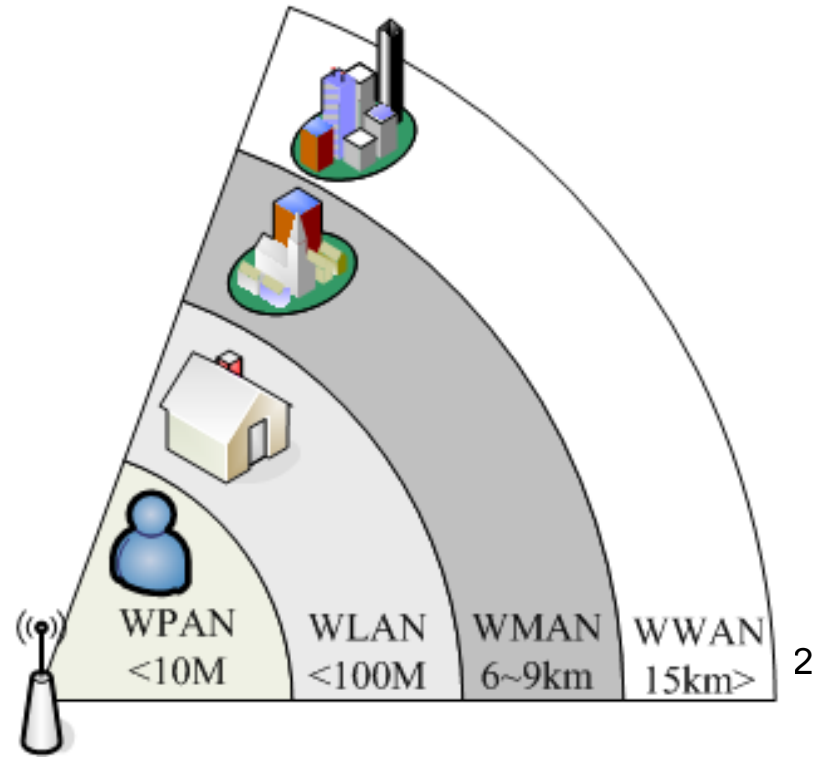


Chapter 6

ZigBee/IEEE 802.15.4 簡介

6.1 概述

- WMAN 無線都會網路: 802.16
- WLAN 無線區域網路: 802.11
- WPAN 無線個人網路: 802.15



802.15 Working Group

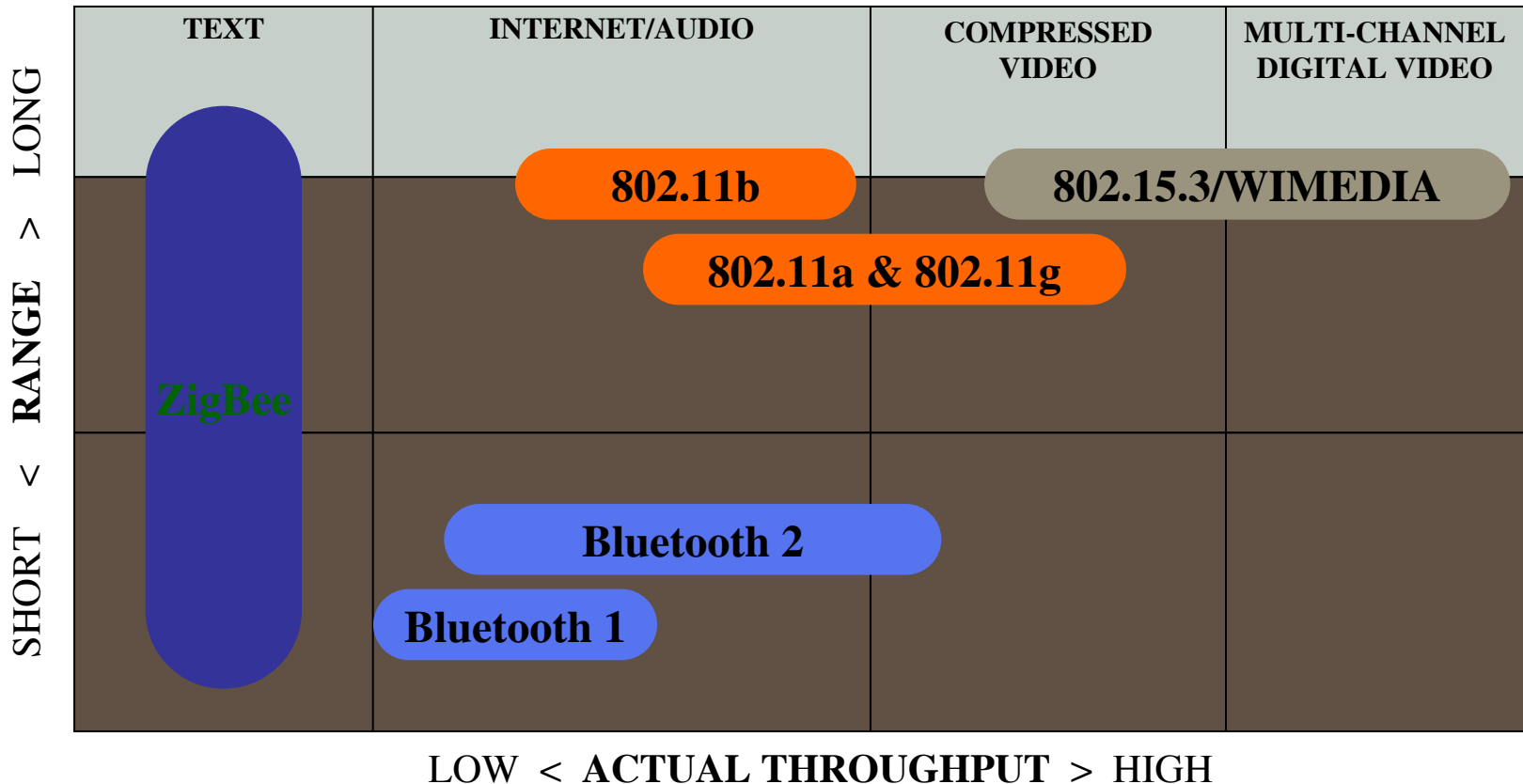
1. 802.15.1: 藍芽 (Bluetooth) 通訊標準
2. 802.15.2: 定義 802.15 在 2.4G 公用頻帶的互通性
3. 802.15.3: WiMedia 定義短距離 高頻寬的通訊標準 (110~200Mbps, 個人多媒體傳送)
UWB (Ultra Wide Band)
4. 802.15.4: ZigBee 定義短距離 低速率的通訊標準

802.15 Working Group

Project	Data Rate	Range	Configuration	Other Features
802.15.1 (Bluetooth)	1 Mbps	10M (class 3) 100M (class 1)	8 active device Piconet/ Scatternet	Authentication, Encryption, Voice
802.15.3 High Rate	22, 33, 44, 55 Mbps	10M	256 active device Piconet/ Scatternet	FCC part 15.249 QoS, Fast Join Multi-Media
802.15.4 Low Rate	up to 250Kbps	10M nominal 1M-100M based on settings	Master/Slave (256 Devices or more) Peer to Peer	Battery Life: multi-month to infinite
802.15.2 Coexistence	Develop a Coexistence Model and Mechanisms Document as a Recommended Practice			

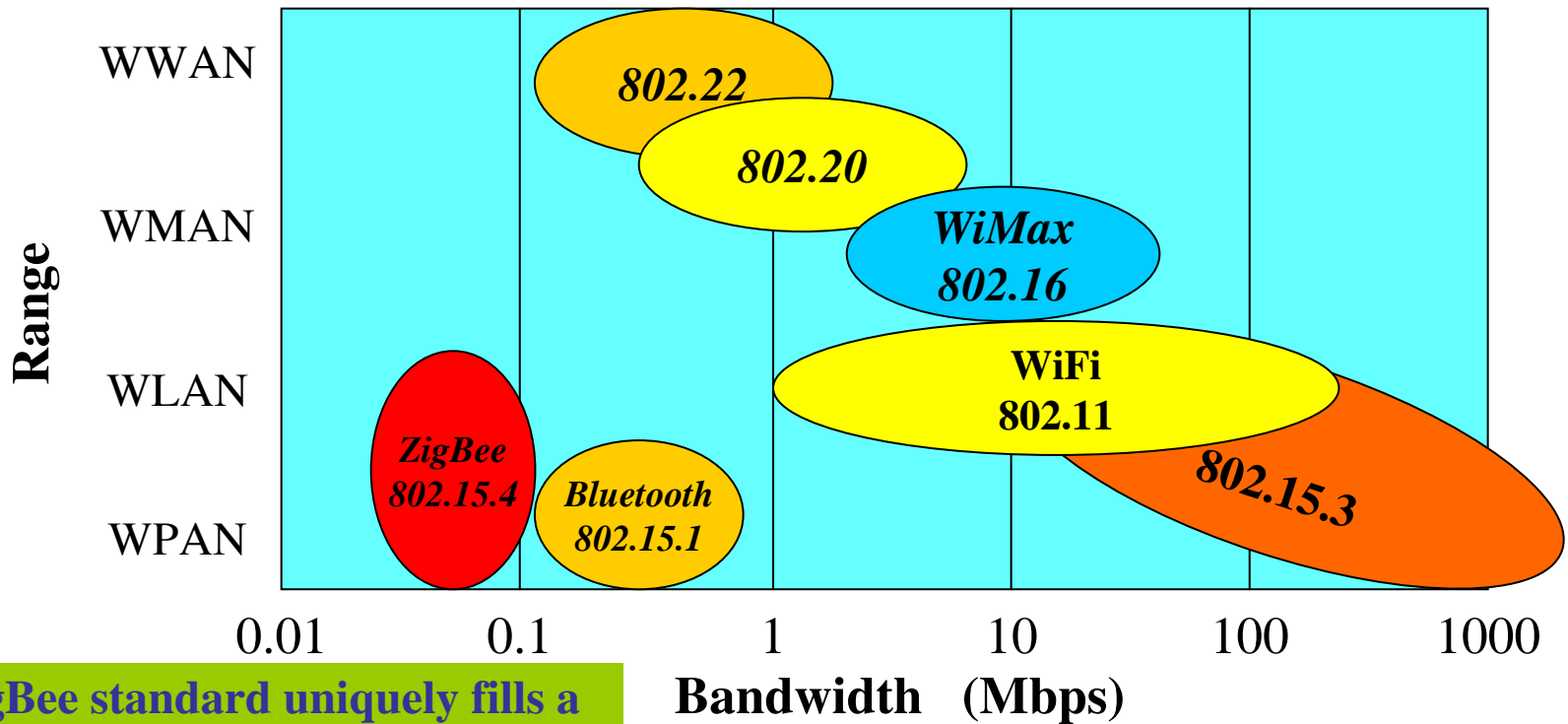
802.15 Working Group

- 802.11b vs Bluetooth vs ZigBee



ZigBee Overview (4/7)

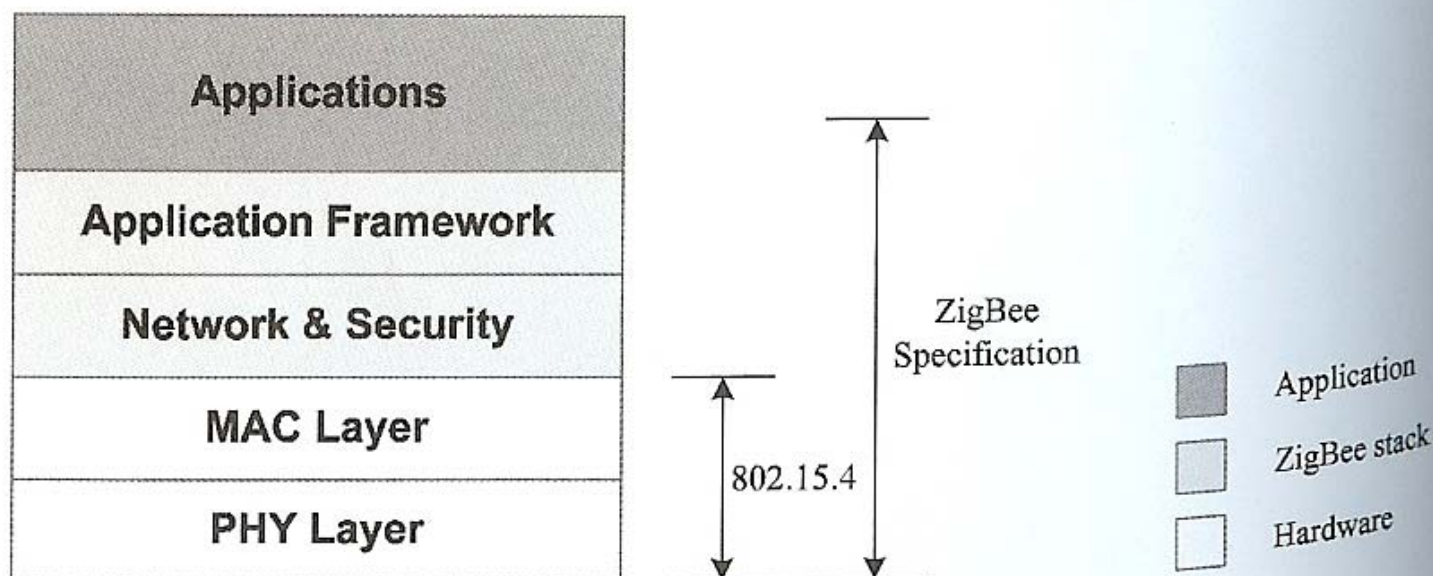
- The IEEE 802 Wireless Space



ZigBee standard uniquely fills a gap for low data rate applications

802.15.4

▶ 圖 6.1: ZigBee/IEEE 802.15.4 協定堆疊



6.2 802.15.4 概述

- LR-WPAN
- Star topology or Peer-to-Peer topology
- Two Types of devices
 1. Full Function Device, FFD
 - 可與任何裝置通訊
 - 可成為網路協調者 (PAN coordinator)
 2. Reduce Function Device, RFD
 - 只可與網路協調者通訊
 - 價格便宜



6.2.1 802.15.4 PHY

- ZigBee所使用的頻段(共27頻道)：
 1. 全球通用頻段2.4GHz ISM 分成16個頻道，channel的編號為11~26
 2. 美國使用915MHz 分成10個頻道，channel的編號為1~10
 3. 歐洲使用868MHz 只用1個頻道，channel的編號為0

6.2.1 802.15.4 PHY

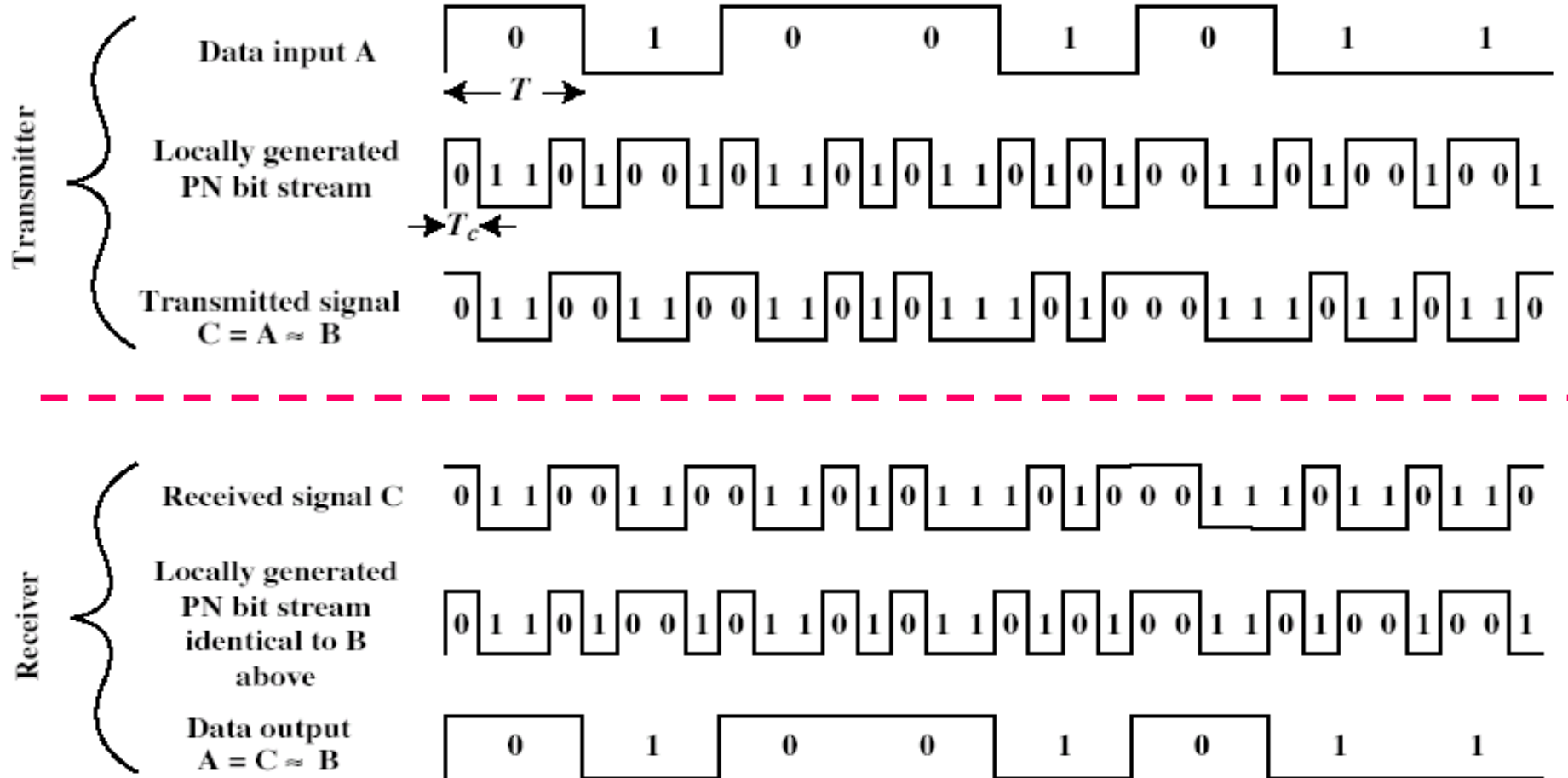
- ZigBee所使用的頻段：

Area	Frequency Band	Channel Numbering
Europe	868-870 MHz	0
America	902-928 MHz	1 to 10
Global	2.4-2.4835 GHz	11 to 26

6.2.1 802.15.4 PHY

- DSSS (直接序列展頻技術)
 1. 使用一個展頻碼將每個位元以多個位元表示
 2. 展頻碼延展訊號直接讓多個位元使用
 3. DSSS用「互斥或」結合數位資訊流與展頻碼位元流(如下頁的例子)

DSSS (直接序列展頻技術)

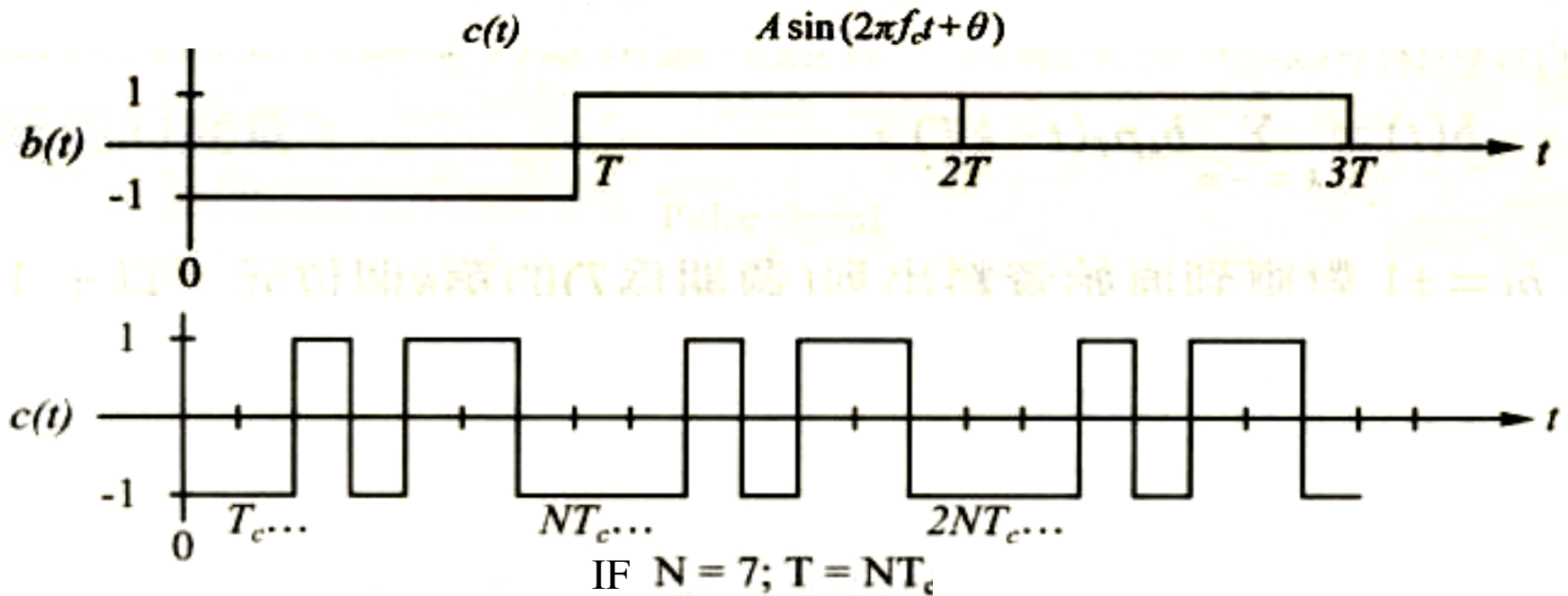
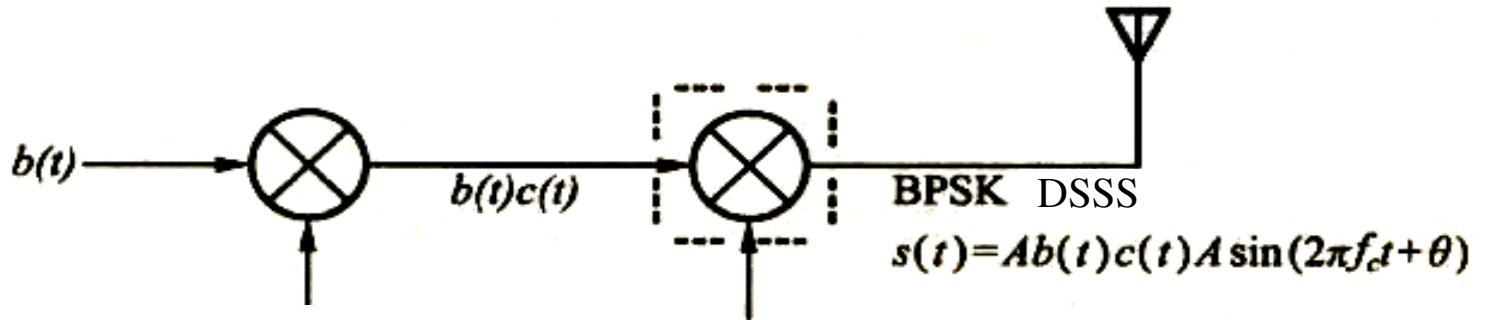


ZigBee Radio

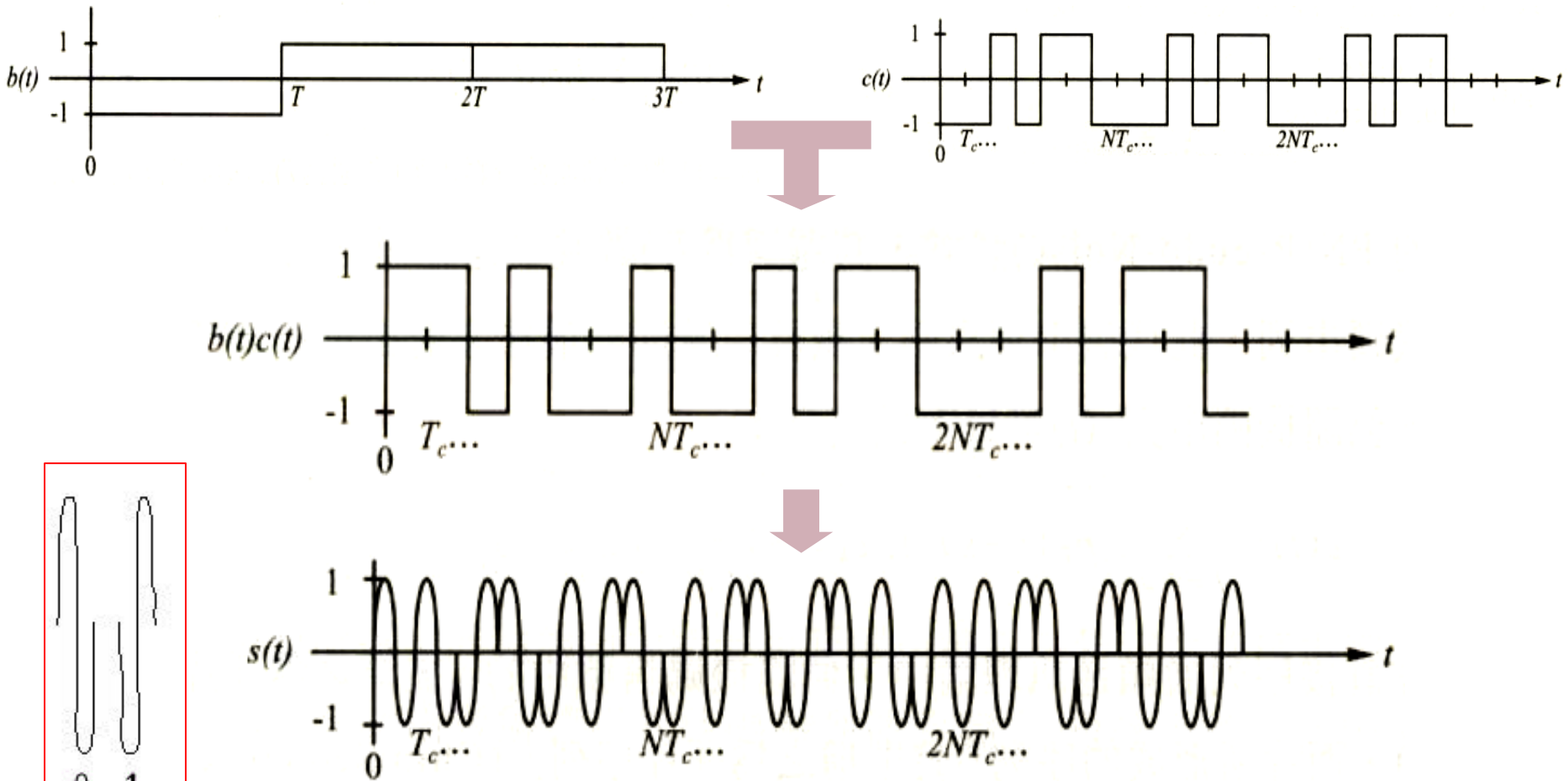
- ZigBee所使用的頻段不同，其展頻所使用的參數也就不同。
- 在2.4GHz頻帶下所使用的modulation type是32個PN-code長度的O-QPSK, Chip Rate為2Mchip/s
- 868/915MHz則使用15PN-code的BPSK, Chip Rate分別為300/600kchip/s

PHY	Spreading Parameters		Data Parameters		
	Chip Rate	Modulation	Bit Rate	Symbol Rate	Modulation
868/915 MHz	300 kchip/s	BPSK	20 kb/s	20 kbaud	BPSK
	600 kchip/s	BPSK	40 kb/s	40 kbaud	BPSK
2.4 GHz	2.0 Mchip/s	O-QPSK	250 kb/s	62.5 kbaud	16-ary Orthogonal

ZigBee Radio – BPSK (1/2)

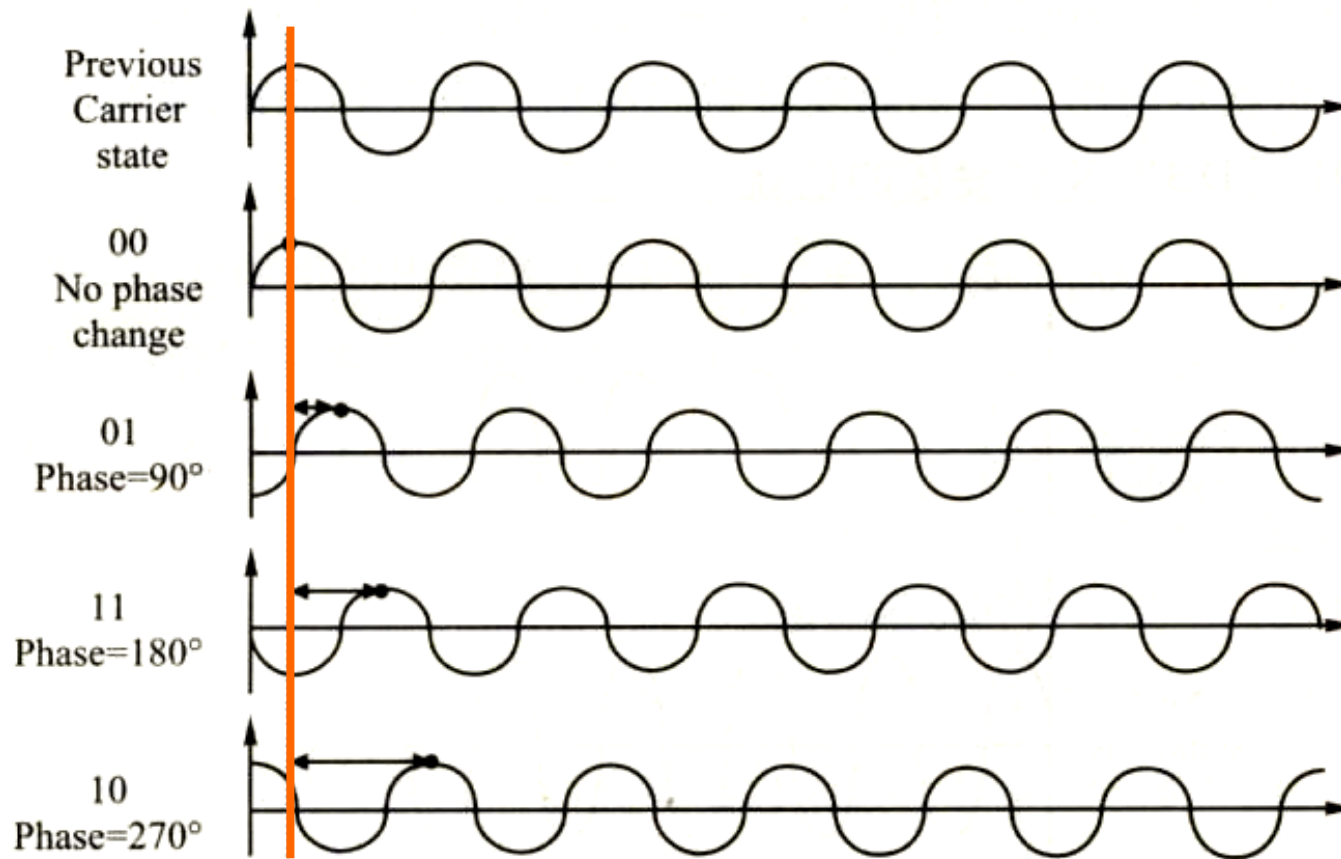


ZigBee Radio - BPSK (2/2)



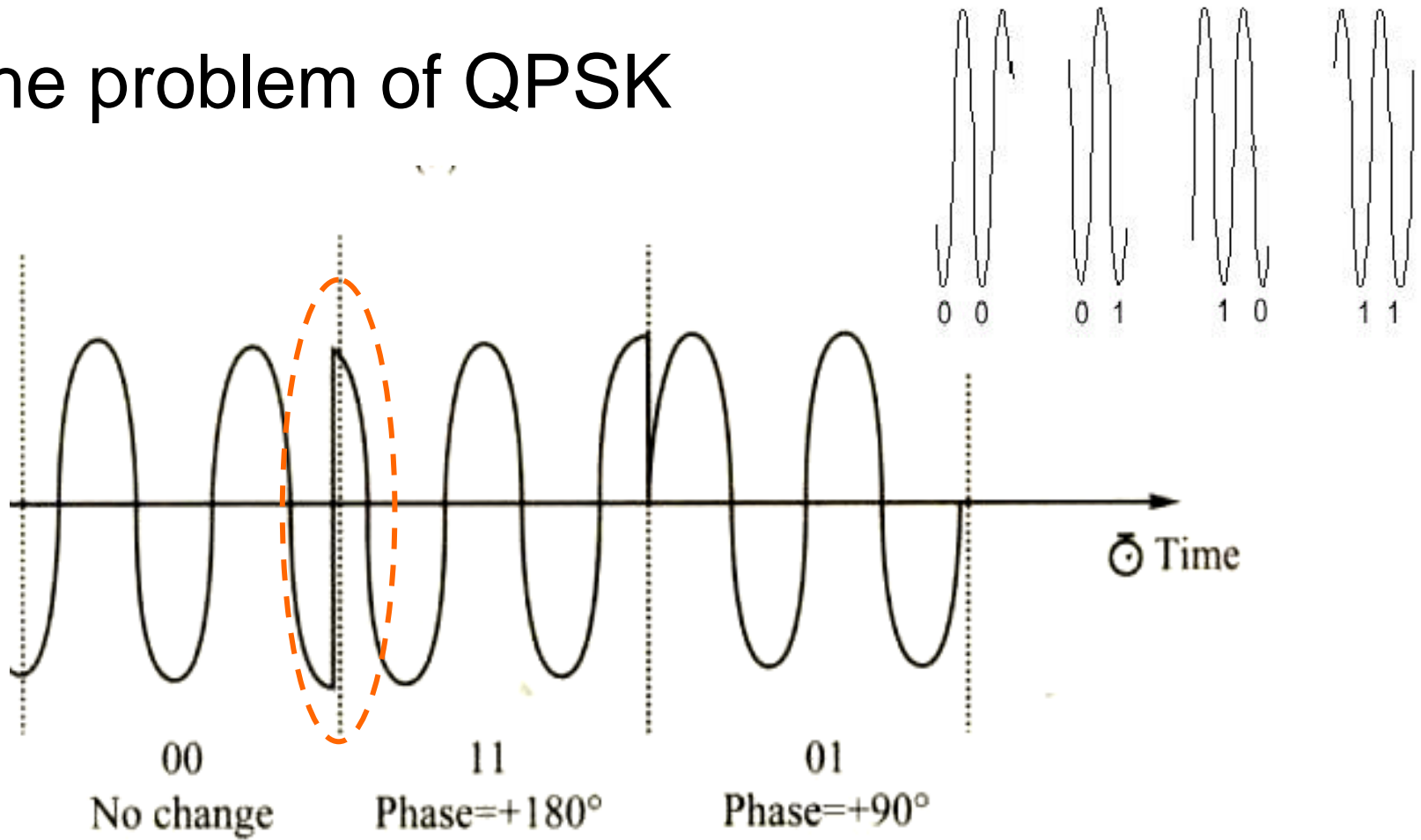
ZigBee Radio – O-QPSK (1/3)

- QPSK (Quadrature Phase-Shift Keying)



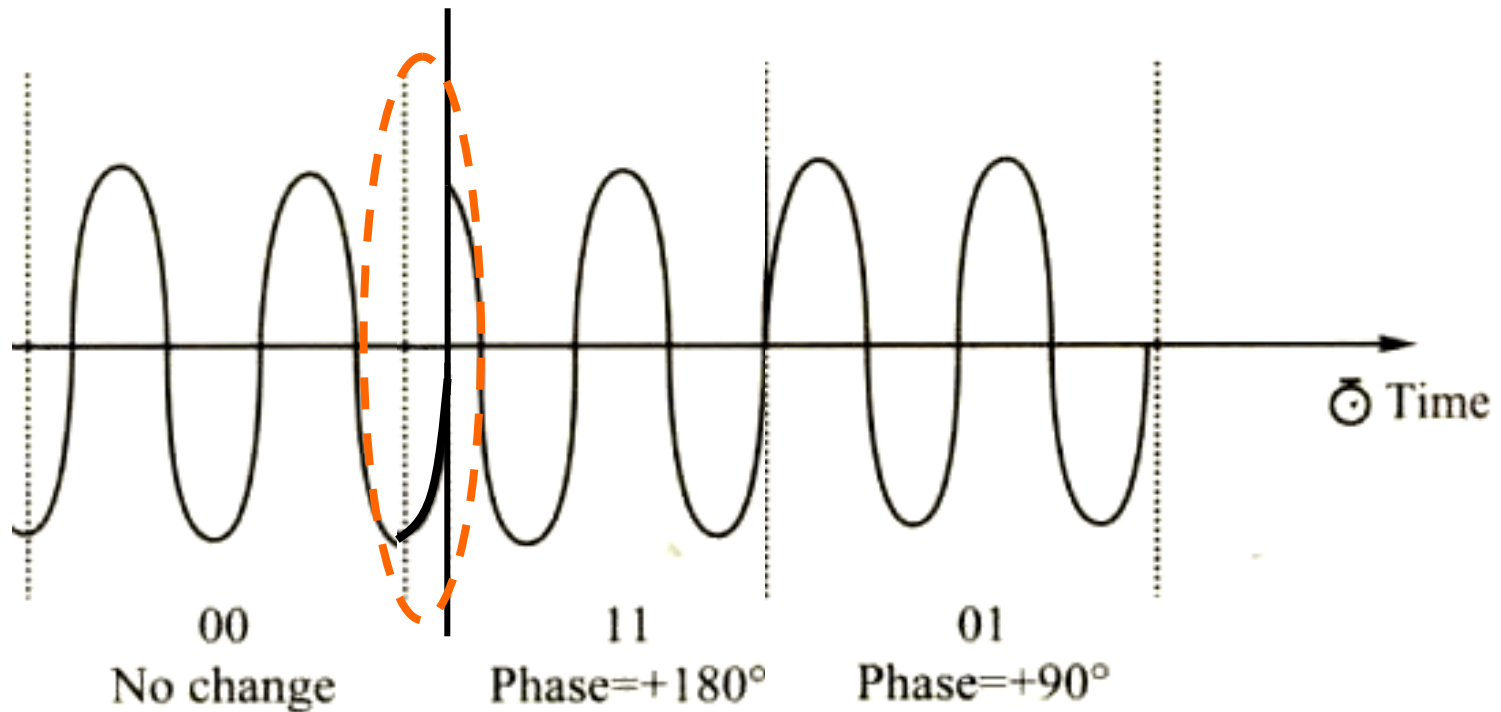
ZigBee Radio – O-QPSK (2/3)

- The problem of QPSK



ZigBee Radio – O-QPSK (3/3)

- OQPSK (Offset QPSK)



6.2.2 802.15.4 MAC

- ZigBee的frame種類有四種：
 1. Data frame是用來傳輸資料
 2. Beacon是用來做同步化
 3. Acknowledgment frame
 4. Mac command frame則是用來下些指令，例如data request

6.2.2 802.15.4 MAC

- ZigBee的傳輸模式有兩種，一種是Slotted
另一種是unslotted
 1. Slotted是指coordinator會定時發出beacon來
做同步化的動作，適合用來傳輸定時性的
資料和需要低延遲的資料
 2. Unslotted則是指裝置要傳輸資料的話都靠
CSMA/CA來搶頻寬傳輸資料，適合用來
傳不定時的資料

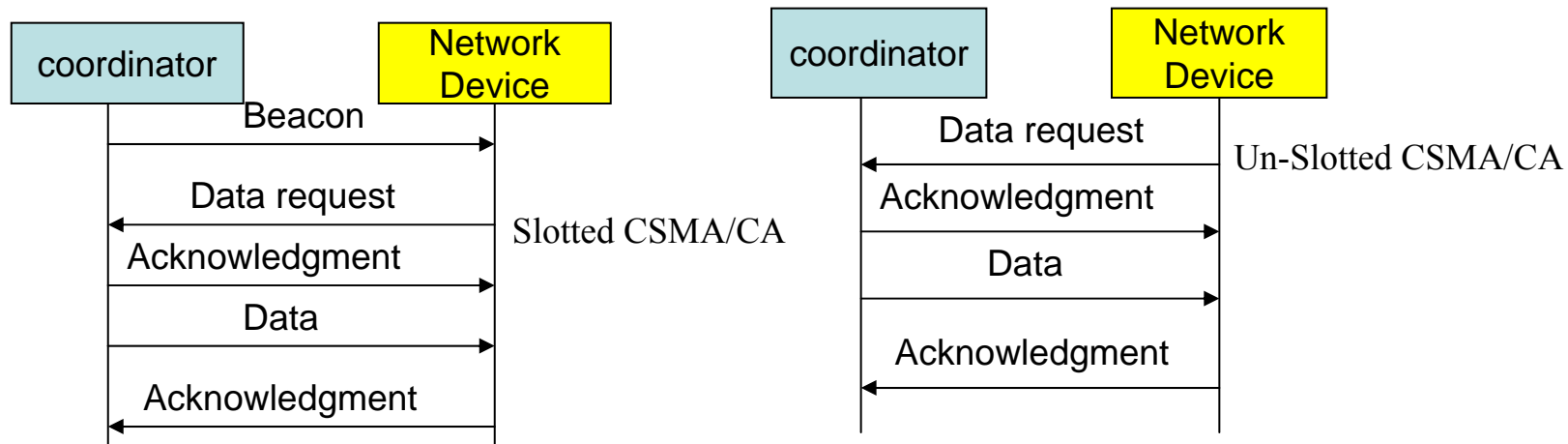
ZigBee的傳輸程序(1/3)

- Overview of 802.15.4 Data transfer

- coordinator傳輸給device

- Slotted

Un-Slotted



Reference: ZigBee/IEEE 802.15.4 Summary

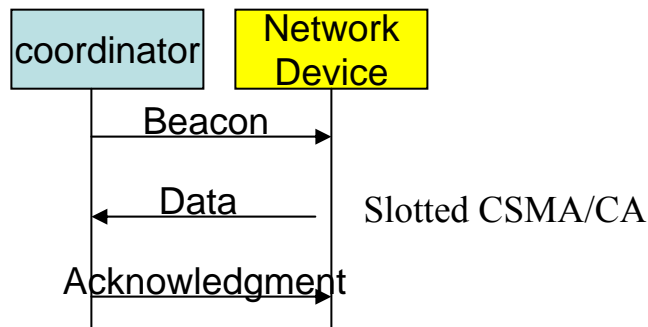
<http://pages.cs.wisc.edu/~suman/courses/838/papers/>

ZigBee的傳輸程序(2/3)

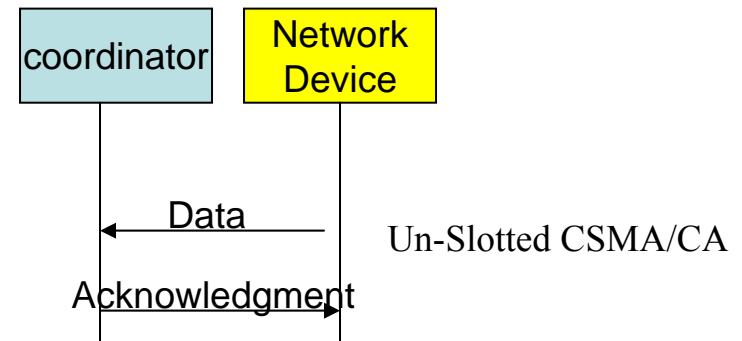
- Overview of 802.15.4 Data transfer

- device要傳資料給coordinator

- Slotted



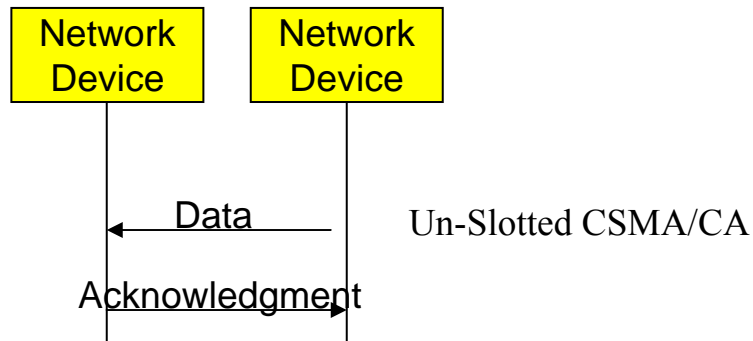
- Un-Slotted



Reference: ZigBee/IEEE 802.15.4 Summary
<http://pages.cs.wisc.edu/~suman/courses/838/papers/>

ZigBee的傳輸程序(3/3)

- Overview of 802.15.4 Data transfer
 - device要傳資料給 device
 - Only Un-Slotted



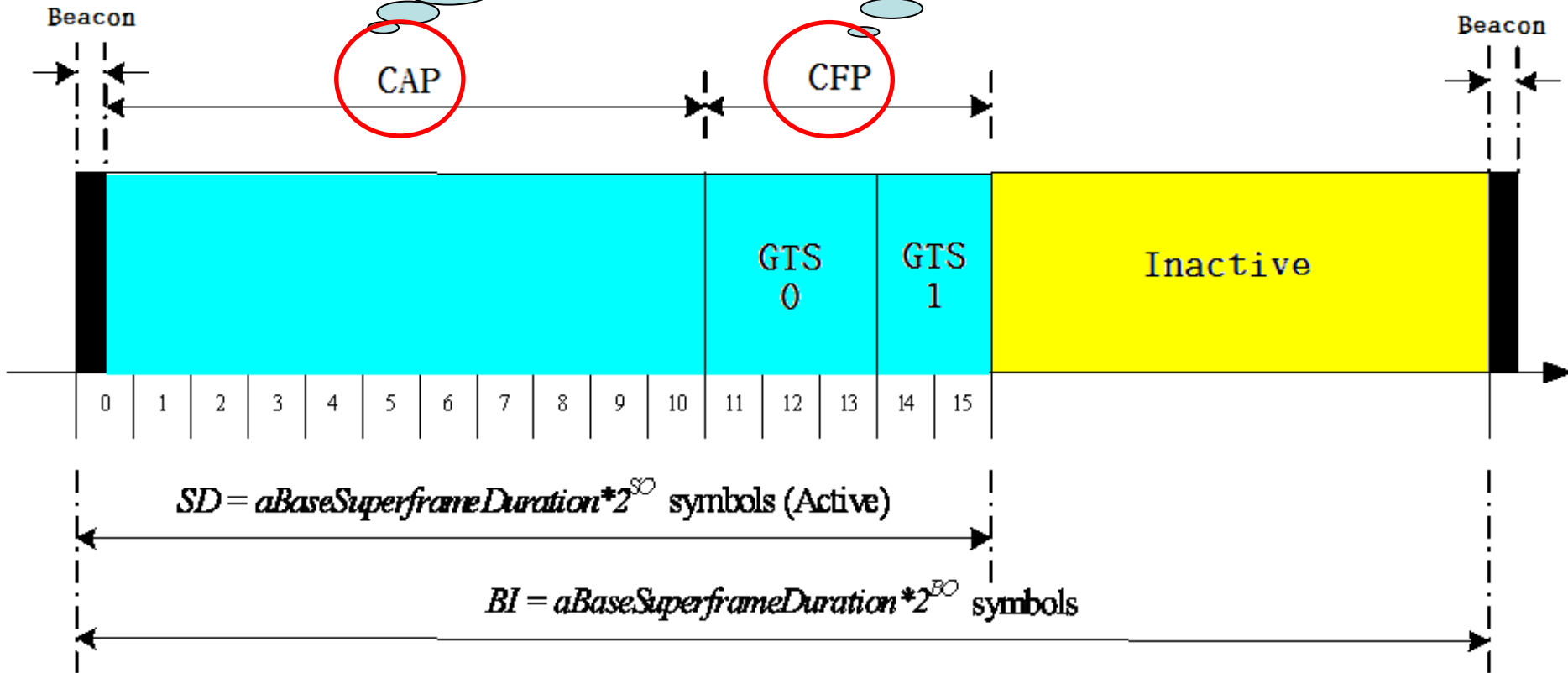
Reference: ZigBee/IEEE 802.15.4 Summary
<http://pages.cs.wisc.edu/~suman/courses/838/papers/>

Superframe 加排 (4/5)

Using slotted CSMA/CA

Coordinator allocate

- Superframe (Scheduled Mode)



Superframe 架構(2/5)

- Super Frame (Slotted Mode)
 - Active 可以分為16個時區 (first slot is beacon slot) ，
 - 這16個時區又可分為競爭存取階段(CAP)和非競爭存取階段(CFP)
 - CAP (Contention Access Period)-CSMA/CA
 - CFP (Contention Free Period)(≤ 7 slots)
 - 指派保證時區(GTS)給要求頻寬的網路裝置
- Inactive 是指不可以傳輸資料的時區

Superframe 架構(3/5)

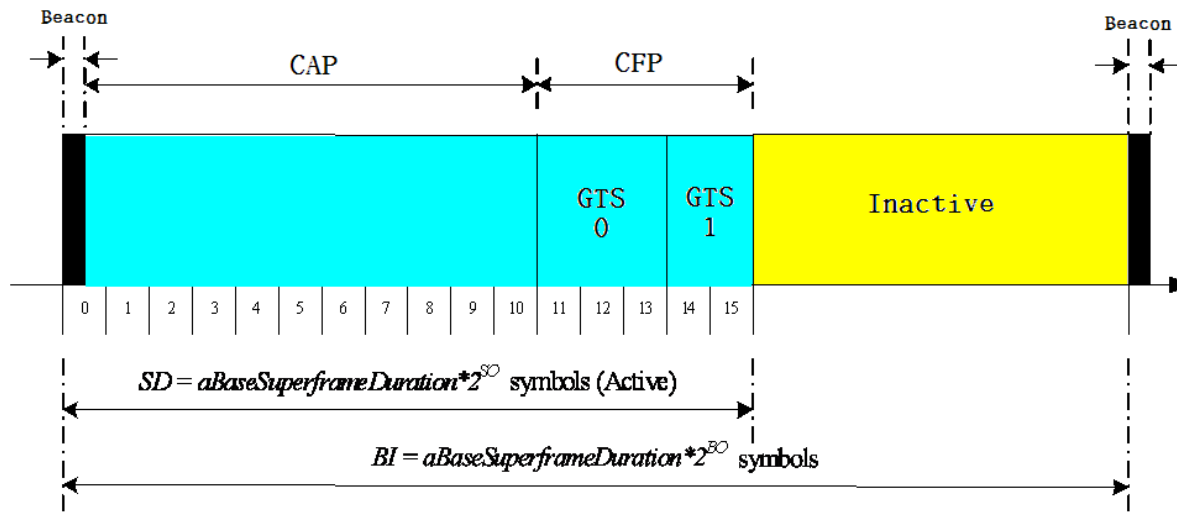
- Beacon的功能是
 - 啟動superframe
 - 將其他裝置同步
 - 告訴不在這個網路裏的裝置這個有我這個 coordinator形成的PAN
 - coordinator告訴裝置有資料要傳輸給他

Superframe 架構(4/5)

- 在 beacon enable 的模式下，要傳輸資料有兩種方式來搶頻寬
 1. 網路裝置依在 CAP 下，要靠 CSMA/CA 來搶頻寬，搶到頻寬才能傳輸資料。
 2. 當網路裝置想到傳輸資料時，跟 coordinator 要求時區，如果 coordinator 允許這個要求的話，會指派保證時區(GTS)給要求頻寬的網路裝置

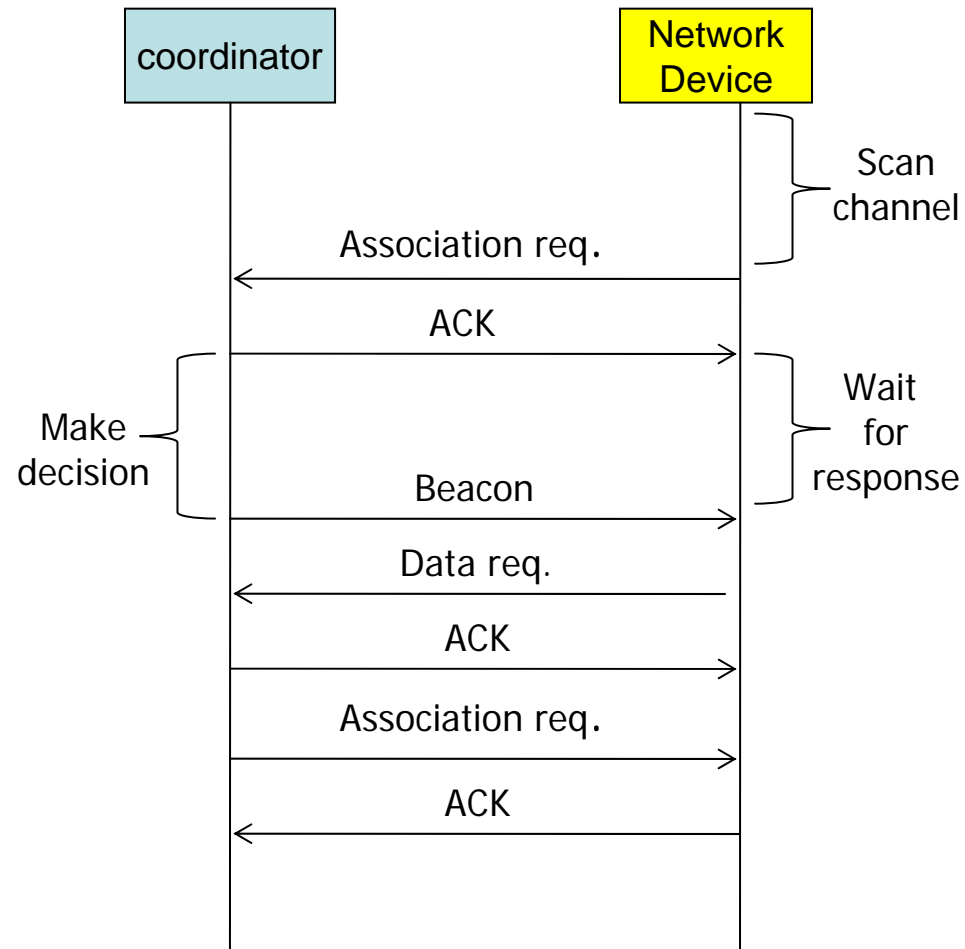
Superframe 架構(5/5)

- Superframe 的長度取決於兩個包含在 Beacon 訊框的資訊 BO 和 SO
 - BO 決定 superframe 的長度
 - SO 決定 superframe 中，active 時區的長度
- $0 \leq SO \leq BO \leq 14$



Association Procedure (1/2)

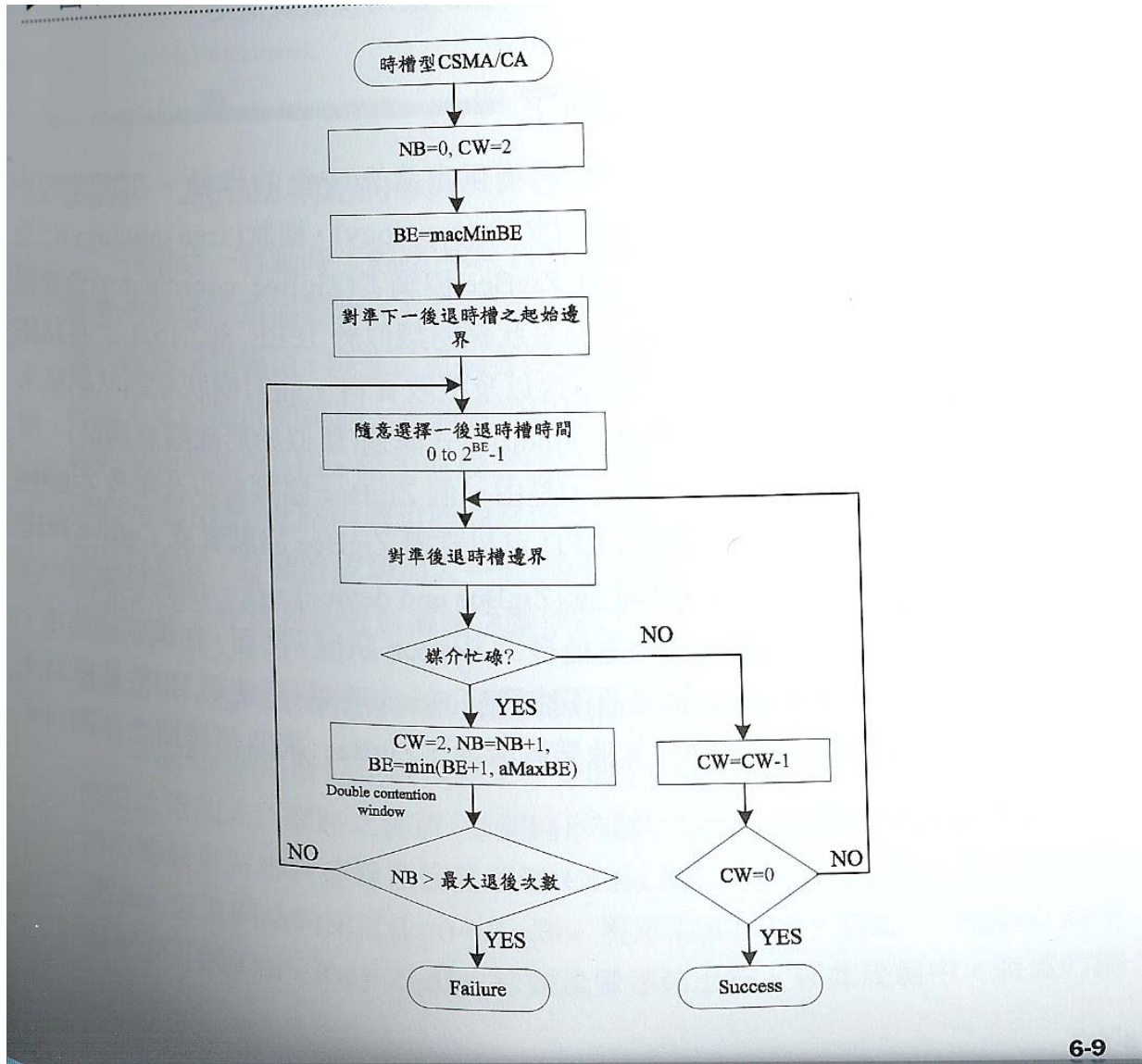
- 當一個裝置要加入由一個 coordinator 形成的 PAN 時，會先掃描周遭有哪些 PAN，決定其中一個加入，並且向 PAN 的 coordinator association 的要求
- 當 coordinator 收到裝置傳來的要求時，會決定要不要讓這個 device 加入，
- 當決定好了後，coordinator 傳 beacon 告知 device 來拿要求加入的結果，裝置向 coordinator 提出 data request，coordinator 就將結果傳給裝置



Association Procedure (2/2)

- Device提出association的結果，coordinator是以間接傳輸的方式告訴裝置
- Device需要向coordinator提出data request 以取得association的結果
- 當裝置加入PAN後，coordinator會向裝置指派一個16位元的位址。

Slotted CSMA/CA



6.3 ZigBee 網路層

- ZigBee網路在各裝置間提供了一個可靠、安全的傳輸。
- 在ZigBee網路層中，有三種拓撲，分別是星狀拓撲、樹狀拓撲、網狀拓撲

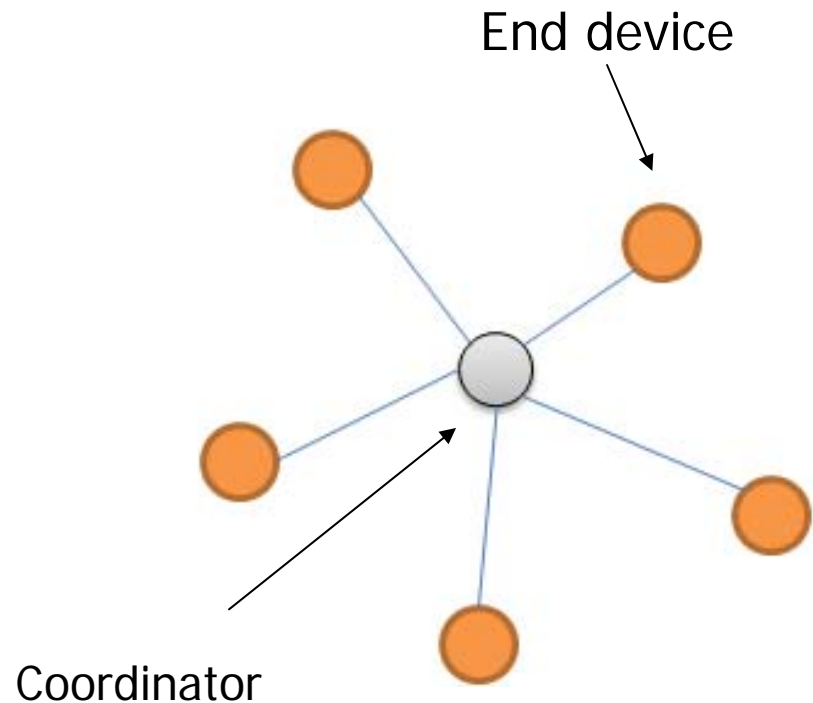
ZigBee網路拓樸(1/3)

- Star Topology
星狀拓樸

- 優點

- 容易同步化
- 有superframe
- 低延遲 (one-hop)

- 缺點是難以擴充



Reference: ZigBee Alliance
<http://www.ZigBee.org/en/index.asp>

ZigBee網路拓樸(2/3)

- Tree Topology

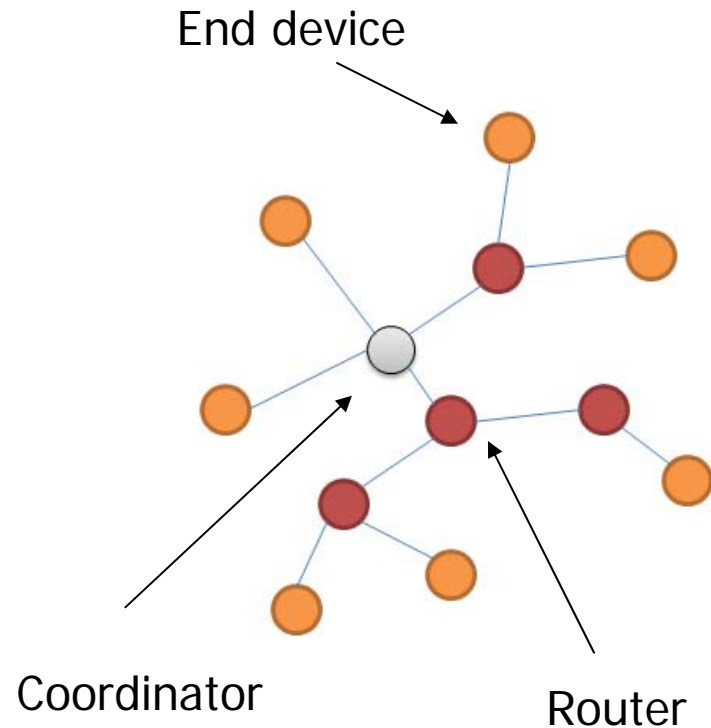
樹狀拓樸

— 優點

- 低路由成本
- 可以有superframe
- 允許多點跳躍(multi-hop)

— 缺點

- 是路由重建是成本大
- 延遲較長 (multi-hop)



Reference: ZigBee Alliance
<http://www.ZigBee.org/en/index.asp>

ZigBee網路拓樸(3/3)

- Mesh Topology

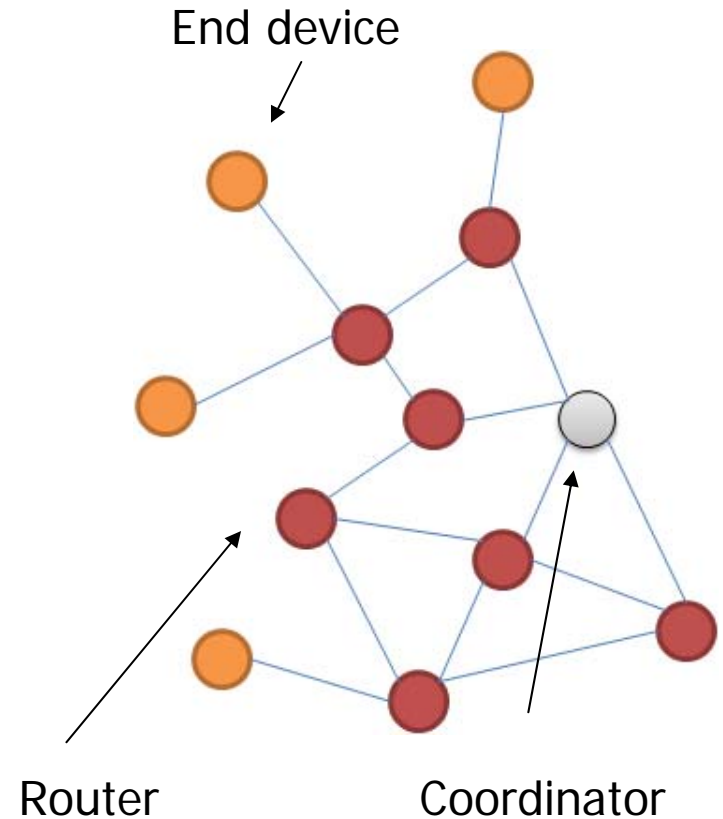
網狀拓樸

- 優點

- 允許多點跳躍(multi-hop)
- 網路形成較具彈性
- 低延遲

- 缺點

- 不具有superframe
- route discovery成本過大
- 須儲存空間儲存路由表



Reference: ZigBee Alliance
<http://www.ZigBee.org/en/index.asp>

ZigBee Network Layer

- 在ZigBee網路中，裝置有三種角色可以扮演：
 1. Coordinator：可以建立網路、管理網路、維護和控制網路。
 2. ZigBee路由器：負責轉傳資料
 3. 終端裝置
- 在星狀和樹狀網路中，coordinator會定時地發出beacon來同步化網路中其他裝置。

ZigBee網路路由

- ZigBee路由

- 在樹狀網路中，會利用指派位址的方式還找路徑。
- 網狀網路中，則會利用一個類似AODV的方法來找路徑。

ZigBee樹狀網路路由(1/4)

- 在樹狀網路中，各個device的位址是利用分散式位址指派的方法。
- 在建立樹狀網路時，coordinator在一開始就會建立三個參數，
- C_m ：一個router可以有最大的子數
- R_m ：一個parent可以有最大的Router數
- I_m ：這個樹狀網路的depth
- 所以可以透過下面的公式來算出 C_{skip}
- C_{skip} 是指parent的一個subtree最大的node數³⁸

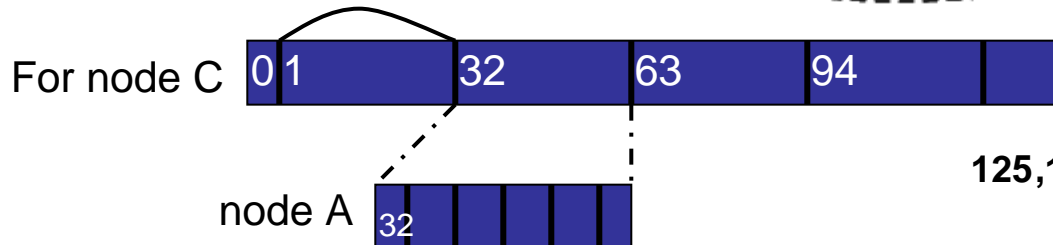
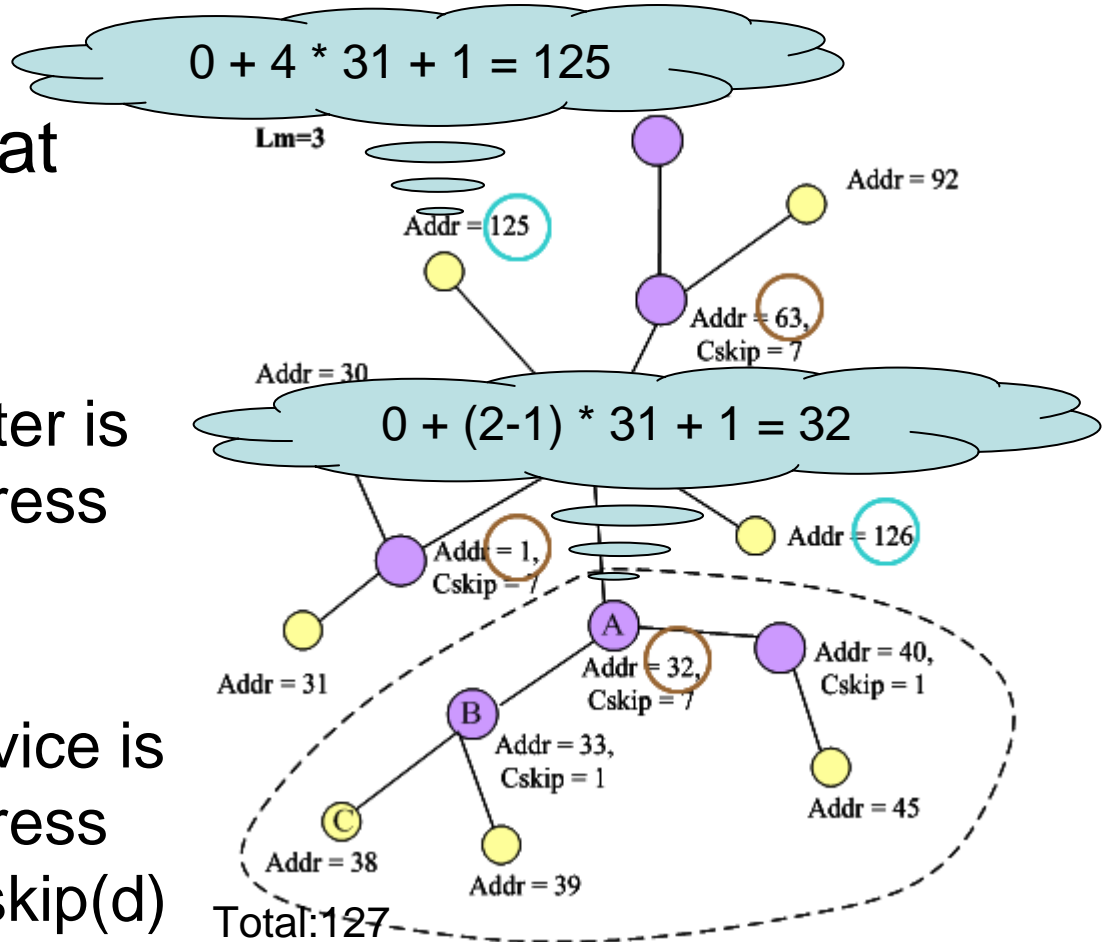
ZigBee樹狀網路路由 (2/4)

- Address assignment in a ZigBee tree network
 - Which is used to compute the size of its children's address pools (**each child router**)

$$Cskip(d) = \begin{cases} 1 + C_m \cdot (L_m - d - 1), & \text{if } R_m = 1 \quad \dots\dots\dots(a) \\ \frac{1 + C_m - R_m - C_m \cdot R_m^{L_m - d - 1}}{1 - R_m}, & \text{Otherwise } \dots\dots\dots(b) \end{cases}$$

ZigBee 樹狀網路路由 (3/4)

- If a parent node at depth d has an address Aparent
 - the nth child router is assigned to address $A_{parent} + (n-1) \times Cskip(d) + 1$
 - nth child end device is assigned to address $A_{parent} + Rm \times Cskip(d) + n$



ZigBee樹狀網路路由(4/4)

- ZigBee樹狀網路路由

- 樹狀網路程序

- 當一個裝置X收到封包後，裝置會先檢查封包的位址是不是和自己或自己的子孫一樣

- 如果是的話; $A_x < A_{dest} < A_x + Cskip(d-1)$

- » 就會接收封包或者是傳到指定的子孫端點

- 如果不是的話

- » 就會轉送此封包給父節點

- 按照先前樹狀網路中裝置位址的算法，祖先和子孫的關係可以靠位址就看得出來

ZigBee網狀網路路由(1/2)

- 在網狀網路中，route discovery的機制類似於AODV routing protocol，都會選擇通訊成本較低的路線來送封包
- Route discovery 過程：
 1. 起始點將路由請求封包廣播出去
 2. 當一個node收到封包後，考慮本身具不具路由能力，有的話就將封包廣播出去，沒有的話(RFD)就丟棄這個封包
 3. 當目的節點收到封包後，會選擇一條通訊成本較低的路線來回傳 route reply

ZigBee網狀網路路由(2/2)

- ZigBee網狀網路路由

