代表雙絞線
 - ▶ 長度限制在100公尺以下
- 以10BaseT而言,常見的組態是許多點對點網段集中至一個多重中繼器,也稱作**集線器 (Hub)**

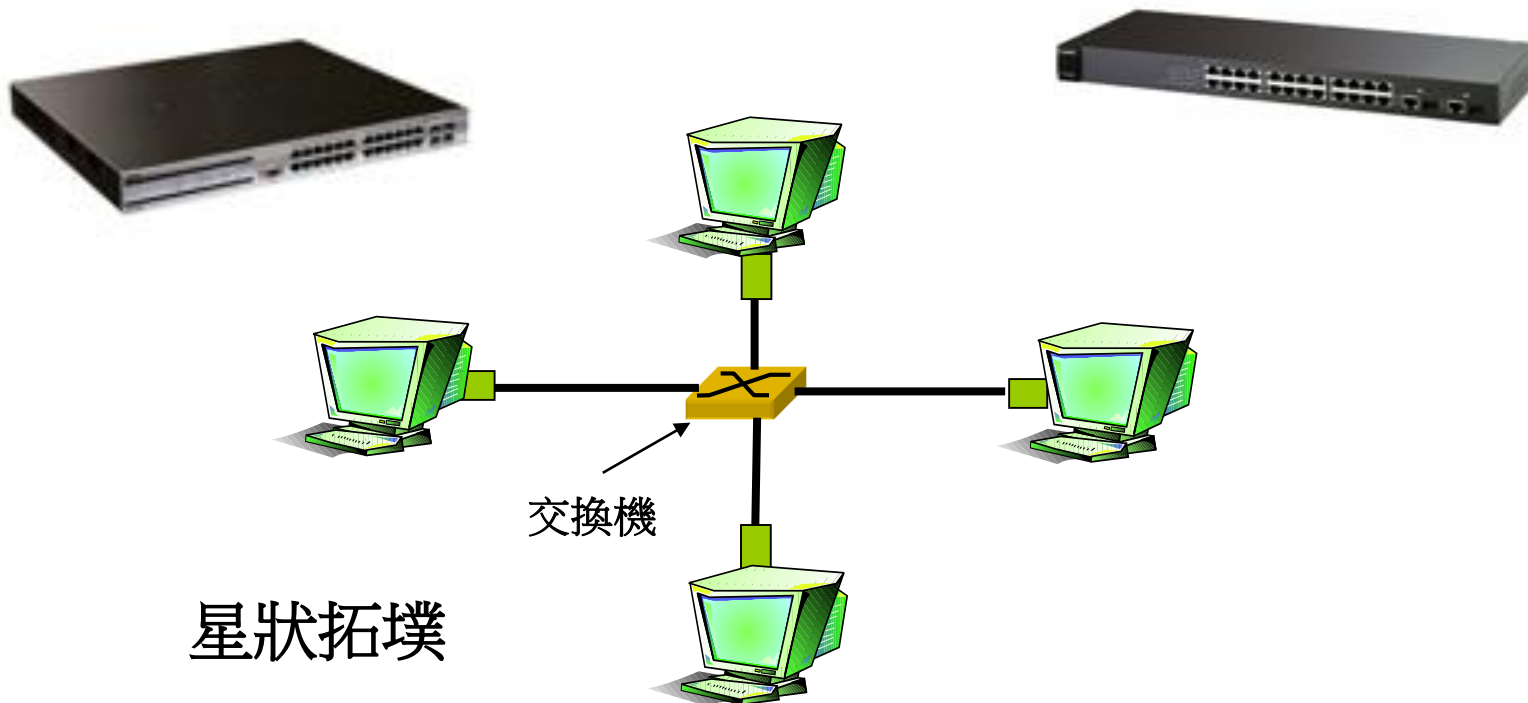


Ethernet 乙太網路



Star Topology 星狀拓撲

- 現今的乙太網路拓撲以星狀網路最為盛行
 - 交換機置於星狀拓撲最中間
 - 分散式的乙太網路協定 (主機和主機之間的訊息不會相互碰撞)

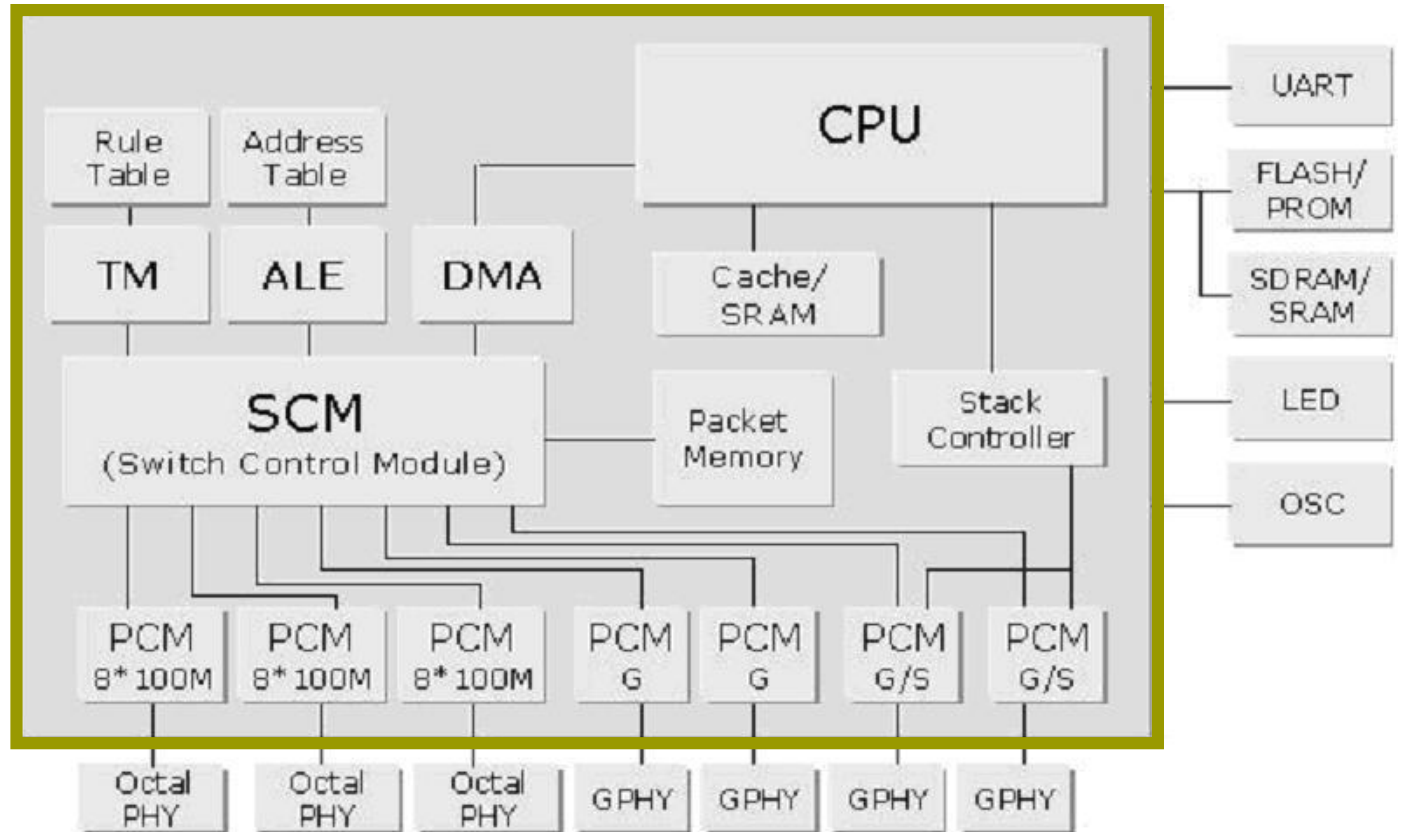


Ethernet-Switch 乙太網路交換機

- 為了加速乙太網路集線器的傳輸速度且不改變主機上的介面卡
- 乙太網路交換機的架構
- 每一乙太網路接口(port)都可同時傳輸



Ethernet 交換機晶片範例



Block Diagram

Acute Leo AQ6628 24+4 Ethernet Switch ASIC

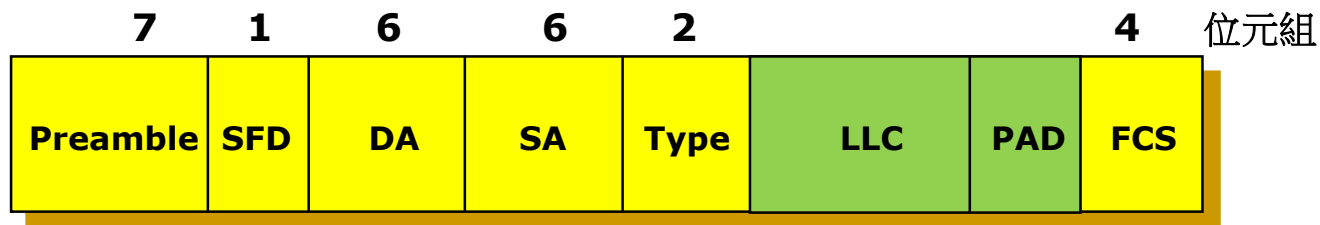
大綱

- 簡介
- Ethernet 網路拓撲
- Ethernet 訊框格式
- Ethernet MAC 協議 -- CSMA/CD
- 802.3 Ethernet 標準

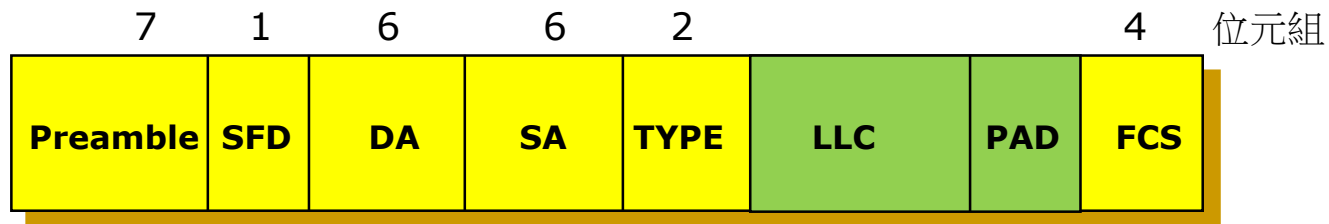
Ethernet 訊框格式

■ 訊框 (Frame) 格式

- **Preamble 先導位元 (64 位元):** 使得接收端得以進行訊號同步
 - ▶ 一系列交錯的 0 與 1 訊號
- **Source and Destination MAC Addresses (每個 48 位元)**
來源及目的端主機的網卡位址
- **Packet type 封包型別(16 位元):** 指出此訊框應被送到哪個上層協議
- **Data 資料 (最多包含 1500 位元組)**
 - ▶ 資料最少要有 46 位元組
 - ▶ 資料要夠長到能夠偵測傳輸是否發生碰撞
- **FCS 訊框檢查碼: CRC (32 位元)**



Ethernet 訊框格式



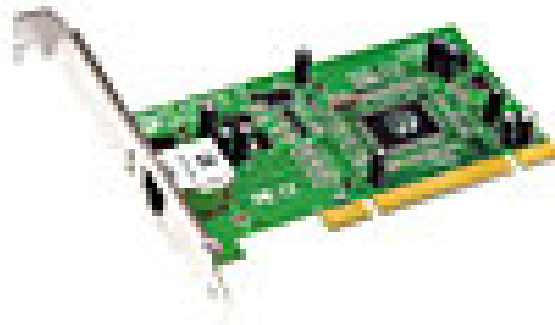
- Preamble: (101010...1010) for Synchronization
- SFD: Start Frame Delimiter (10101011)
- DA: Destination MAC Address
- SA: Source MAC Address
- Packet type (16bits): acts as demux key to identify the higher level protocol.
- LLC-Frame: Up to 1500 bytes
- PAD: Padding when LLC-Frame < 46 bytes
- FCS: Frame Check Sequence (CRC-32)
- MAC-frame size -- from DA to FCS
 - **Min 64 bytes 用來確定封包傳送是否碰撞**
 - **Max 1518 bytes 用來避免佔用大量頻寬**

Ethernet 乙太網路地址

- 在乙太網路中的主機都有一個唯一的乙太網路地址
- 該地址屬於介面卡而不是主機
 - 它會被燒錄在介面卡的唯讀記憶體中
- 乙太網路地址通常以一種人們能讀取的形式來表示
 - 以冒號分開的六個數字所組成的序列
 - 每一個號碼相對於6位元組中的一個位元組，並以兩個十六進位數字表示，每一個表示位元組中四位元的值
 - 開頭的 0 則被省略
 - 舉例來說, **8:0:2b:e4:b1:2** 是
 - ▶ 00001000 00000000 00101011 11100100 10110001 00000010

Ethernet 乙太網路地址

- 為確保每一片介面卡均得到唯一的地址，各乙太網路網卡製造商都會分配(或購買)到不同的字首 (prefix)，接著各家製造商所製造的介面卡，都必須以其字首來做為其地址前端
 - ▶ 例如 AMD 被指定的 24 位元的字首為 **8:0:20**



Ethernet 乙太網路地址

- 每一個透過乙太網路傳輸的訊框都會被連接在該乙太網路上**所有的主機**所接收
- 每一介面卡在辨認出訊框的目的地址是指向自己時，將會把這些訊框向上傳給主機
- 除了**單點傳輸位址**外，所有位元均為 1 的乙太網路位址則被視為**廣播位址**
 - 所有的介面卡均會將目的位址為廣播位址的訊框上傳給主機
- 第一個位元為 1 但不是廣播位址的地址稱作**群播位址**
 - 主機可以設定介面卡接收某些特定的群播位址的訊框 (相當於此介面卡加入某些群組)

Ethernet 乙太網路地址

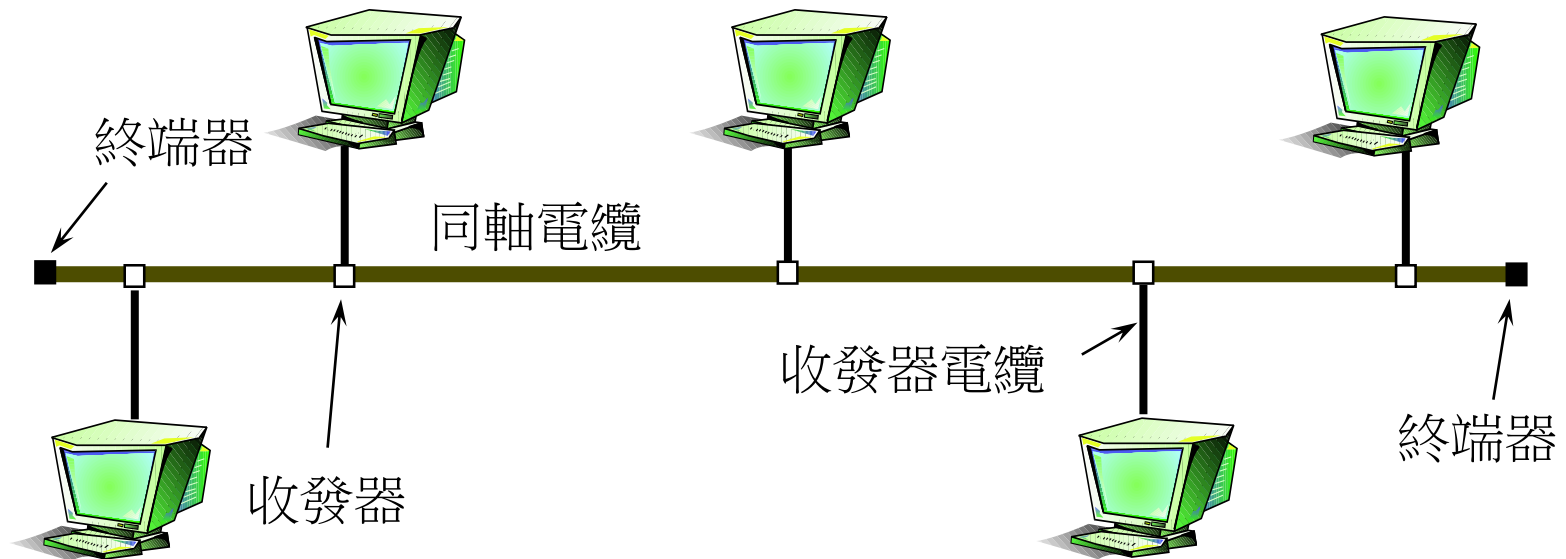
- 總結來說，乙太網路介面卡因為訊號廣播的特性會收到網路線上所有的訊框，但僅接受下列訊框：
 - 訊框目的位址就是自己網卡位址
 - 訊框目的位址為廣播位址
 - 訊框目的位址為一群播位址, 而此主機有加入該群組

大綱

- 簡介
- Ethernet 網路拓撲
- Ethernet 訊框格式
- Ethernet MAC 協議 -- CSMA/CD
- 802.3 Ethernet 標準

Ethernet MAC 協議

- 任何傳送進入乙太網路的訊號皆會**廣播到整個網路上**
 - 訊號會往網段兩邊端點的方向傳播
 - 中繼器會將訊號轉送到所有連接的網段
 - 每一網段終端的**終端器**會將訊號吸收, 以避免訊號反彈回網段上



CSMA (Carrier Sense Multiple Access)

CSMA: 傳輸前先聽：

- 假如聽到頻道是空閒時：傳輸整個訊框
- 假如聽到頻道是忙碌的時候：延後傳輸時間

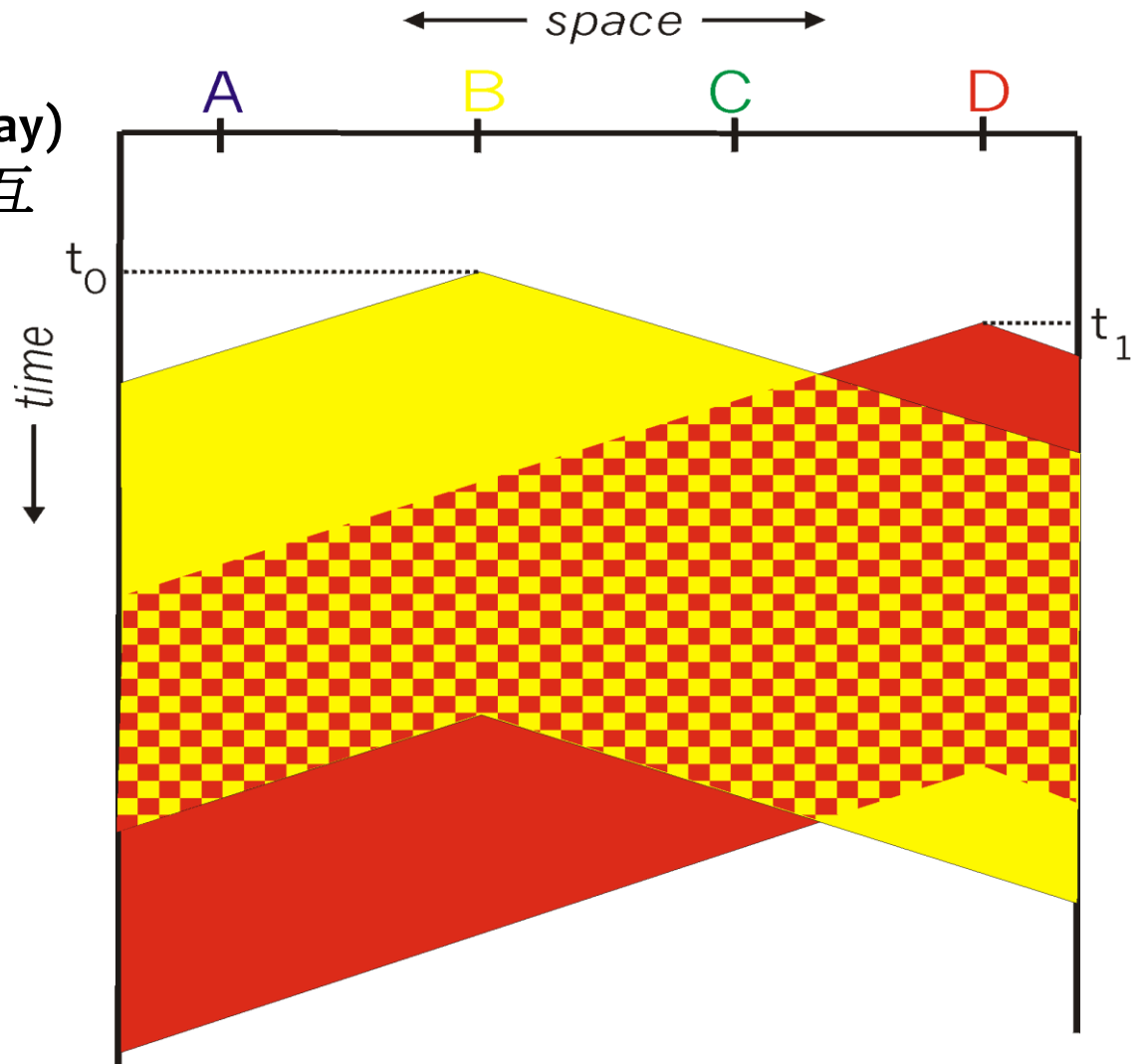
CSMA 碰撞

碰撞仍可能發生:

傳輸延遲(propagation delay)
代表兩點可能不會聽到相互
正在傳輸資料

碰撞:

整體封包傳輸的時間會
浪費掉



CSMA/CD (碰撞偵測)

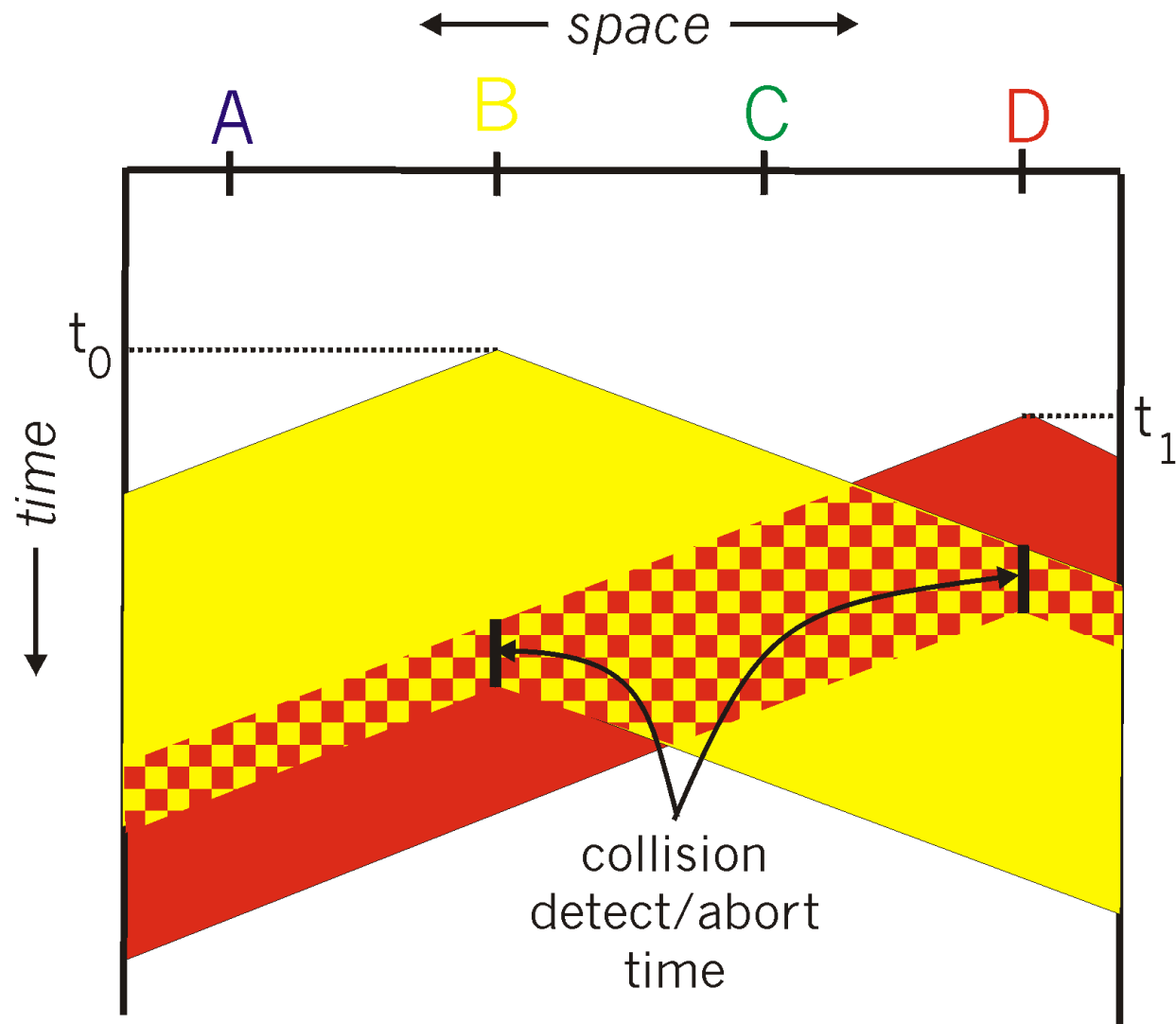
CSMA/CD: 載波感測方法與延遲方法與 CSMA 相同, 不同之處在於

- 在短時間內就可以偵測是否發生碰撞
- **碰撞發生立即中斷傳輸**, 降低頻道的浪費

■ 碰撞偵測:

- 測量訊號的強度, 比較傳送的訊號與接收的訊號

CSMA/CD 碰撞偵測



CSMA/CD

- 載波偵聽多重存取/碰撞檢測(CSMA/CD).
 - 一群節點(node)於共用的鏈結(link)上傳送及接收訊框
 - **載波偵測** 代表所有的節點可以分辨鏈結的狀態是閒置或忙碌
 - **碰撞偵測** 代表一個節點在傳輸時會持續偵測是否其傳輸與其他節點的傳輸訊號發生碰撞

CSMA/CD

- 當介面卡有一訊框要傳送且鏈結為閒置時，會立即將訊框傳送出去
- 當介面卡有一訊框要傳送但鏈結為忙碌時，會等到鏈結為空閒時再立即傳輸
- 乙太網路使用 **1-persistent** 協議，也就是每當鏈結狀態由忙碌變至閒置時，介面卡傳送訊框的機率為 1 (100%)
- **p-persistent**: 每當鏈結狀態由忙碌變至閒置時，介面卡傳送訊框的機率為 p ($0 \leq p \leq 1$)

CSMA/CD

- 因為此協議沒有中央管控機制，所以有可能發生同一時間有兩個(或多個)介面卡同時傳送
 - 可能因為兩個介面卡都同時偵測到鏈結為空閒狀態
 - 或兩張介面卡同時等到鏈結由忙碌狀態轉空閒狀態
- 當此狀況發生時，傳送出去的兩個或多個訊框皆會在網路中發生碰撞

CSMA/CD

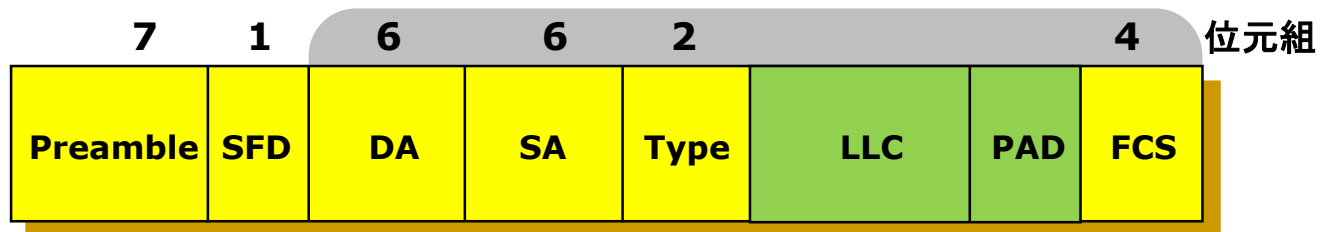
- 因為乙太網路支援碰撞偵測，每一傳送端有能力知道過程中是否發生碰撞
- 當介面卡偵測到訊框和別人發生碰撞時，首先會傳送一段 32-位元的擾亂訊號（**jamming sequence**）並且停止傳送訊框
 - 因此，在發生衝撞時，傳送器送出的訊框最少為 96 位元
 - ▶ 64-bit preamble + 32-bit jamming sequence

CSMA/CD

- 介面卡可能送出只有 96 位元的訊框 (此種訊框稱為 runt 訊框) 的情形之一是兩個主機距離非常近
- 當兩個主機距離較遠時，因為訊號傳遞需要較久的時間，所以在偵測出碰撞前，他們可能會送出較多的位元(較長的訊框)

Collision Window 衝撞視窗

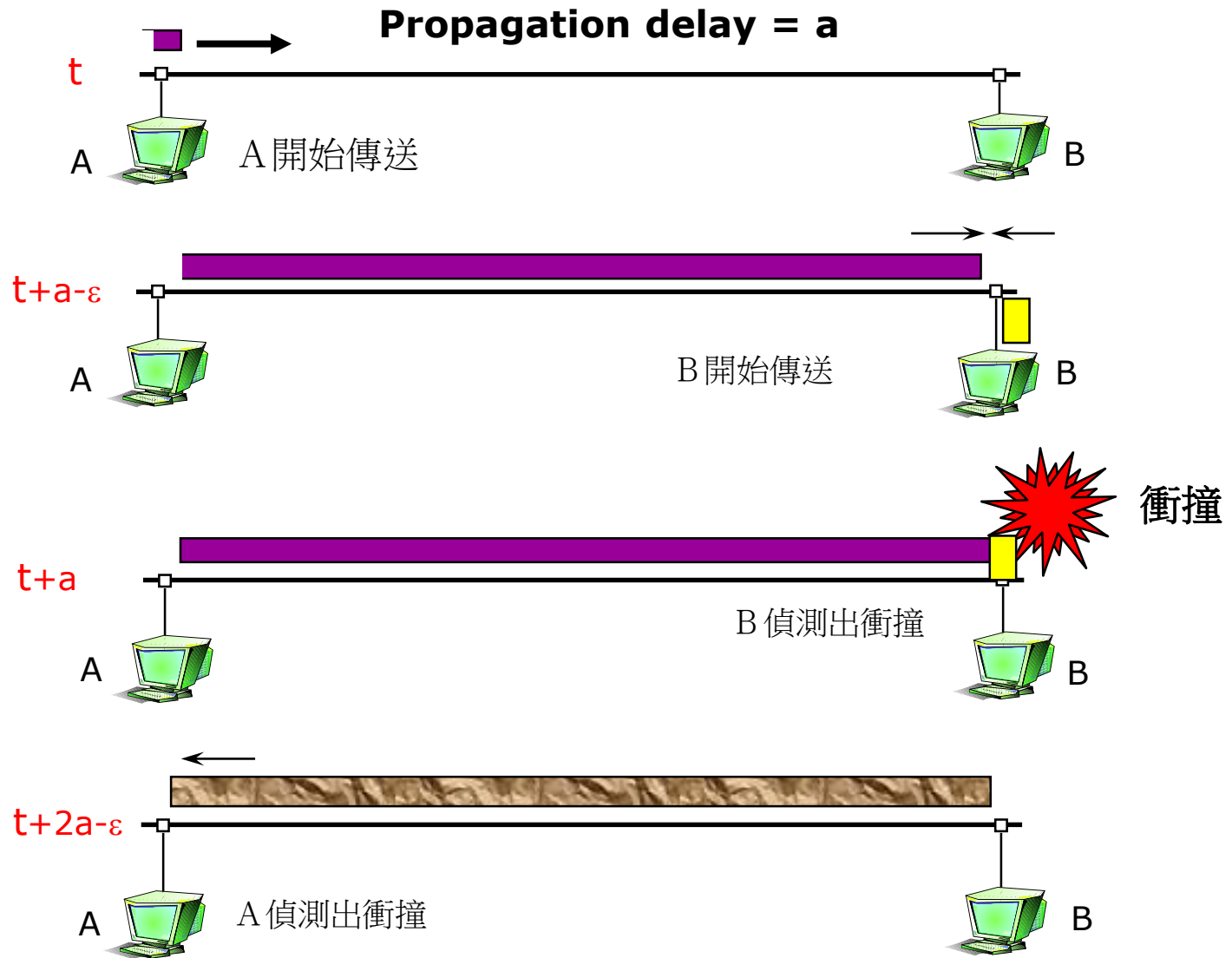
- 偵測衝撞時間最久的狀況會發生在兩個主機分別在乙太網路的兩端
- 為了確認訊框在傳送時沒有和其他訊框發生碰撞，傳送器可能需要傳送長度達 512 位元的訊框
 - 每一乙太網路的訊框長度至少為 512 位元 (64 位元組)
 - ▶ 14 bytes of header + 46 bytes of data + 4 bytes of CRC



Collision Window 衝撞視窗

- 為什麼是 512 位元 (64 位元組)?
 - 為什麼長度限制是 2500 公尺?
- 衝撞視窗 = round-trip delay 來回延遲 ($2a$)
- 兩節點距離越遠，需花越長的時間傳訊框給對方，而網路可能會在這段時間發生碰撞情況

CSMA/CD 衝撞偵測視窗 (=2a)



衝撞視窗

- 假設 A 開始傳送訊框的時間點 t
- a 代表一條鏈結的一端傳遞到最遠的另一端所需的時間
- A 所傳送的訊框的第一個位元到達 B 的時間為 $t + a$
- 假設在 A 的訊框到達 B 前的一個極短時間內，B 已開始傳送訊框
- B 的訊框會立即和 A 的訊框碰撞，此碰撞會立即被 B 偵測到
- B 會送一段 32 位元的擾亂訊號
- A 不會偵測到碰撞情形，直到收到 B 的訊框，此時間點為 $t + 2a$
- A 為了偵測碰撞情形，必須持續傳送訊框直到此時間點
 - A 必須持續傳送 $2a$ 的時間，才能確認所有可能發生的碰撞

衝撞視窗

- 假設一個最大乙太網路為2500公尺，因此任意兩台主機之間最多有4個中繼器。此架構下，訊號往返最遠兩端的時間延遲被設定為 $51.2 \mu\text{s}$
 - 在 10 Mbps 乙太網路，此時間可以傳送 512 位元的資料
 - $10 \text{ Mbps} \times 51.2 \mu\text{s} = 512 \text{ 位元}$
- 以另一種角度思考，
 - 為了讓 CSMA/CD 演算法可以正常運作(由其是衝撞偵測)，我們必須限制乙太網路的最大延遲不要太大 ($51.2 \mu\text{s}$ 是合適的值)
 - ▶ 因此乙太網路的最大長度是 2500 公尺

指數後退演算法

- 一旦介面卡偵測到碰撞且停止傳送，它會**等一段時間後再來重新嘗試傳送**
- 每次介面卡嘗試傳送訊框但失敗後，就會**加倍等待的時間**後再來重新嘗試傳送
- 此將每次重送嘗試之間的延遲時間加倍的策略被稱作**指數後退 (Exponential Backoff)**.

指數後退演算法

- 介面卡第一次等待的時間不是 0 就是 $51.2 \mu\text{s}$ ，兩個值隨機挑選
- 假如此次傳送失敗，再重新傳送前，會等待 0, 51.2 , 102.4 , 或 $153.6 \mu\text{s}$ (隨機選一個)
 - 此為 $k * 51.2$ for $k = 0, 1, 2, 3$
- 再發生第三次的碰撞後，會等待 $k * 51.2$ for $k = 0 \dots 2^3 - 1$ (一樣為隨機選擇).
- 一般來說，此演算法隨機在 0 到 $2^n - 1$ 之間選擇一個 k 值，然後等候 $k * 51.2 \mu\text{s}$
 - 其中 n 是此訊框目前經歷的連續衝撞次數

CSMA/CD 協議

- 傳送前要先進行載波偵測
- 傳送訊框時還是要繼續偵測載波
- 衝撞: 如果同時有二個或二個以上的主機同時傳送
- 後退: 在發生碰撞後隨機延遲
- 延遲傳送: 如果通道被偵測為忙錄, 則延遲傳送
- **衝撞視窗 (時槽):** 訊號在最遠兩端來回傳遞的時間加上一點載波偵測的時間. 其意為只有在此視窗內可能發生衝撞。IEEE 802.3 將一個衝撞視窗的時間定為 $51.2\mu\text{s}$ 。

CSMA/CD 衝撞處理機制

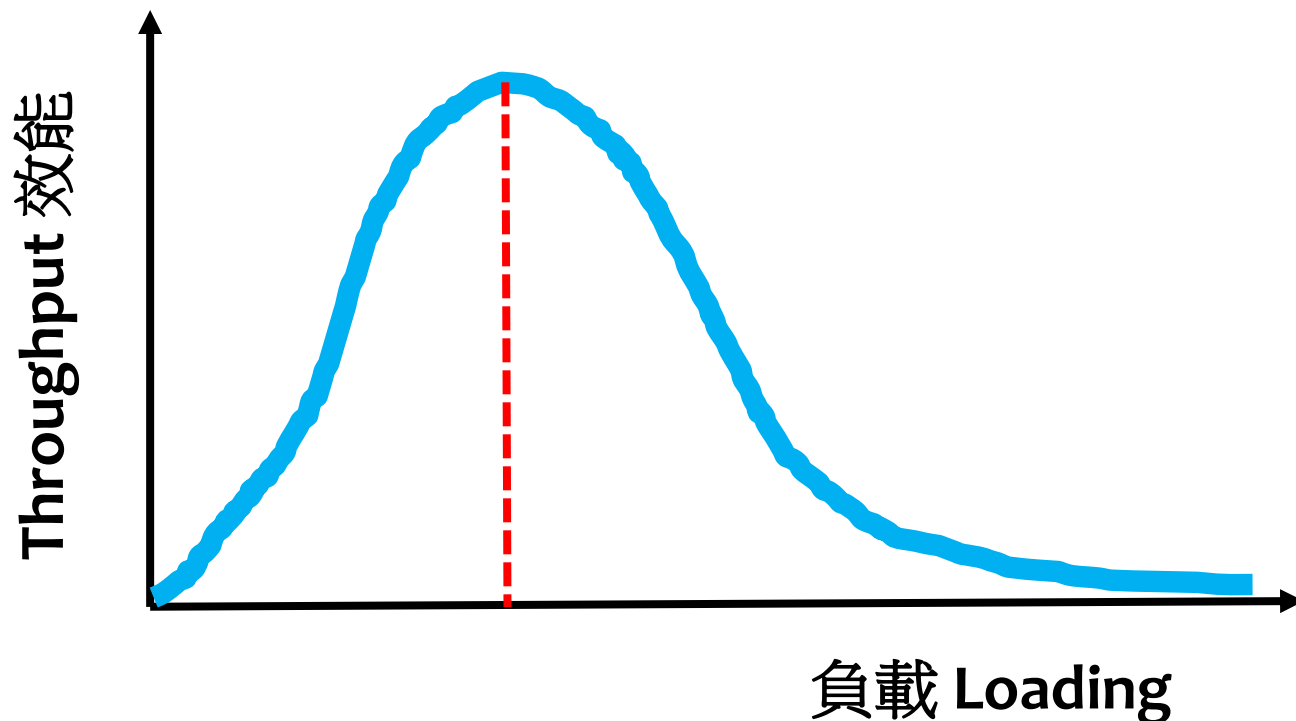
- 碰撞訊號是由實體層(網路卡)所產生
- **Jam signal (強制衝撞)**: 為了確認所有參與衝撞的工作站能確實偵測碰撞 -- 長度為 32 位元的訊號
- 衝撞後退後及重送的機制 (**Truncated Binary Exponential Backoff Algorithm, BEBA**):
 - n : 連續發生衝撞的次數 ($n \leq 16$)
 - k : $\text{MIN}(n, 10)$, n 值和 10 的最小值
 - r : 隨機延遲時間。單位是一個時槽時間(slot time),
 $0 \leq r < 2^k$

CSMA/CD 衝撞處理機制

- 時槽時間(Slot time) = 51.2 us.
- BEBA的缺點:
 - **後到先送**: 相對於因衝撞而等待時間較長的主機, 沒有發生碰撞或是碰撞次數少的主機有比較高的機會可以成功傳送訊框

Ethernet 效能

- 乙太網路在負載較輕的狀況下運作較佳
- 在負載重的狀況下，會有太多的網路頻寬資源因為碰撞而浪費掉

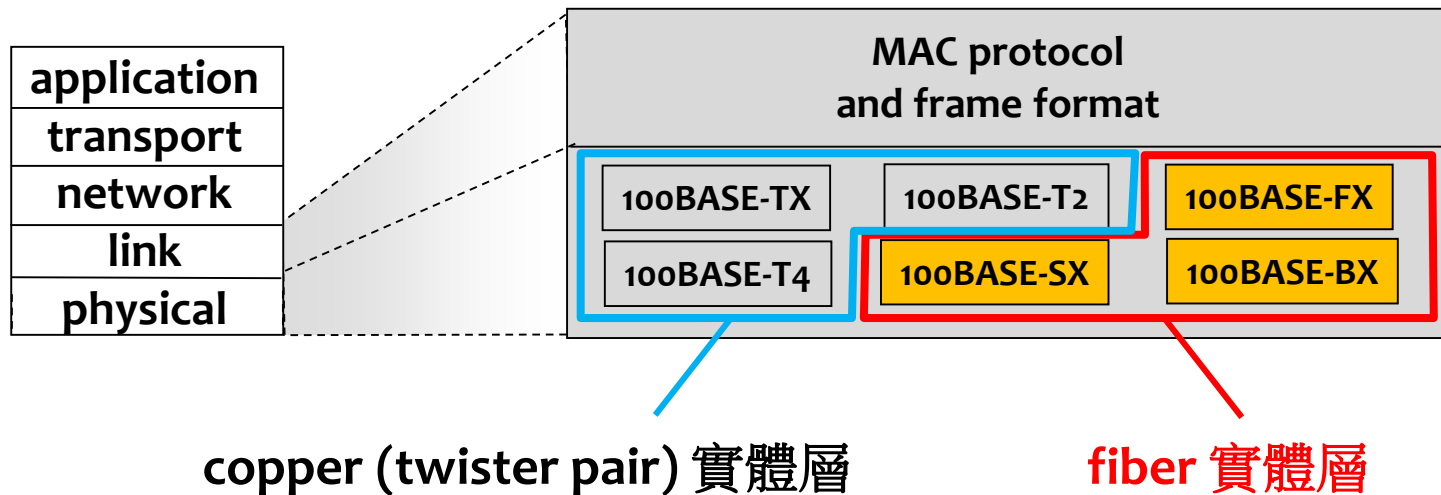


大綱

- 簡介
- Ethernet 網路拓撲
- Ethernet 訊框格式
- Ethernet MAC 協議 -- CSMA/CD
- 802.3 Ethernet 標準

802.3 Ethernet 標準: 鏈結層與實體層

- 許多不同的乙太網路標準
 - 共同 MAC 協議 (CSMA/CD) 與訊框格式
 - 不同網速: 2 Mbps, 10 Mbps, 100 Mbps, 1Gbps, 10Gbps, 100Gbps
 - 不同實體層媒介: 光纖, 同軸電纜等等



總結

- **MAC 協議 -- CSMA/CD**
- 傳輸前無須建立連線，不可靠傳輸
- 拓撲從**匯流排**到**星狀拓撲**（**交換機**）
- 半雙工傳輸於**匯流排**拓撲
 - 在負載較輕的狀況下運作較佳
 - 在負載重的狀況下會有較多的碰撞
- 全雙工傳輸於**交換機拓撲**（**點對點鏈結**）
 - 無任何碰撞
 - 極佳效能(線速)