8. 藍芽通訊與物聯網

潘健一

慈濟大學 醫學資訊學系

藍芽的起源

- 一種無線通訊協定
- 歐洲 10 世紀丹麥國王 Harad Blatand 名字
- 象徵與各規格技術互相協調溝通

Bluetooth®
SPECIAL INTEREST GROUP

藍芽的特色

- 傳輸訊息：同時傳送語音與數據
  - 聲音的Circuit switch, 資料的Packet switch
  - 語音：CVSD (Continuous Variable Slope Delta), 64 Kbps
    - 同步連結導向 (Synchronous Connection-Oriented, SCO)
  - 數據資料：GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying)
    - 非同步非連接 (Asynchronous Connectionless Link, ACL)

- 操作在世界共通的頻段
  - 2.4GHz

藍芽的特色

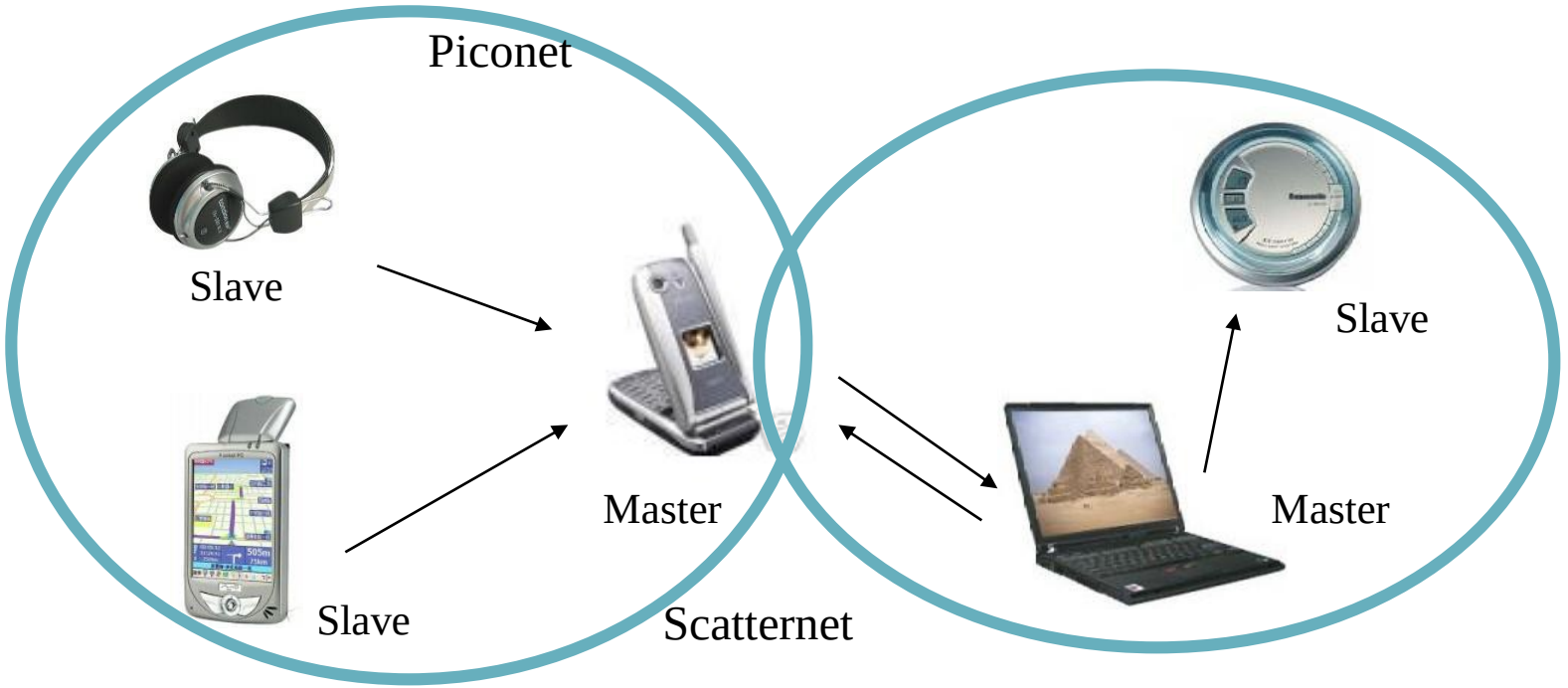
- 多工技術：採用分時雙工 (Time Division Duplex) 機制
- 低功率與低成本模組
  - 1mW 可傳送範圍 10m
  - 最大傳輸速率1M(有效傳輸速率721Kb/s)

- 優點:
  - 價格便宜
  - 操作容易
  - 功率較低

- 缺點:
  - 距離較短
  - 速率較慢

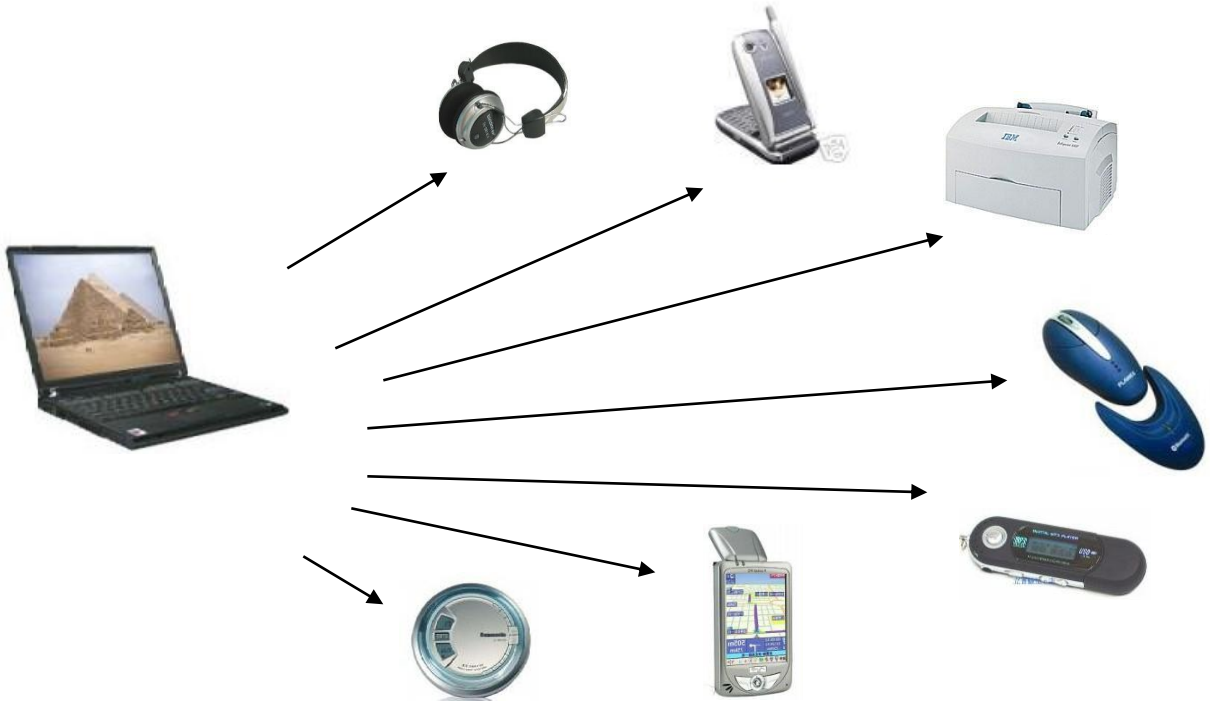
藍芽的特色

- 支援多個藍芽設備互相連接
  - Piconet, Scatternet



藍芽的特色

- 支援多個藍芽設備互相連接
  - 1個Master, 7個Slave, 255個Park



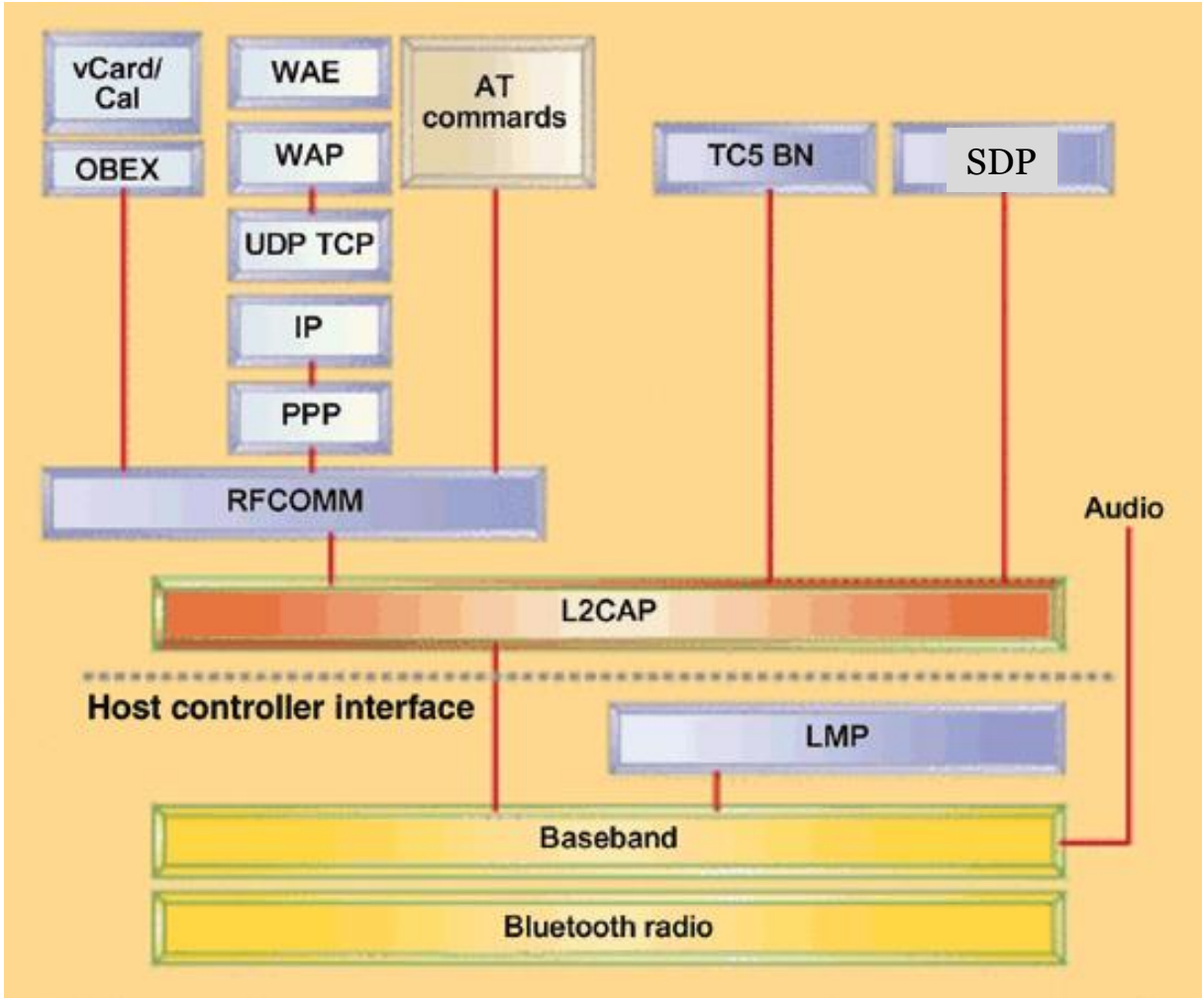
Slave 的 3 種狀態: Sniff, Hold, Park

- Sniff模式通常用於Slave在每次只有少數資料要收送(如telnet)，且為了節省功率消耗而使用。當Slave進入Sniff模式後，Slave將延長在跳頻序列上接收 Master訊號的間格，間格時間(Sniff interval)由Master內LMP階層的控制命令 所指定，在Sniff模式的Slave只有在特定的時槽才監聽Master送來的訊號，但 Slave仍然保有AM_ADDR及與Piconet相同的跳頻序列。

- HOLD: 在 Piconet 中的 Slave 進入 Hold 模式後，Slave 將暫時停止支援 ACL 連線， 但是仍然支援 SCO 連線，所以 Slave 仍然保有 AM_ADDR 及與 Piconet 相同的跳頻 序列。Slave 進入 Hold 模式是為了空出實體通道(Physical channel)內的時槽 來進行呼叫(Paging)、查詢(Inquiry)或是加入其他的 Piconet，Hold 持續的時 間(Hold Interval)由 Master 與 Slave 內的應用程式共同協調決定，當超過該持 續時間後 Slave 將回復到 Active 狀態。Hold 模式通常用於幾個 Piconet 之間的 互相連接。

- PARK: 當 Slave 不需要傳送資料時，希望更節省消耗功率又不能離開 Piconet，可 以選擇進入 Park 模式，Slave 在 Park 模式時的動作時間非常少，Park 模式的 Slave將丟棄 AM_ADDR位址並從 Master得到 PM_ADDR與 AR_ADDR位址，在 Piconet 中 Park 模式的 Slave 皆有一特定的 PM_ADDR 位址，但是 AR_ADDR 可能與其他的 Slave 相同，Park 狀態的 Slave 仍然與 Piconet 中的跳頻序列同步，一個 Piconet 中最多能同時有 256 個 Park 狀態的 Slave。 Master 為了與 Piconet 內所有 Park 狀態的 Slave 聯繫，在 Master-to-Slave 的廣播頻道 BC(Beacon Channel)上周期性的發出一些廣播訊號

整體架構



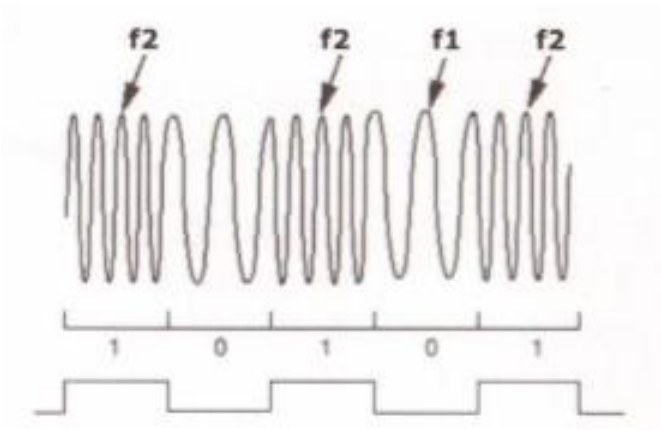
無線電 (Radio)
基頻 (Baseband)
鏈路管理協定 (Link Management Protocol, LMP)
邏輯鏈路控制與調適協定 (LLC and Adaptation Protocol, L2CAP)
服務發現協定 (Service Discovery Protocol, SDP)

Radio階層協定

- 制定在ISM通用頻段上
  - 2.4000GHz~2.4835的整個83.5MHz
  - 共79個頻道, 每個頻道間隔1MHz
- 發射功率
  - 100mW, 2.5mW, 1mW
- 調變方式與技術
  - 數位調變

數位調變

- 抗干擾能力強
- 支援多工(Multiplex)訊息傳輸
- 可進行編碼加密及壓縮
- Bluetooth使用GFSK

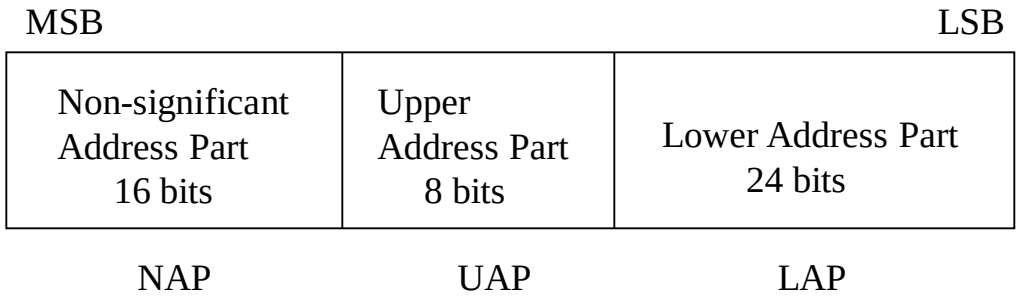


f1 為 0

f2 為 1

Baseband階層協定

- 設備位址
  - BD_ADDR
    - LAP
    - UAP
    - NAP

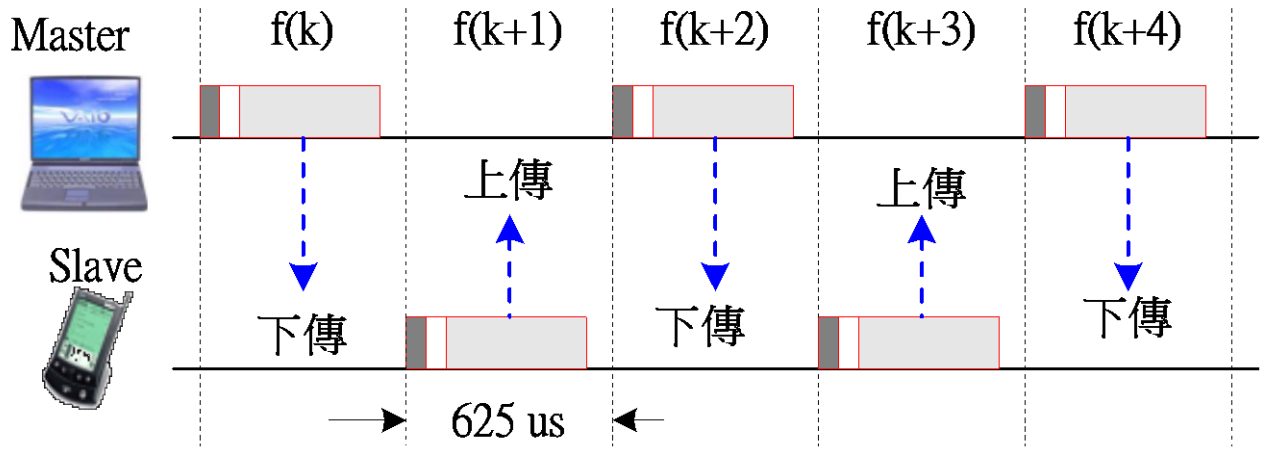


      - AM_ADDR
        - 3bit
      - PM_ADDR
        - 8bit

基頻協定

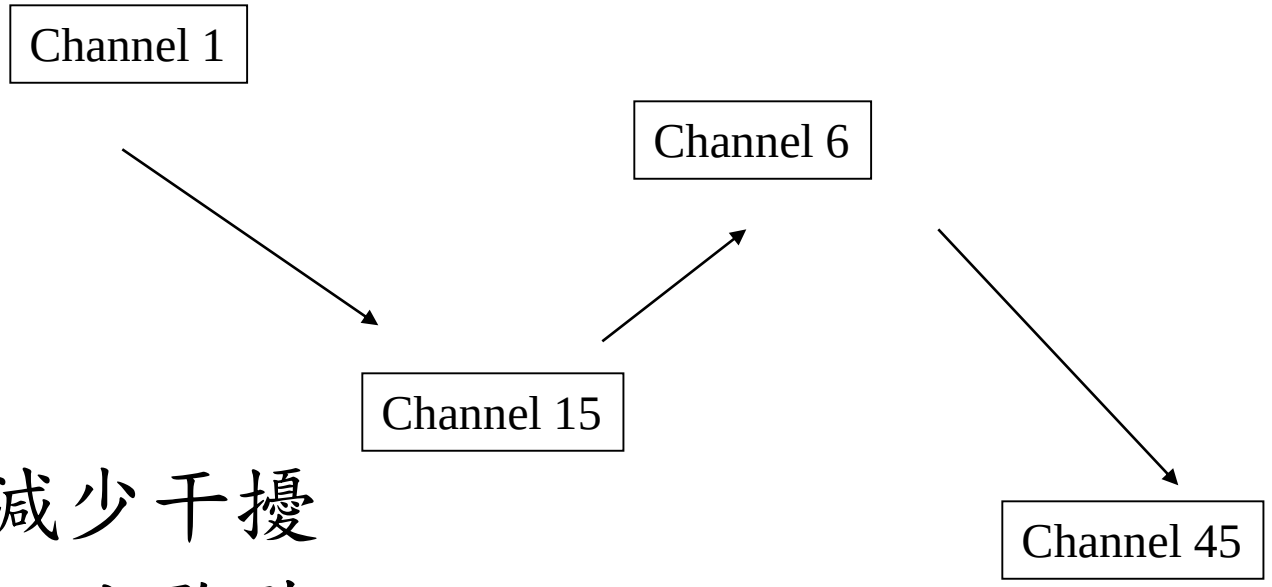
- 裝置位址型態之類別
  - BD_ADDR：藍芽裝置位址 (Bluetooth Device Address)
    - 較低位址部分 (Lower Address Part, LAP)
      - CAC (Channel Access Code) (Master)
      - DAC (Device Access Code) (Slave)
    - 較高位址部分 (Upper Address Part, UAP)
      - Master 的跳頻順序
    - 未定義位址部分 (Non-signification Address Part, NAP)
  - AM_ADDR：活動組員位址 (Active Member Address)
    - Slave：由 Master 指定
    - Master : 固定為 000
  - PM_ADDR ：停放組員位址 (Parked Member Address)
    - 8 位元 (256 個組員)
    - 由 Master 指定
  - AR_ADDR : 存取要求位址 (Access Request Address)
    - 並非唯一識別值
    - 由 Master 指定

- 基頻實體傳輸技術 (1)
  - 跳頻分時雙工 (Frequency Hopping-Time Division Duplex, FH-TDD)
    - 每秒跳躍 1600 次
    - Master-to-Slave 時槽：偶數時槽
    - Slave-to-Master 時槽：奇數時槽



跳頻

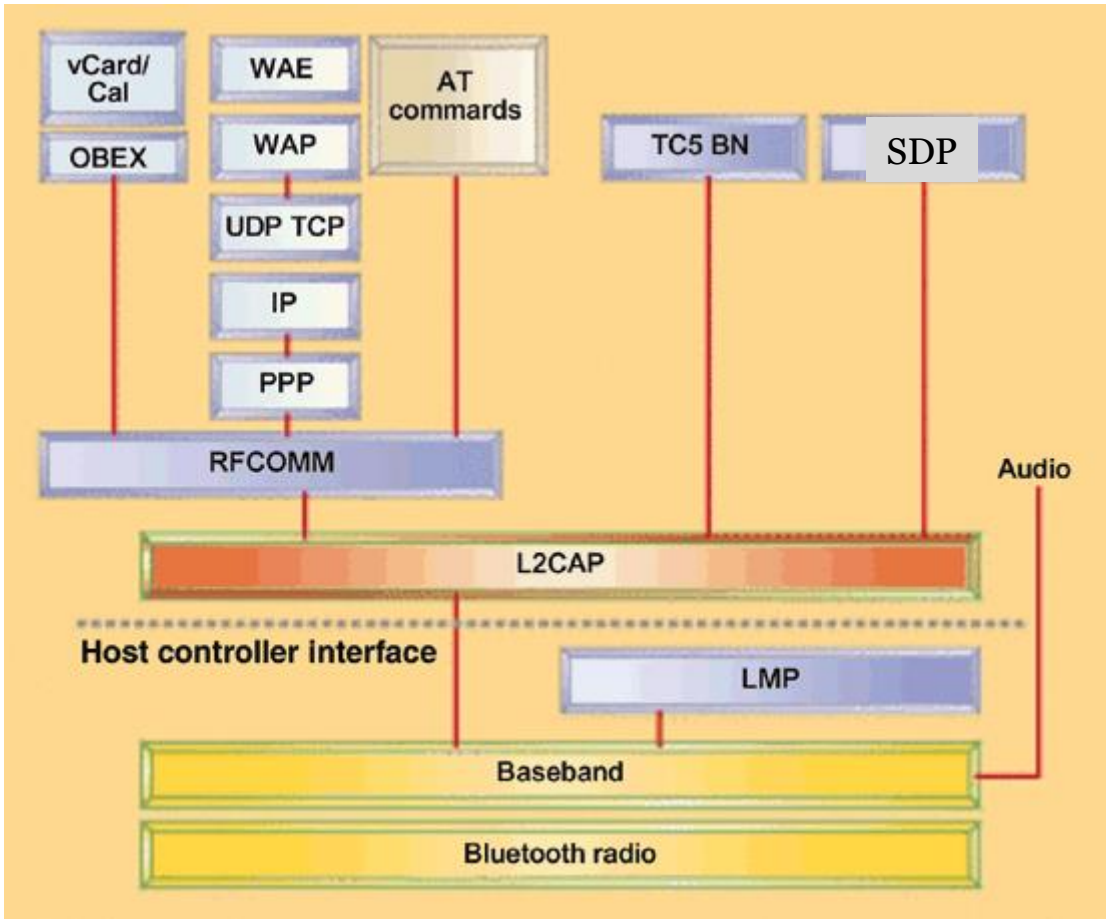
- 輸入跳頻序列
- 跳頻速率每秒1600次



- 減少干擾
- 防止監聽

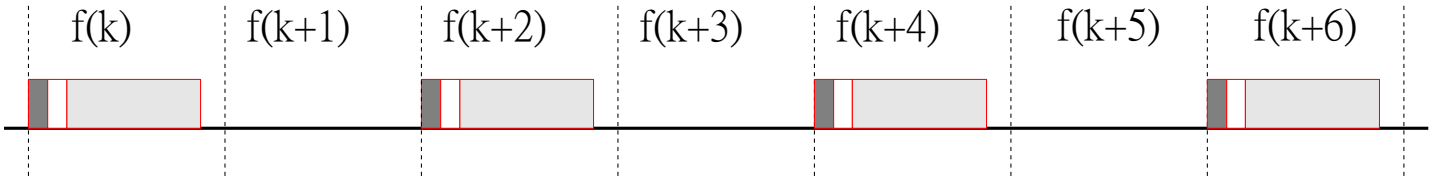
高層通訊協定

- L2CAP
  - 聯絡Baseband
- AT-command
  - 行動電話
    - TCS Binary
      - 傳統電話
- OBEX
  - 紅外線
    - RFCOMM
      - 支援RS232

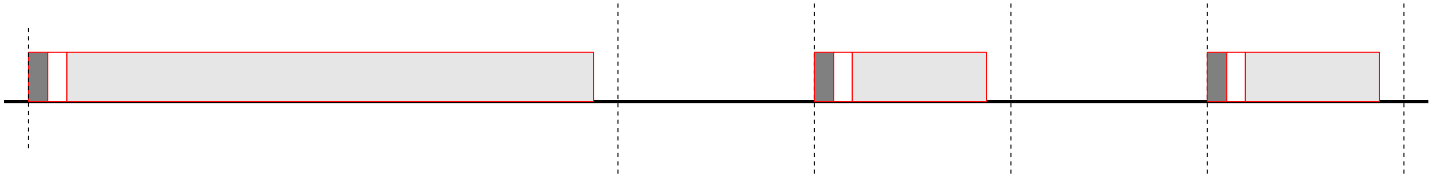


- 基頻實體傳輸技術 (2)
  - 多時槽傳送方式

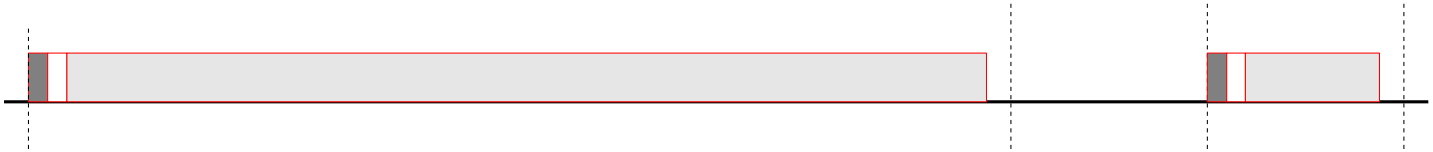
(a) 單一時槽傳送



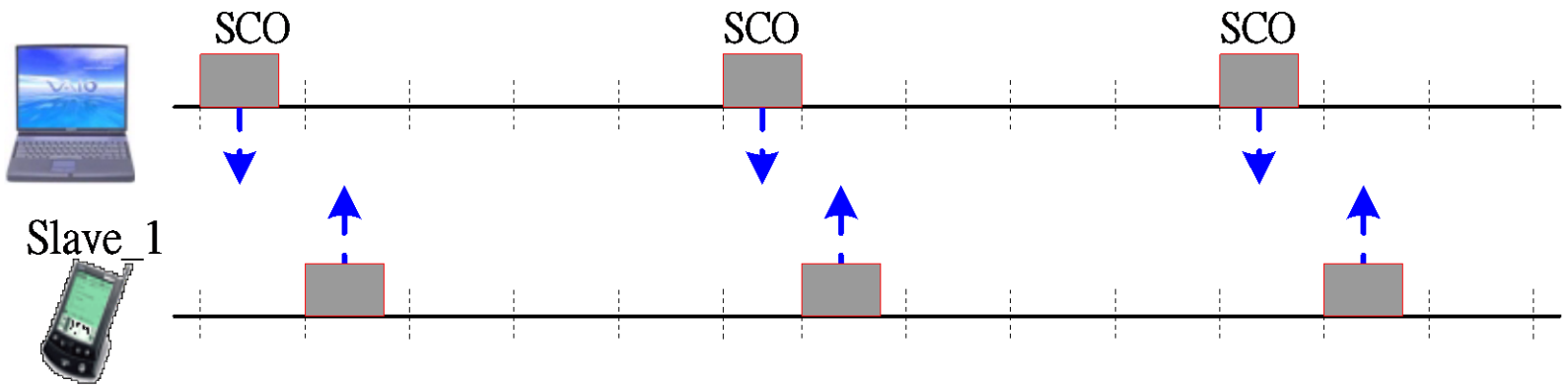
(b) 3 個時槽傳送



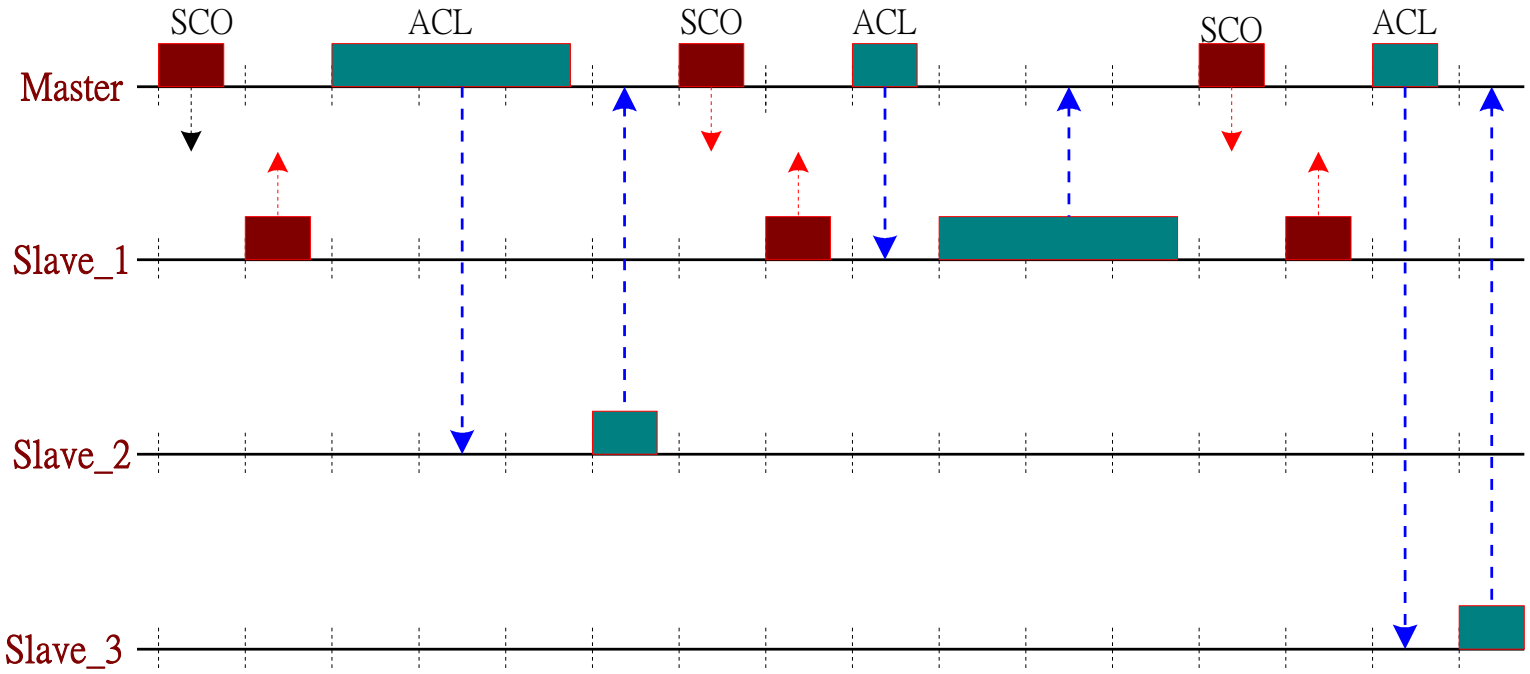
(c) 5 個時槽傳送



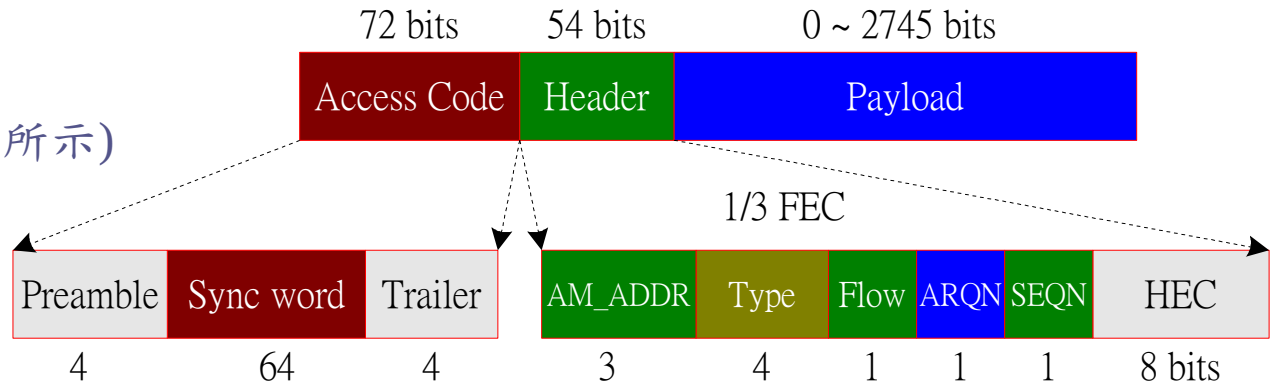
- 基頻實體鏈路 (1)
  - 同步連接導向連線 (Synchronous Connection-oriented, SCO)
    - Slave 與 Master 之間固定連線
    - 佔用固定時槽
    - 傳送語音封包使用



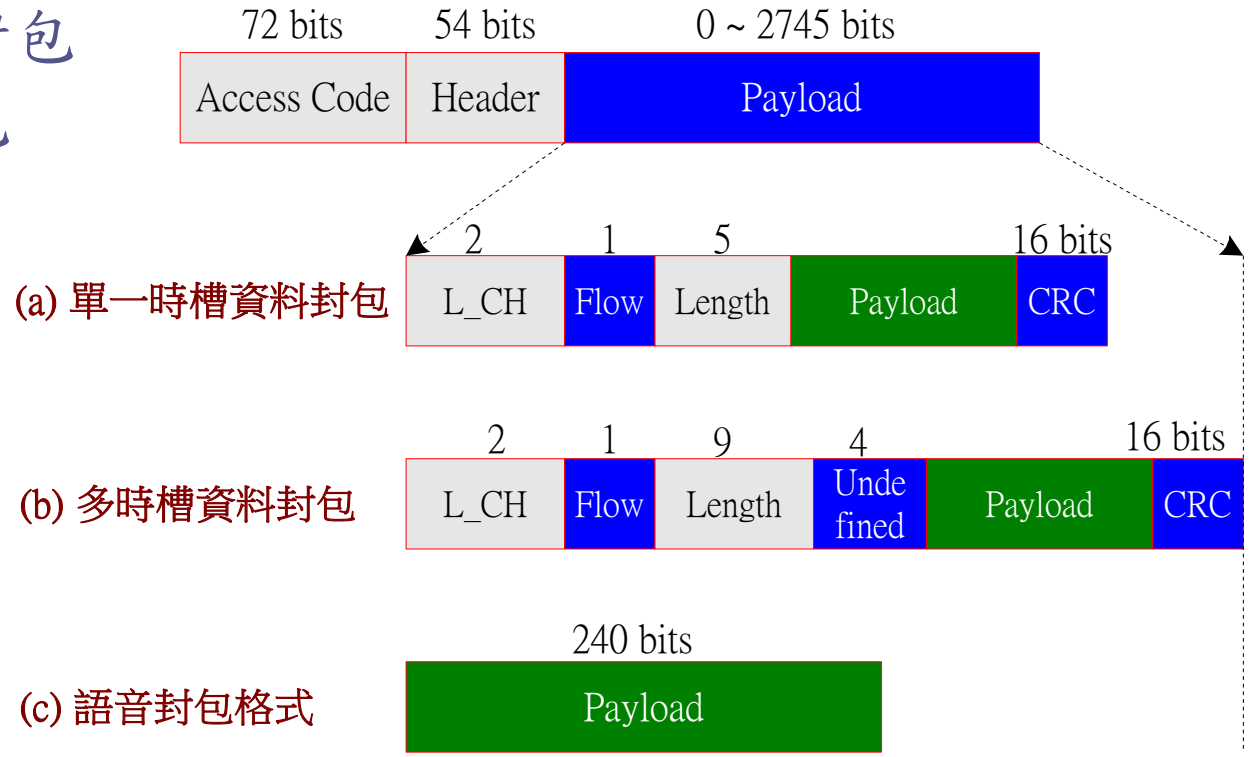
- 基頻實體鏈路 (2)
  - 非同步非連接連線 (Asynchronous Connection-Less, ACL)
    - 利用 SCO 連線後之空閒時槽傳送
    - 由 Master 分配 Slave 傳送時機
    - ACL 與 SCO 同時存在



- Bluetooth 封包格式 (1)
  - 存取碼 (Access Code)
    - 通道存取碼 (Channel Access Code, CAC)
    - 由 Master BD_ADDR 的 LAP 計算得來
    - 裝置存取碼 (Device Access Code, DAC)
    - 由 Slave BD_ADDR 的 LAP 計算得來
    - 詢問存取碼 (Inquiry Access Code, IAC)
    - 由被詢問 BD_ADDR 的 LAP 計算得來
  - 標頭 (Header)
    - AM_ADDR
    - Type (如下表所示)
    - Flow
    - ARQN
    - SEQN
    - HEC



- Bluetooth 封包格式 (2)
  - 承載 (Payload)
    - 單一時槽資料封包
    - 多時槽資料封包
    - 語音封包
    - SCO 連線傳送，固定一個時槽



Code	Physical Link	Name	Number of Slots	Description
0000	Common	Null	1	沒有承載欄位，主要使用於接收端回應給傳送端 ARQN 或 Flow 旗號。無確認功能。
0001	Common	Poll	1	沒有承載欄位，使用於 Mater 詢問 (Poll) Slave 時使用。有確認功能。
0010	Common	FHS	1	展現傳送端的裝置位址及時序的特殊控制封包，使用於回應 Master 的 Paging Response、Inquiry Response，以及跳頻時序的同步。經 2/3 FEC 編碼。
0011	Common	DM1	1	提供控制訊息，並且可攜帶使用這資料。16-bits CRC 及 2/3 FEC 編碼。
0101	SCO	HV1	1	攜帶 10 Bytes 訊息，典型使用於 64 Kbps 語音傳輸，1/3 FEC 編碼。
0110	SCO	HV2	1	攜帶 20 Bytes 訊息，典型使用於 64 Kbps 語音傳輸，2/3 FEC 編碼。
0111	SCO	HV3	1	攜帶 30 Bytes 訊息，典型使用於 64 Kbps 語音傳輸，無 FEC 編碼。
1000	SCO	DV	1	組合 150 bits 資料與 50 bits 語音訊息，資料部份經 2/3 FEC 編碼。
0100	ACL	DH1	1	攜帶 28 Bytes 資料，及 16-bits CRC，沒有 FEC 編碼。典型使用於高速資料傳輸。
1001	ACL	AUX1	1	攜帶 30 Bytes 資料，沒有 CRC及 FEC 編碼。典型使用於高速資料傳輸。
1010	ACL	DM3	3	攜帶 123 Bytes 資料，及 16-bits CRC，2/3 FEC 編碼。典型使用於高速資料傳輸。
1011	ACL	DH3	3	攜帶 185 Bytes 資料，及 16-bits CRC，沒有 FEC 編碼。典型使用於高速資料傳輸。
1110	ACL	DM5	5	攜帶 226 Bytes 資料，及 16-bits CRC，2/3 FEC 編碼。典型使用於高速資料傳輸。
1111	ACL	DH5	5	攜帶 341 Bytes 資料，及 16-bits CRC，沒有 FEC 編碼。典型使用於高速資料傳輸。

- DM1 (Data-Medium Rate 1) 、DH1 (Data-High Rate 1)、DM3、DH3、DM5、DH5、AUX1
- 非對稱之最高傳輸速率
  - 下行使用 DH5 封包
  - 上行使用 DH1 封包
  - 下行速率 = 339 * 8 * (1600 / 6) = 723.2 Kbps
  - 上行速率 = 27 * 8 * (1600 / 6) = 57.6 Kbps
- 對稱傳輸之最高速率
  - 採用 DH5 封包
  - 速率 = 339 * 8 * (1600 / 10) = 433.9 Kbps

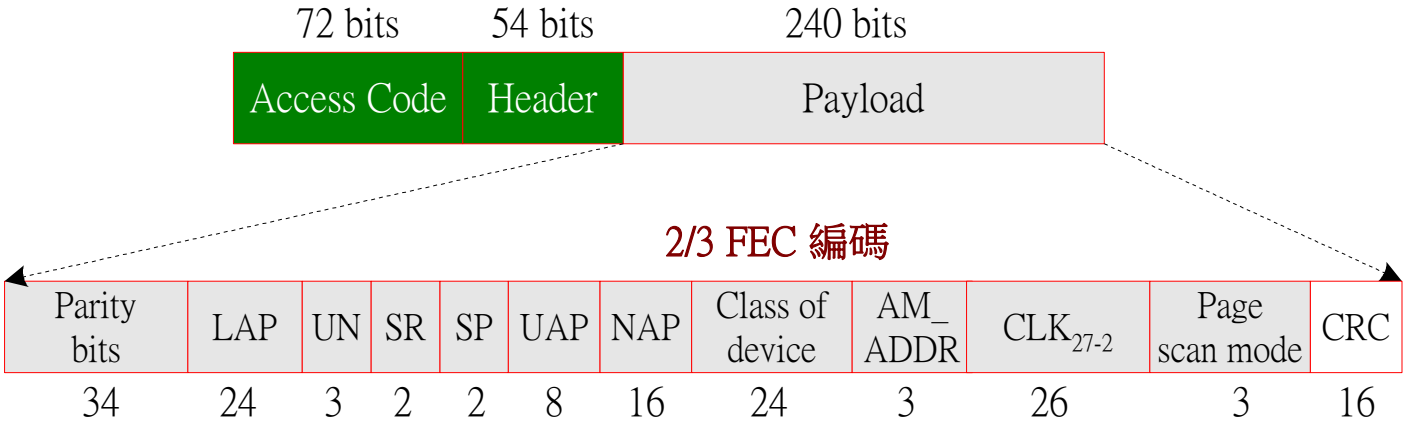
Type	Number of Slots	User Payload	FEC	CRC	Symmetric Max. Rate	Asymmetric	
						Forward	Reverse
DM1	1	0 ~ 17	2/3	Yes	108.8	108.8	108.8
DH1	1	0 ~ 27	No	Yes	172.8	172.8	172.8
DM3	3	0 ~ 121	2/3	Yes	258.1	387.2	54.4
DH3	3	0 ~ 183	No	Yes	390.4	585.6	86.4
DM5	5	0 ~ 224	2/3	Yes	286.7	477.8	36.3
DH5	5	0 ~ 339	No	Yes	433.9	723.2	57.6
AUX1	1	0 ~ 29	No	No	185.6	185.6	185.6

基頻語音封包

- HV1 (High Quality Voice 1) 、HV2、HV3、DV (Data Voice)
- 如使用 HV1，則佔滿所有通訊連線 (SCO)
- 如使用 HV3，則每 6 個時槽佔用 2 個時槽 (SCO)，還可建立其它連線 (SCO 或 ACL)

Type	Payload Header (Bytes)	User Payload (Bytes)	FEC	CRC	Symmetric Max. Rate (Kbits)
HV1	N/A	10	1/3	No	64.0
HV2	N/A	20	2/3	No	64.0
HV3	N/A	30	No	No	64.0
DV	1D	10+(0 ~ 10)D	2/3D	YesD	64.0 + 57.6D

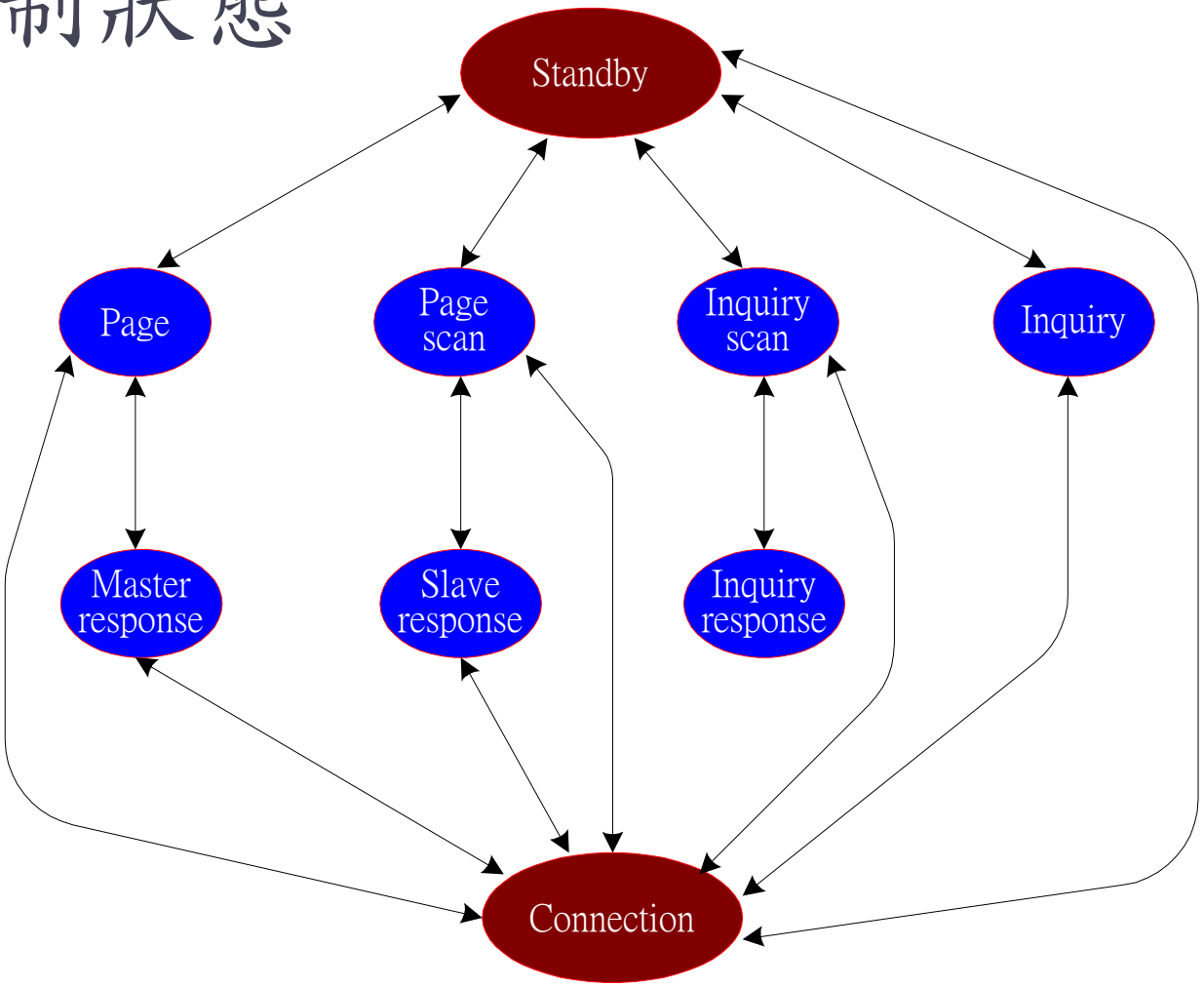
- 共同封包 (Common Packet)
  - 基頻通道控制使用
    - ID (Identify Packet)
    - NULL (Null Packet)
    - POLL (Poll Packet)
    - DM1 (Data Medium Rate Packet)
    - FHS (Frequency Hop Synchronization Packet)
  - 處理裝置狀態變化使用
    - **FHS 封包格式**



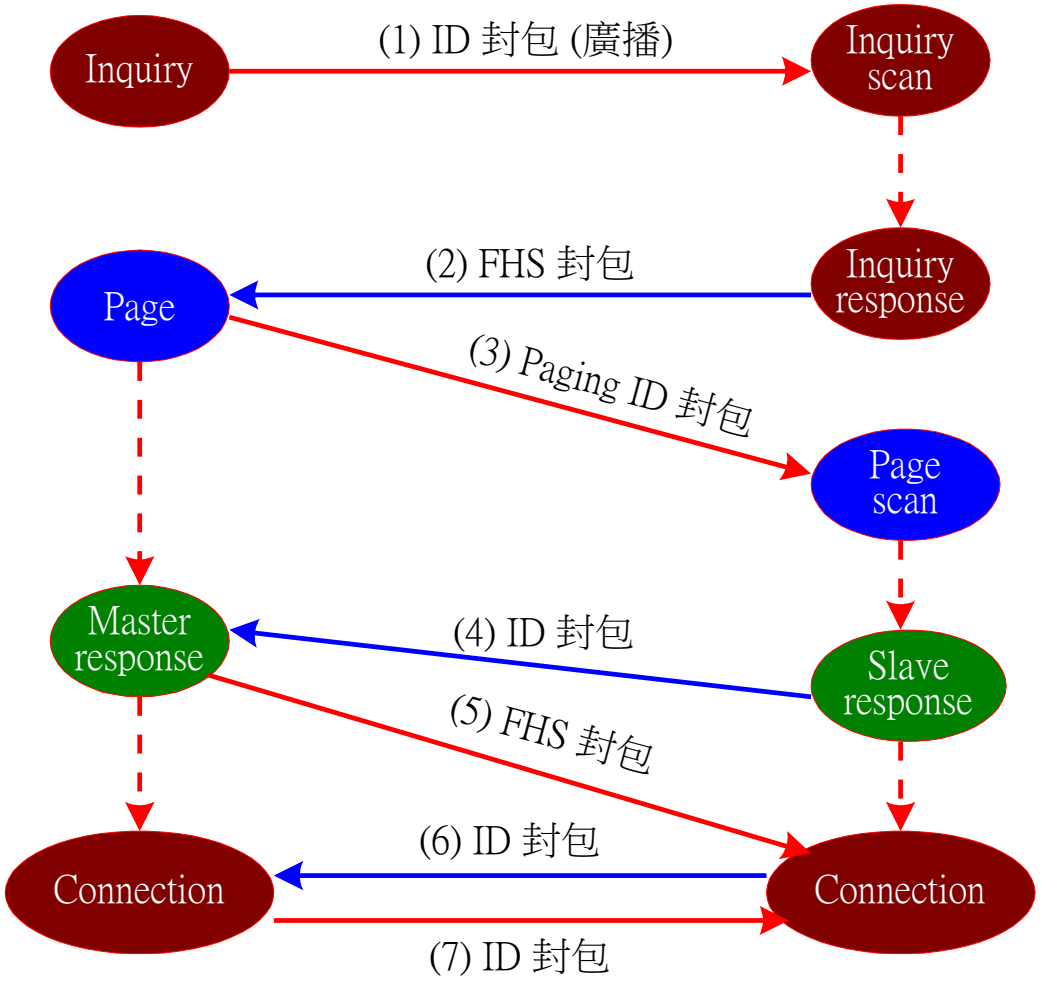
基頻鏈路控制狀態

鏈路狀態變化

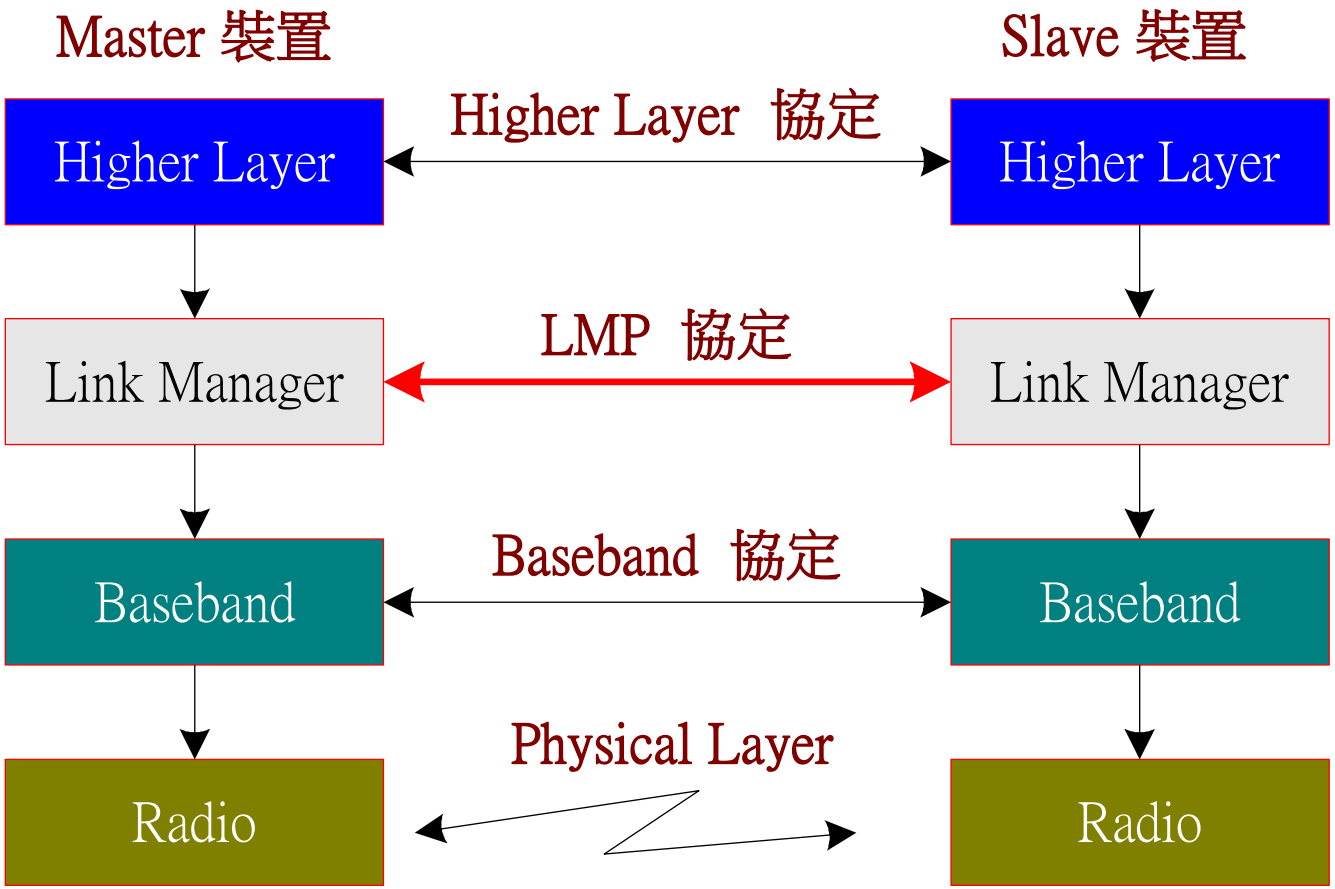
- Inquiry 狀態
- Inquiry Scan 狀態
- Inquiry Response 狀態
- Page Scan 狀態
- Master Response 狀態
- Slave Response 狀態



- 狀態變化處理程序
  - Inquiry Procedure
  - Page Procedure

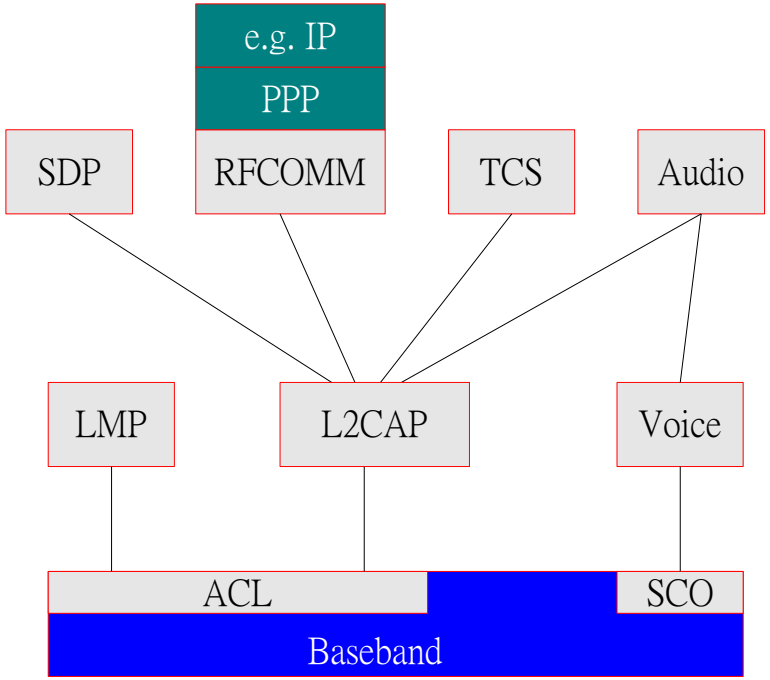


- 鏈路管理協定(Link Management Protocol, LMP) 堆疊

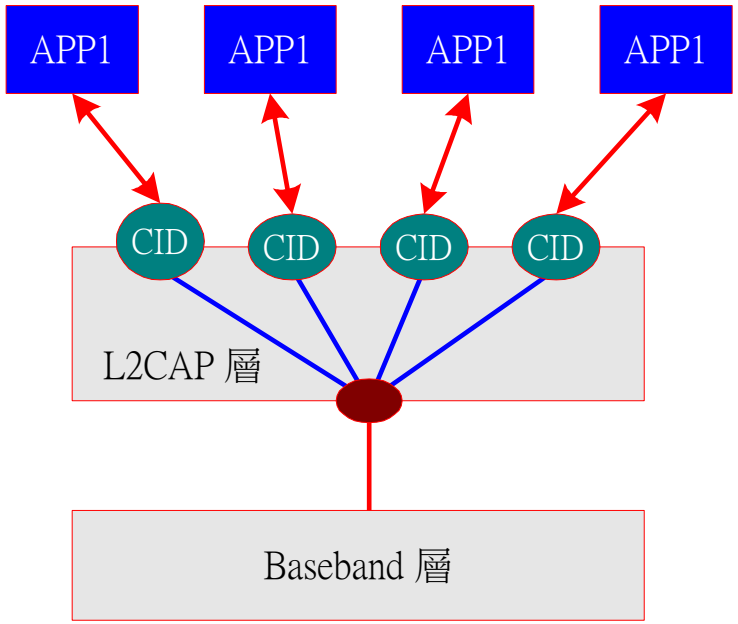


- LMP 協定之功能
  - 安全服務 (Security Service)
  - 時序與同步 (Time/Synchronous)
  - 站台能力 (Station Capability)
  - 模式控制 (Mode Control)

- 邏輯鏈路控制與調適協定 (Logical Link Control and Adaptation Protocol, L2CAP)
  - RFCOMM (Radio Frequency Communication)
  - TCS (Telephone Control Specification)
  - SDP (Service Discovery Protocol)
  - Voice



- 多工與邏輯通道 (1)
  - 邏輯通道識別碼 (Logical Channel Identifier, CID)
  - 通道傳輸型態：
    - 資料通道 (Data Channel)
    - 訊號通道 (Signaling Channel)



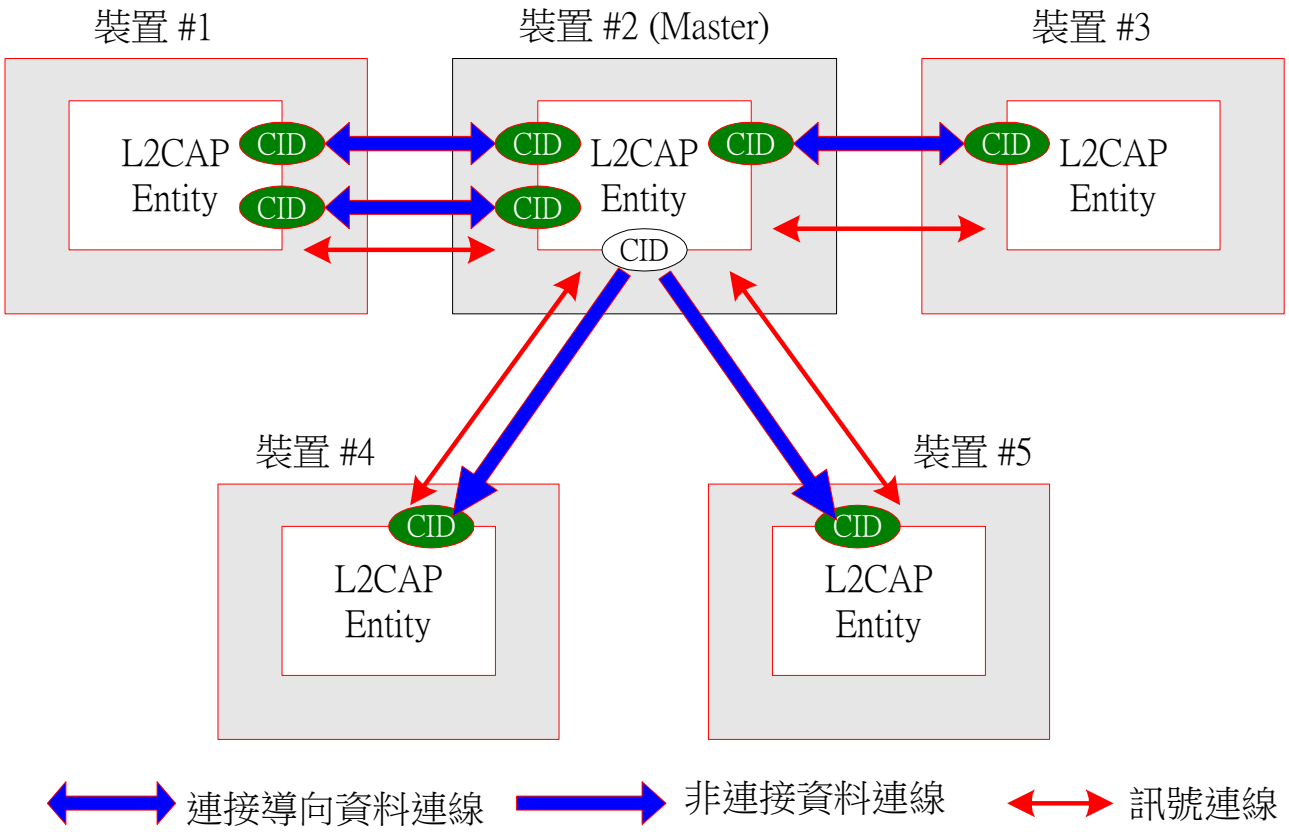
L2CAP 協定

- 多工與邏輯通道 (2)
  - CID 識別碼分類

道類別	本地 CID 識別碼	遠端 CID 識別碼
連接導向	動態指定	動態指定
非連接資料	動態指定	0x0002（固定）
訊號	0x0001（固定）	0x0001（固定）

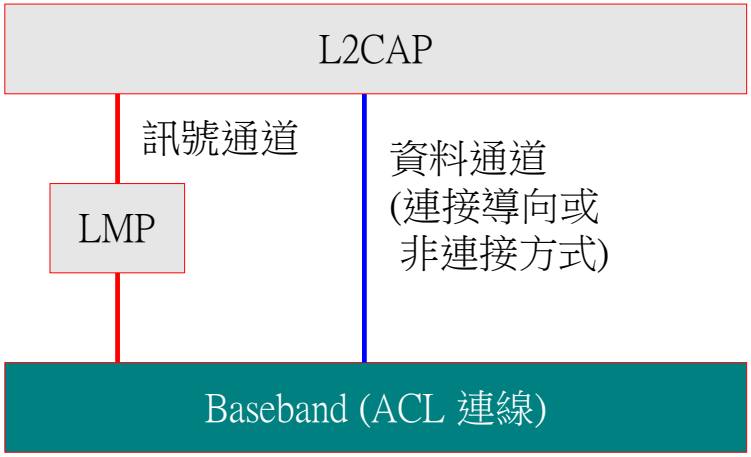
L2CAP 協定

- 邏輯通道連接範例



L2CAP 協定

- 多工與邏輯通道 (4)
  - 訊號通道與資料通道



封包格式及介面 (一)

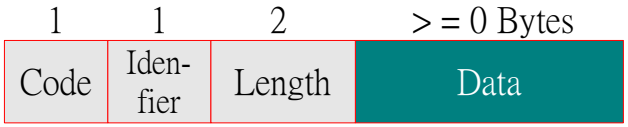
- L2CAP 封包格式
  - Connectionless PDU
  - Connection-oriented PDU
  - Signaling Command PDU

(a) Connectionless PDU

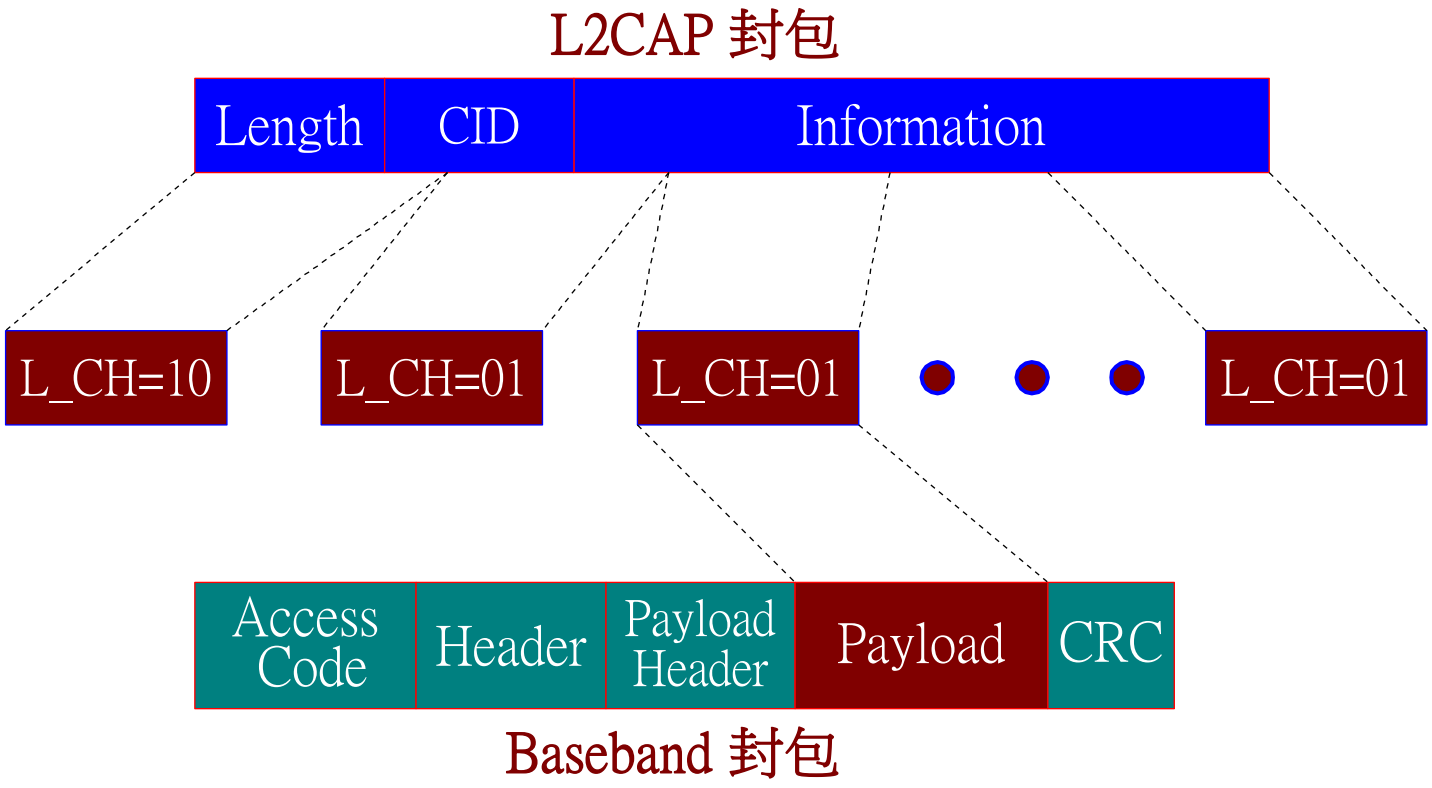
(b) Connection-oriented PDU

(c) Signaling Command PDU

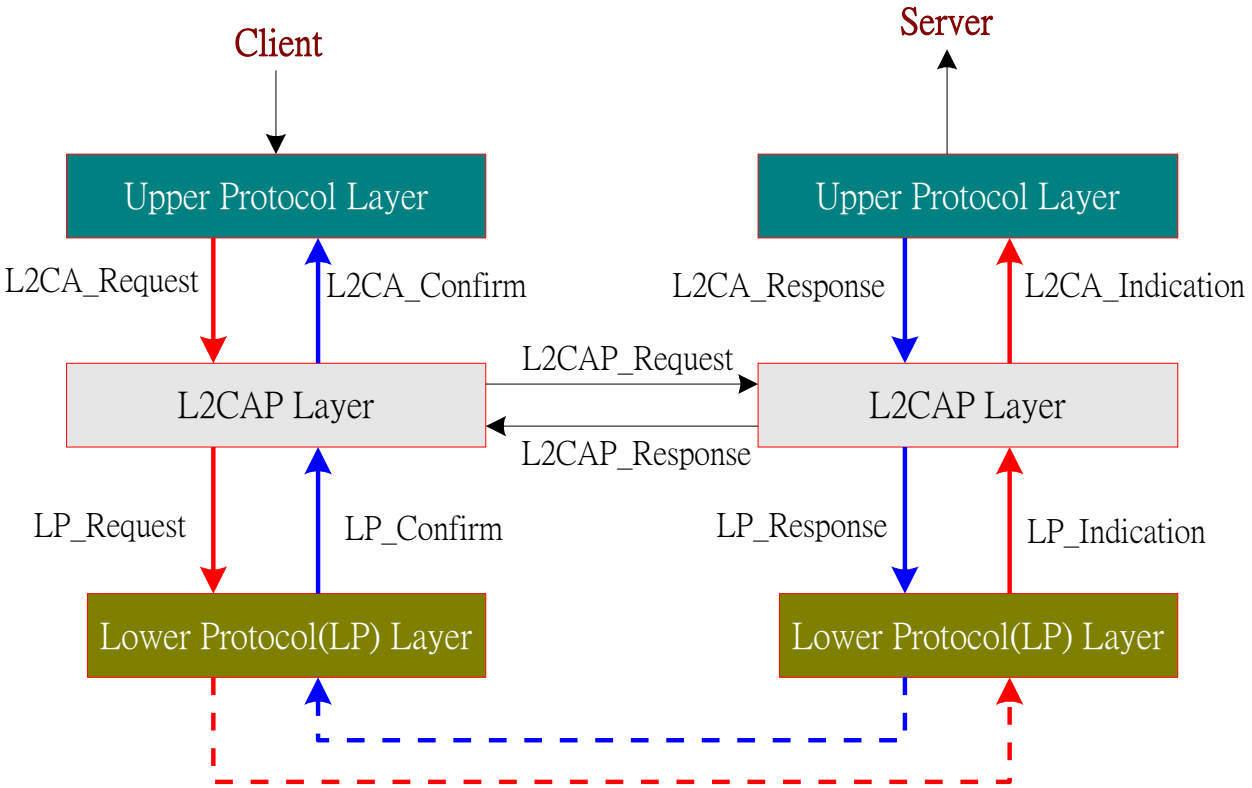
(d) Command Format



- L2CAP 封包分段與重組

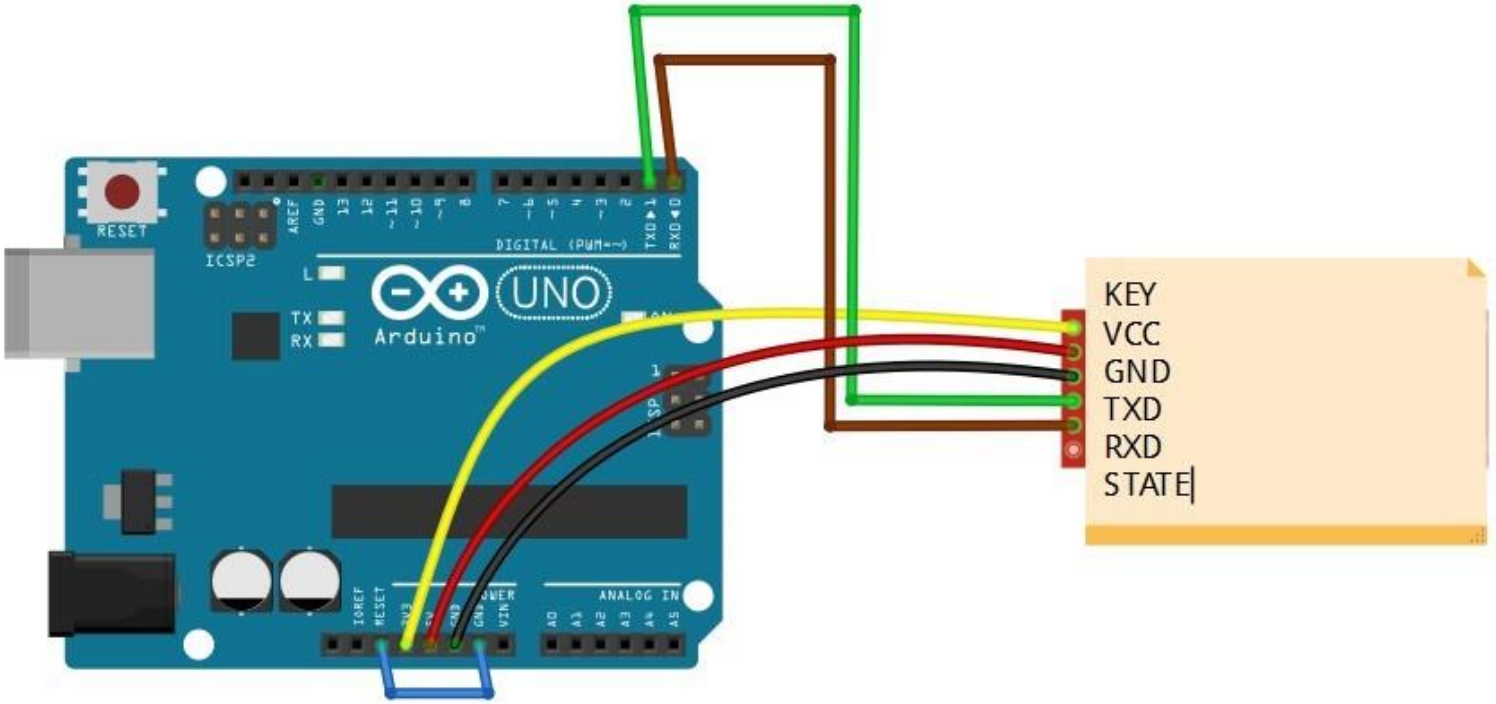


- L2CAP 層次介面
  - Request Primitive
  - Indication Primitive
  - Confirm Primitive
  - Response Primitiv



HC-05 低功耗 BLE 藍芽模組

- KSRobot KSM008 藍芽模組含底板 (HC-05版本)。
- 採用CSR主流藍牙晶片，藍牙V2.0協定標準
- 串口模組工作電壓3.3V。
- 串列傳輸速率**默認出廠9600**，用戶可設置。
- 核心模組尺寸大小為：28mm x 15 mm x 2.35mm。
- 工作電流：配對中：30～40mA 配對完畢未通信：2～8Ma 通信中：8mA
- 休眠電流：不休眠
- 用於GPS導航系統，水電煤氣抄表系統，工業現場采控系統。
- 可以與藍牙筆記本電腦、電腦加藍牙適配器、PDA等設備進行無縫連接



藍牙	Arduino UNO
KEY(or En)	3.3V
VCC	5V
GND	GND
TXD	TXD
RXD	RXD
STATE	不用接

- 接完線後，將Arduino UNO 用USB連接到電腦，選擇該板子的COM Port，按下Serial Monitor，由於這是Keyes藍牙HC-05的baud rate出廠時預設為38400，所以Serial Monitor的baud rate要選38400，另外一個選項要選NL&CR，即可下AT指令，大小寫不拘。

- 進入AT指令 Key->Vcc
  - 利用序列監視視窗，AT指令檢查，此時，HC05模組上之LED燈應該是慢閃(註:一般模式時是快閃)

AT指令集

- 參考 HC-05指令集V2.1_16.pdf 檔案
- 查詢HC-05 address:「AT+ADDR?」
- 改名字為TCUMI-XX:「AT+NAME= TCUMI-XX 」
- 查Baud rate:「AT+UART? 」
  - 如果改完Baud rate請把藍牙電源拔掉再重新接上，再把KEY腳位接上3.3V，新的鮑率設定才會生效

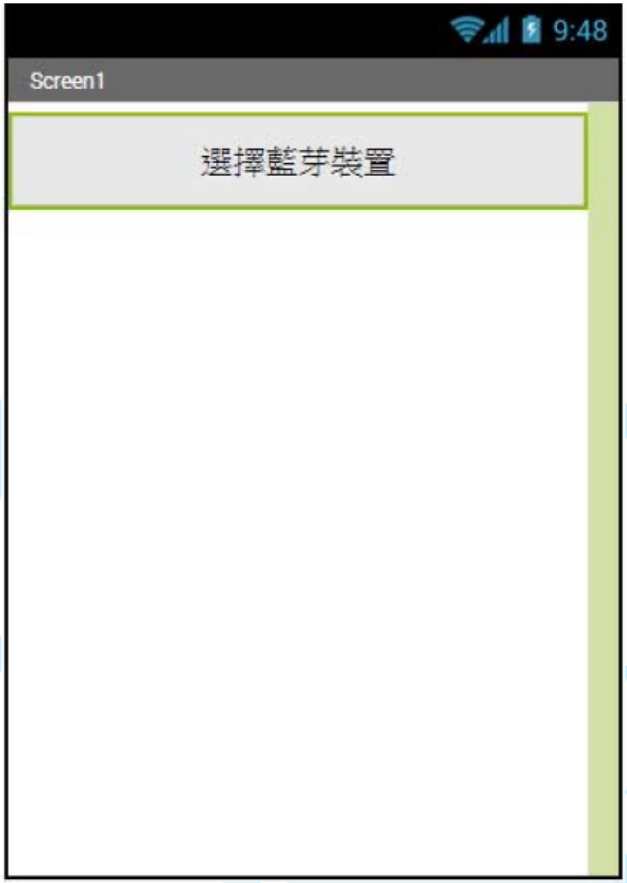
- 與PC/Android連線時，配對密碼 1234

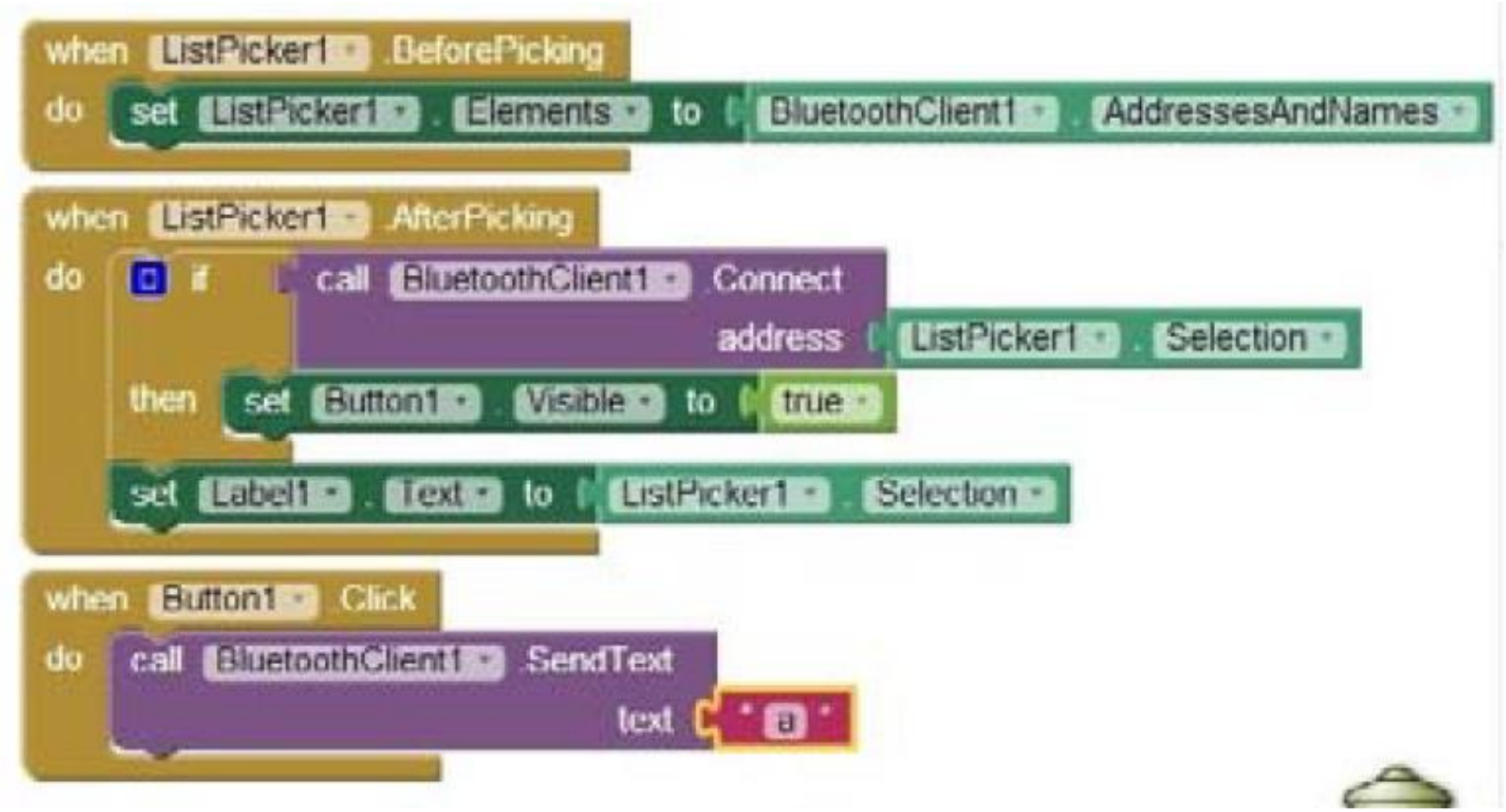
範例，用Android手機控制Arduino上的LED燈

```
#include <SoftwareSerial.h>   // 引用程式庫
 // 定義連接藍牙模組的序列埠
SoftwareSerial BT(8, 9); // 接收腳, 傳送腳
char ch;
int LED=0; // 儲存LED 目前狀態
void setup()
{
Serial.begin(9600); // 這行主要是設定和電腦的COM 通訊的速度
BT.begin(9600); // 這行主要是設定和藍芽 通訊的速度
pinMode(5, OUTPUT); // 設定腳位5 為輸出模式
Serial.println("BT Ready");
}
```

```
void loop()
{
if (BT.available()) // 檢查手機端是否有訊息來
  {
    ch = BT.read(); // 若有訊息, 一次讀取一個byte
    Serial.println(ch);
    if (ch == 'a' ) // 判斷是否為a 的訊息
    {
      if (LED==LOW) //判斷腳位5 的燈是否有亮(預設是LOW)
      {
        digitalWrite(5, HIGH); // 點亮腳位5 的燈
        LED=HIGH; // 變更LED 狀態為ON
      }
      else
      {
        digitalWrite(5, LOW);
        LED=LOW;
      }
    }
  }
}
```

使用Inventor2製作手機介面




when ListPicker1 .BeforePicking
do set ListPicker1 . Elements to BluetoothClient1 . AddressesAndNames
when ListPicker1 .AfterPicking
do if call BluetoothClient1 .Connect
address ListPicker1 . Selection
then set Button1 . Visible to true
set Label1 . Text to ListPicker1 . Selection
when Button1 .Click
do call BluetoothClient1 .SendText
text "a"

練習

- 將上述範例改成兩個按鈕，開 和 關，去控制LED亮暗