
Chapter 7 水下感測網路

Prof. Yuh-Shyan Chen

Department of Computer Science and
Information Engineering

National Taipei University

目錄

- 7-1 水下感測網路簡介
- 7-2 水下感測網路的應用
- 7-3 水下感測網路與無線感測網路的差異
- 7-4 水下感測網路的挑戰
- 7-5 水下感測網路的通訊協定
- 7-6 結論

水下感測網路簡介

- 利用數顆水下感測器，便可組成水下感測網路 (Underwater Acoustic Sensor Networks, UASNs)，用來對各種水下環境中的資料進行感測，並進行許多的應用
- 水下感測網路目前並沒有規格的規範，且因水下環境的特性與無線感測網路大不相同，因此許多已經研究與開發的運作方式，在水下感測網路中都必須重新調整與設計

圖7.1: 水下感測網路的示意圖

- 水下感測器也可以透過與水下無人載具 (Autonomous Underwater Vehicle, AUV)、船艦，或是水面的Sink進行溝通，以將資料傳遞至岸邊的監測中心

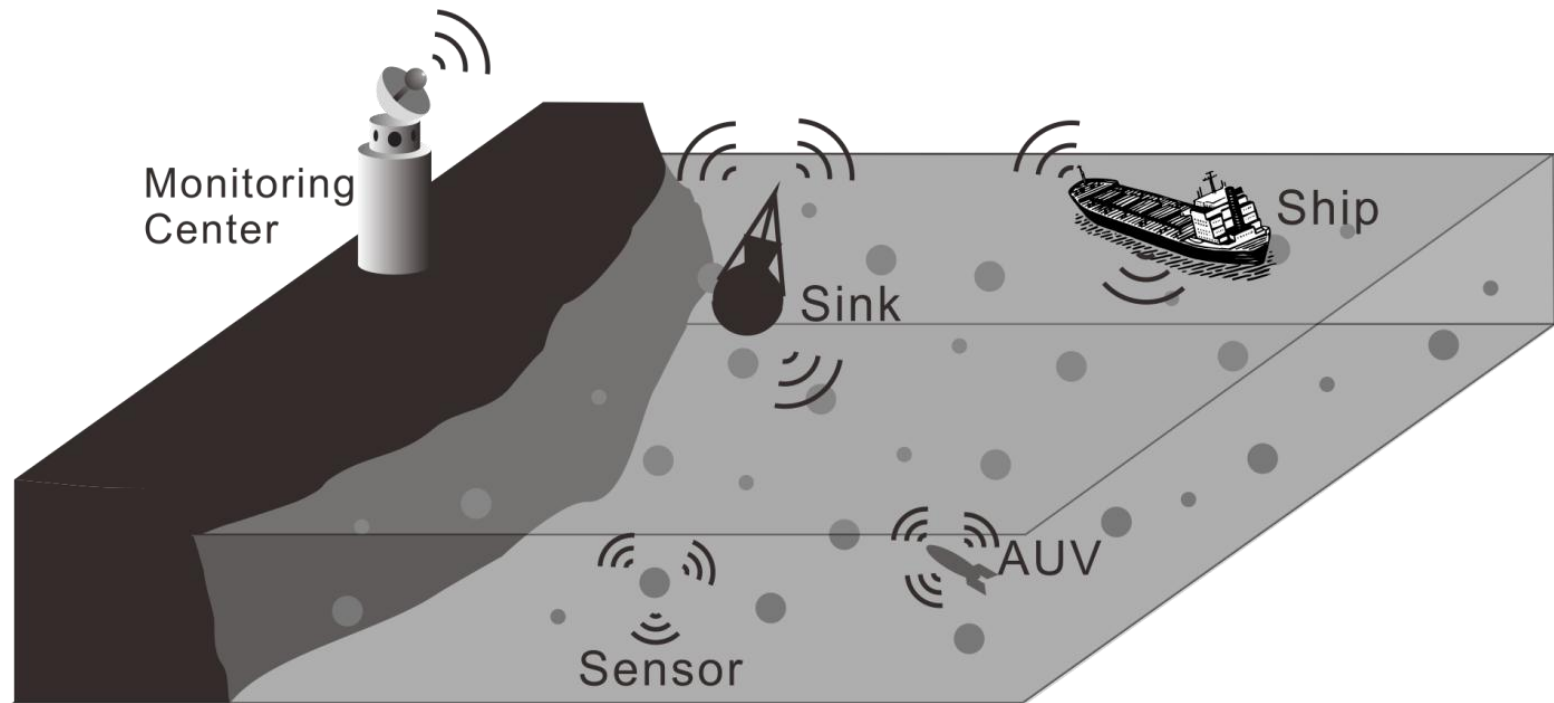


圖7.2: 水下感測網路可用來監測洋流資訊與預測天氣狀況

- 天氣預報

- 洋流的狀況與天氣息息相關，藉由水下感測網路了解洋流的流動方式與海洋的狀況

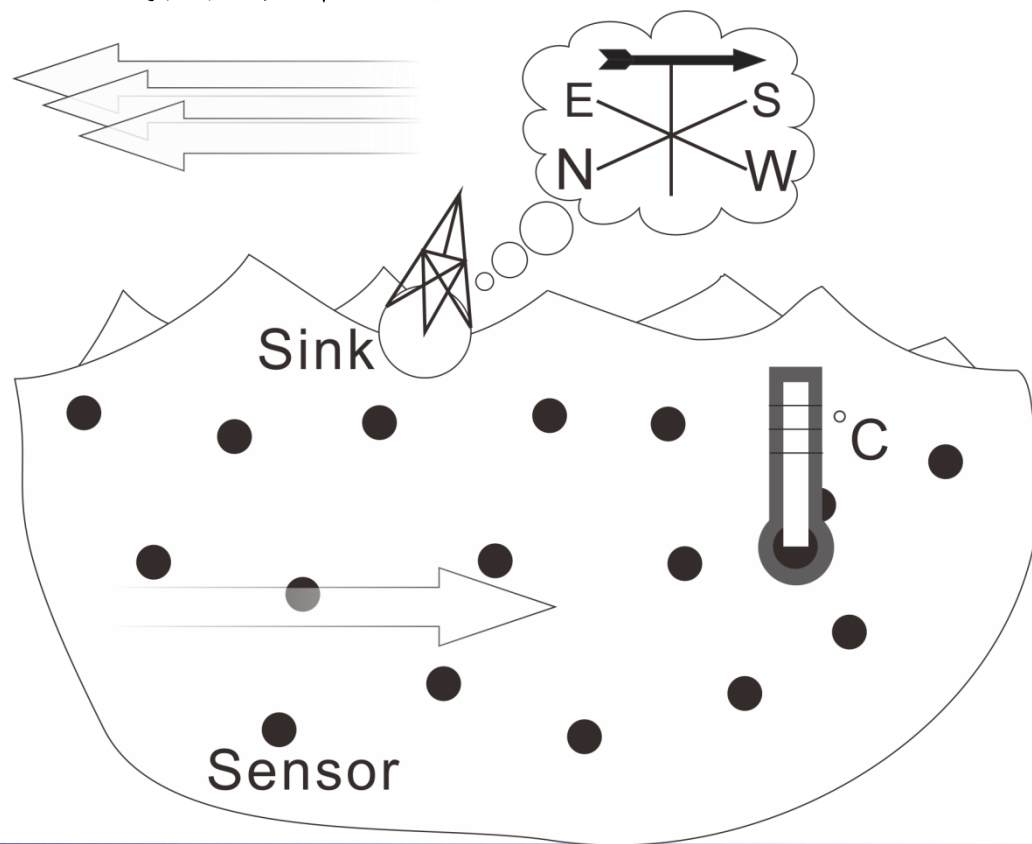
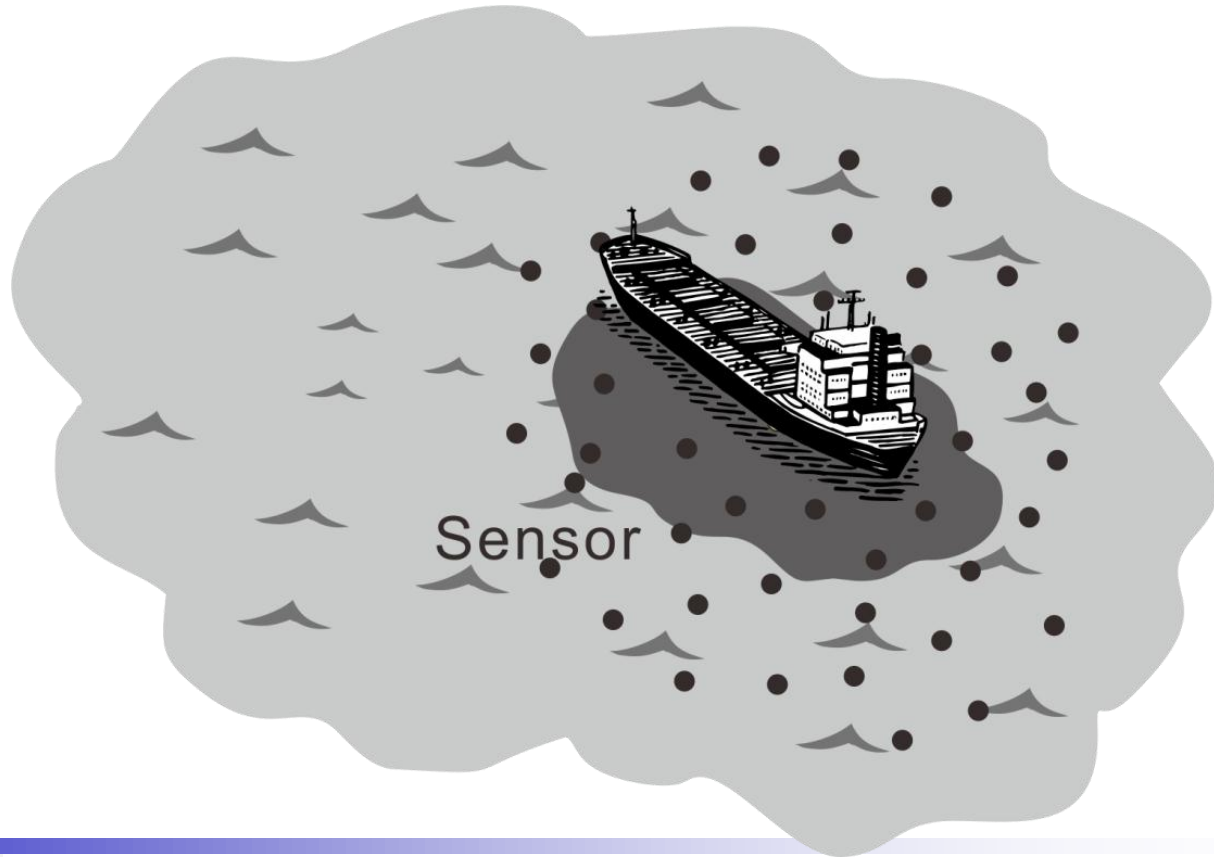


圖7.3: 當油輪翻覆時，水下感測網路可以用來偵測污染的範圍及污染情況

● 污染監測

- 使用水下感測網路來進行污染的監測，像是水中細菌的含量、化學物質的濃度等等



水下感測網路的應用

● 災害預防

- 探測海底火山附近的溫度變化、酸鹼值變化可以判斷火山的活動情形是否穩定等等
- 在海嘯部分，透過感測器間多躍 (Multi-hop) 的方式進行資訊的傳遞，在短時間內便可將發生海嘯的情形回報給在陸地上人們，以便能提前發佈海嘯警報

圖7.4: 潛水艇入侵時將被水下感測器的感測範圍所偵測

● 軍事防範

- 在重要的海域佈建水下感測器，便可以用來感測是否有敵方的軍艦或潛水艇入侵，以確保重要的海域或國家不被外敵侵入

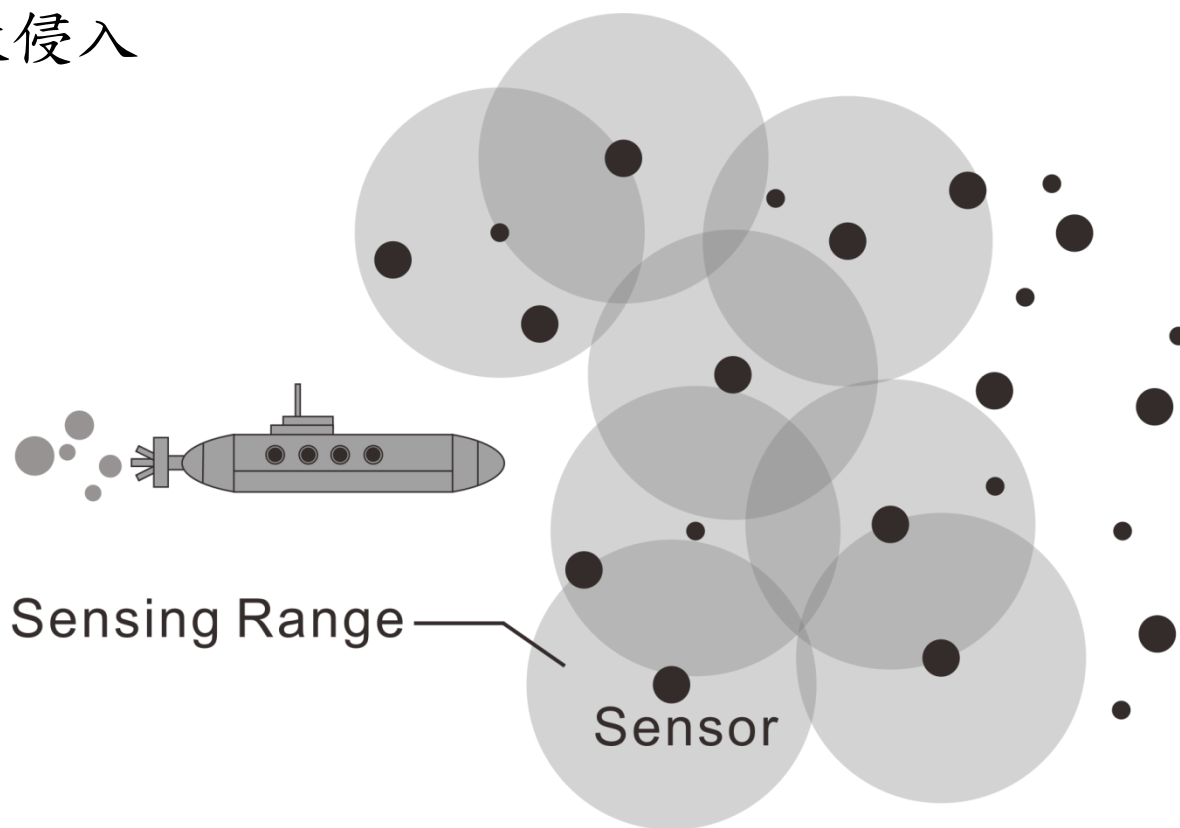


表7.1: 水下感測網路與無線感測網路的差異

	水下感測網路	無線感測網路
傳播媒體	聲波	無線電波
傳播速度	約1500公尺/秒	3 萬萬公尺/秒 (30萬公里/秒)
傳輸範圍	~10公里	150公尺
傳輸速度	約10kbps	250kbps

水下感測網路與無線感測網路的差異

● 傳播媒體

□ 陸地上的傳輸中，常見的傳輸媒體有

■ 無線電波

■ 光波

□ 由於海水就像是高頻的濾波器，當無線電波在水中傳輸時，很快就會被海水所吸收，在衰減很快的情形下，無線電波在水中僅能傳送1至2公尺。而光波在水中更會受到折射與散射的影響，因此也無法用來傳輸。

□ 聲波被用在水下感測網路的傳輸上。

水下感測網路與無線感測網路的差異

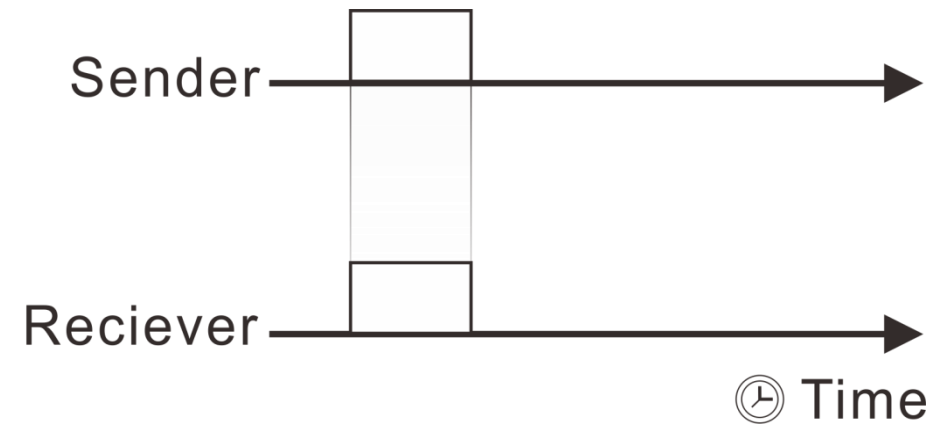
● 傳播速度

- 聲波的傳播速度約為1500公尺/秒，並會隨著海水的溫度、鹽度與壓力而變化。
- 陸地上的無線網路使用光波或無線電波來進行傳輸，傳播速度為 3×10^8 公尺/秒。
- 在水下感測網路中，使用聲波傳輸造成的傳播延遲是無線電波的20萬倍，因此會造成傳播延遲的問題。

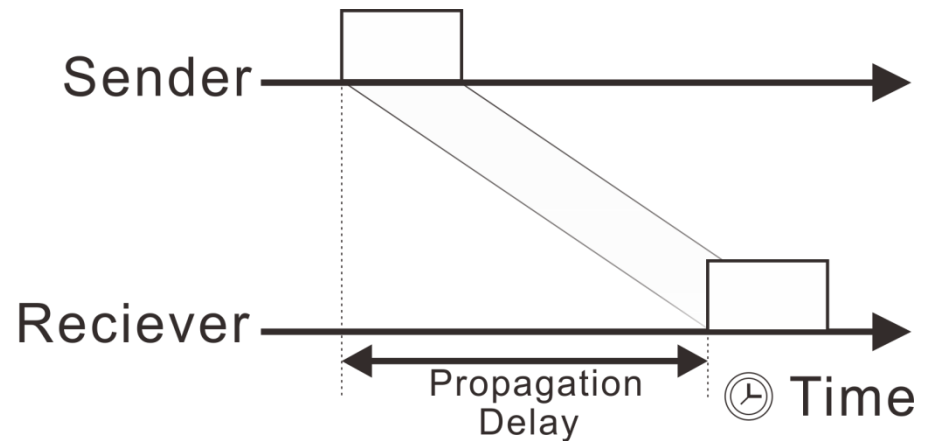
圖7.5: (a) 無線網路中的傳播延遲常被忽略 (b) 水下感測網路中傳輸伴隨著傳播延遲

- 傳播速度

- 無線網路中的傳播延遲常被忽略
- 水下感測網路中傳輸伴隨著傳播延遲



(a)



(b)

水下感測網路與無線感測網路的差異

- 聲速的部分，大致可以分為兩個部分的變化：
 - 海水深度1公里之上，是海洋學中被稱為斜溫層 (Thermocline Layer) 的區域。聲音主要隨著溫度變化，從水面平均的 18°C 降至1公里處的 5°C
 - 海水深度1公里之下，是海洋學中被稱為深水層 (Deep Water Layer) 的區域。聲音主要隨著壓力做變化，溫度則大約維持在 4°C
- 雖然聲速也會隨著鹽度改變，但鹽度在同一區域的海水中變化不大，因此常常被忽略。

水下感測網路與無線感測網路的差異

● 傳輸範圍

- 在傳輸的範圍中，聲音的傳輸範圍會隨著傳送的頻率與電量而不同。
- 聲波的傳輸範圍可從數公尺至數公里變化，而無線感測網路在陸地上的傳輸範圍僅有150公尺。
- 相較之下，雖然水下感測網路的傳輸範圍大上許多，但卻也代表能夠干擾更多的水下感測器，甚至更容易被來自其他感測器的傳輸干擾。

水下感測網路與無線感測網路的差異

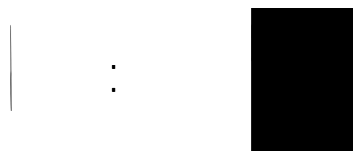
● 傳輸範圍

- 若在傳輸的電量固定的情況中，傳輸範圍主要隨著傳送的頻率而變化，由於頻率越高在海水中衰減的速度越快，因此可以想見使用越低的頻率，能夠將聲音傳的更遠。

水下感測網路與無線感測網路的差異

● 傳輸速度

- 因為聲音的波長與頻率成反比，因此當頻率越低時，波長也將變長，這將使得聲音能夠承載的資料量降低，也代表著載波每秒鐘能夠夾帶的資料量越少。



□ λ : 波長

□ f : 頻率

□ c : 相速度，對聲波而言大約是1500m/s

水下感測網路與無線感測網路的差異

● 傳輸速度

- 一般來說，水下感測網路的傳輸速度只有大約10kbps，相較於陸地上無線感測網路250kbps或者無線網路更高的傳輸速度而言，水下感測網路能夠傳輸的速度慢上許多。

圖7.6: 在陸地上使用無線電波進行資料傳輸，僅需錯開傳送時間便不會造成碰撞

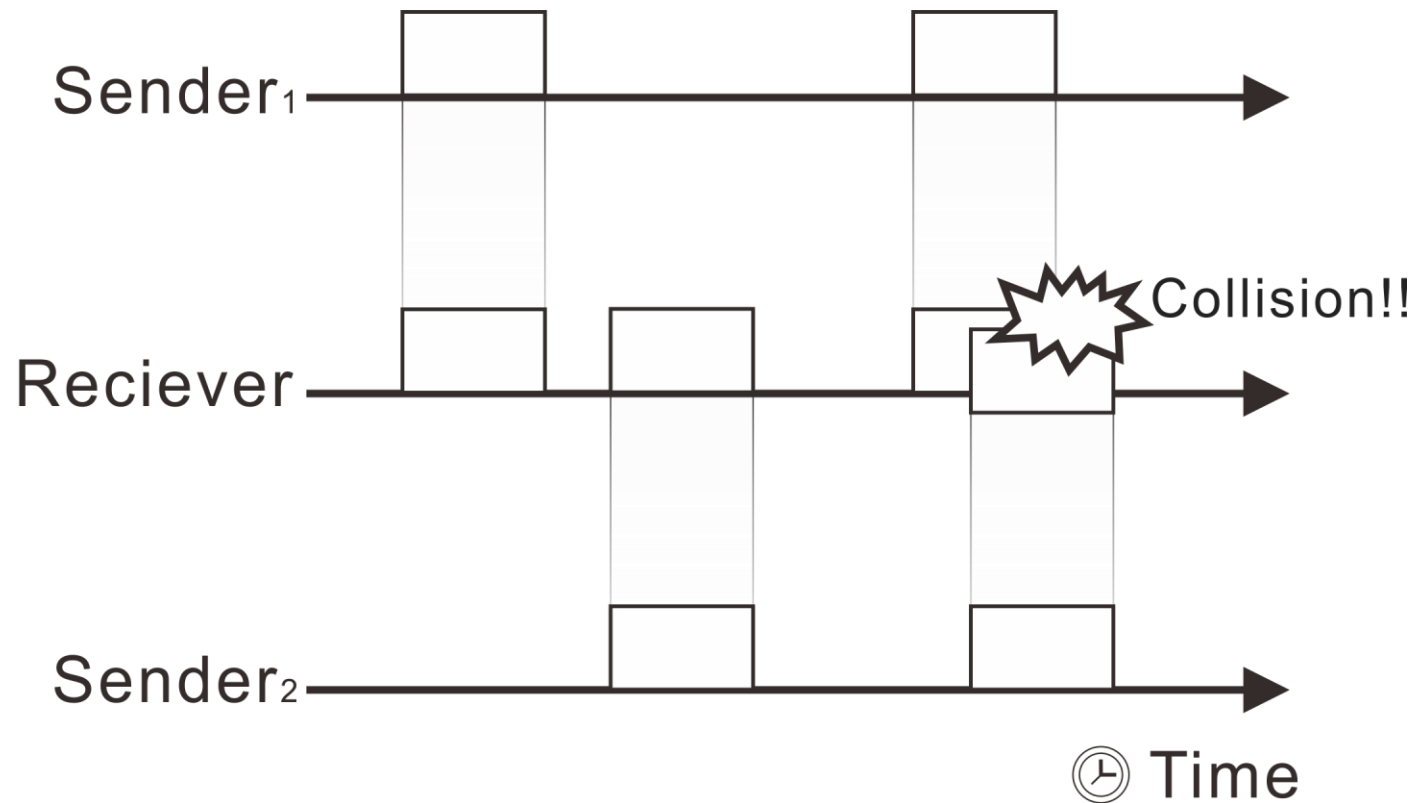


圖7.7: 在水下傳輸時，水下感測網路的碰撞問題

● 封包碰撞問題

□ 使用聲波進行傳輸造成的傳播延遲，且會隨著感測器間的距離而有變化

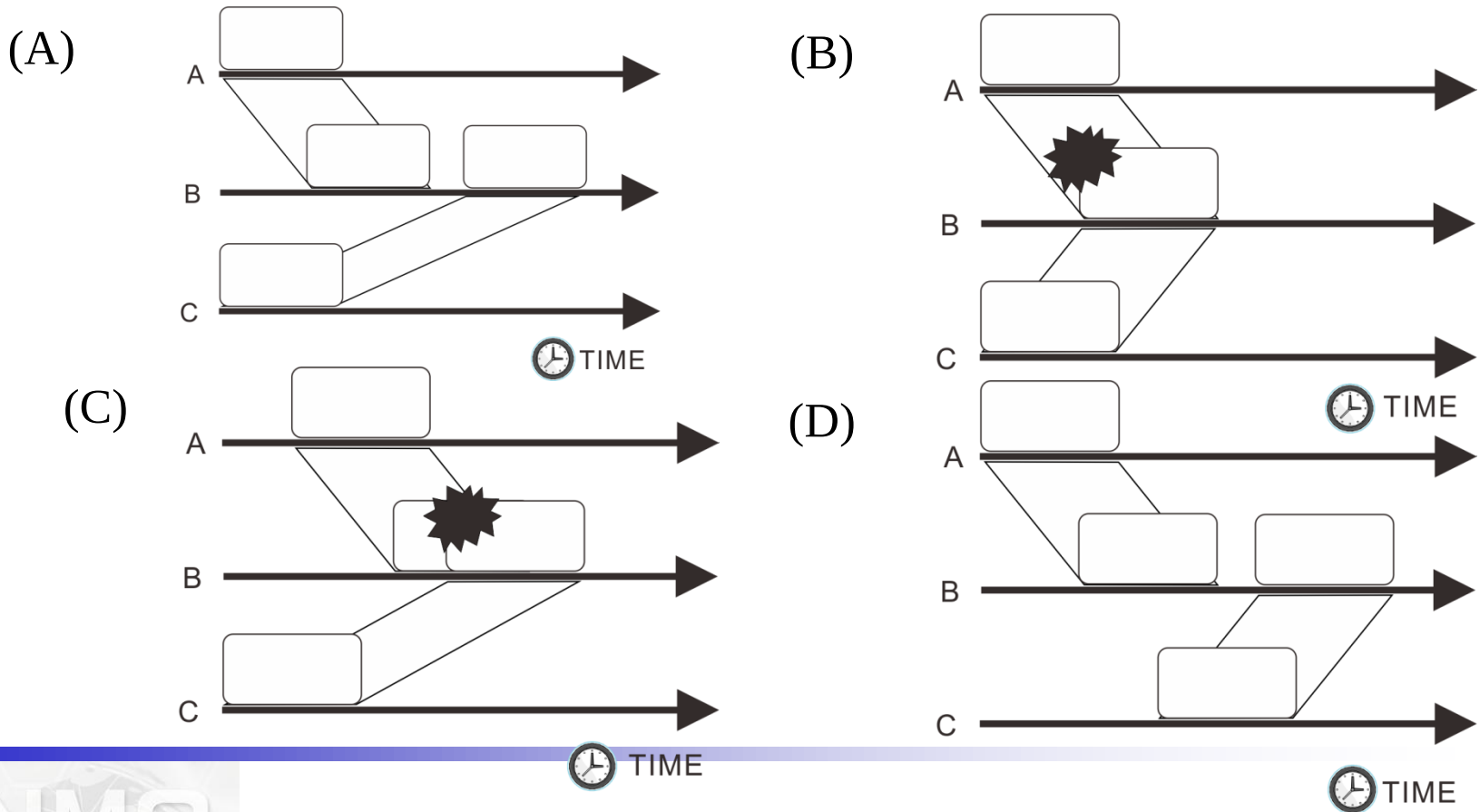


圖7.7(a): 同時傳輸不一定會造成碰撞

- 當兩感測器同時傳送封包時，因為與接收端的距離不同，因此也未必會在接收端造成碰撞。

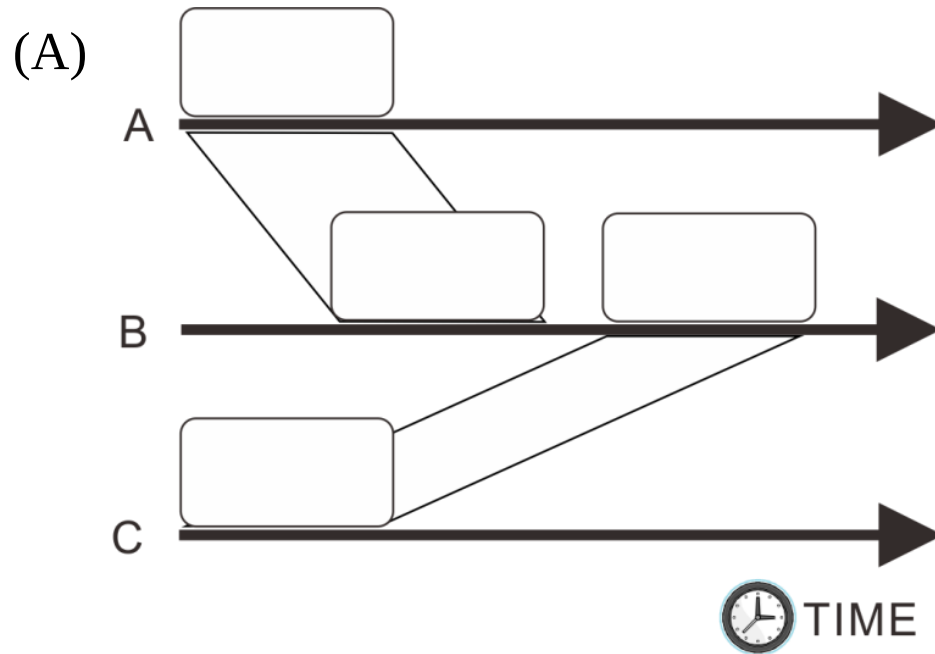


圖7.7(b): 同時傳輸亦可能造成碰撞

- 當兩感測器同時傳送封包時，因與接收端的距離相當，因此也可能會在接收端造成碰撞。

(B)

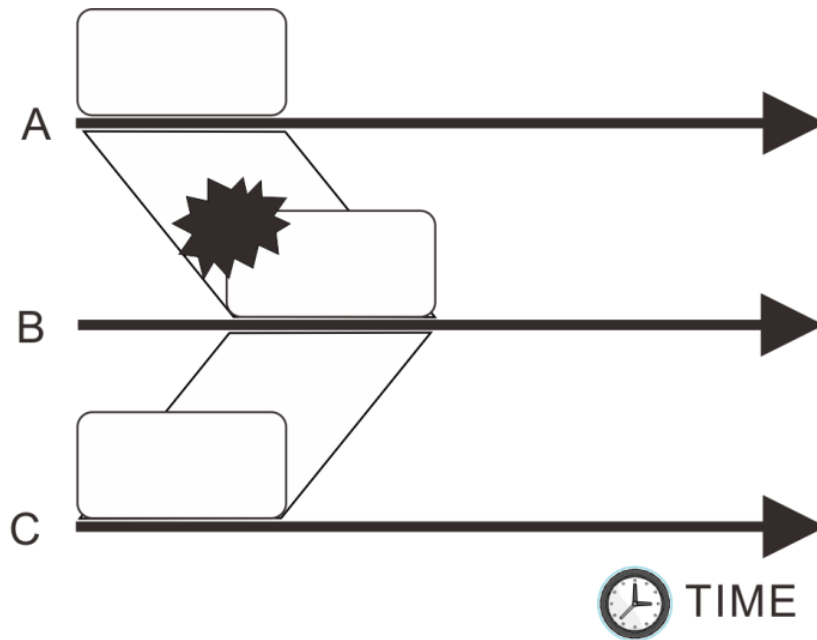


圖7.7(c): 不同時間傳輸仍有可能碰撞

- 當兩感測器不同時傳送封包時，因與接收端的距離不同，因此也可能會在接收端造成碰撞。

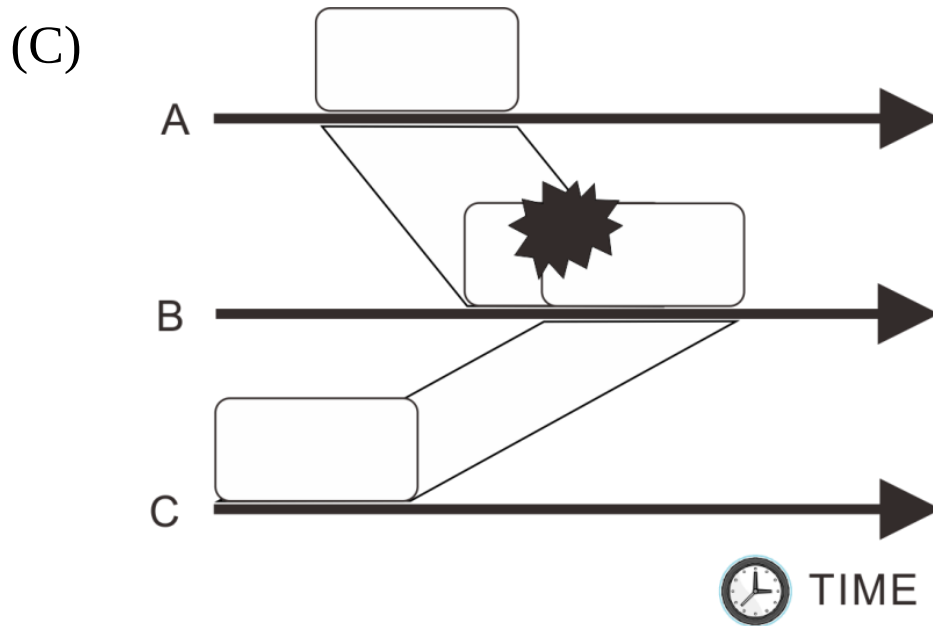


圖7.7(d): 不同時間傳輸亦可能不發生碰撞

- 當兩感測器不同時傳送封包時，因與接收端的距離相當，因此也未必會在接收端造成碰撞。

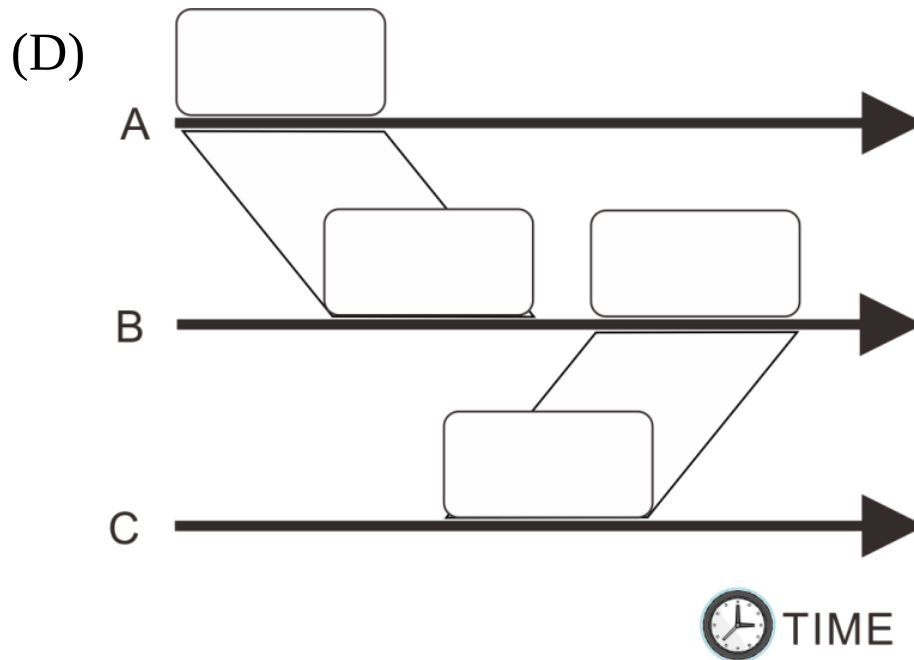


圖7.8: 水下感測網路中的四向交握機制的碰撞問題

● 封包碰撞問題

□ 水下感測網路中的四向交握機制的碰撞問題

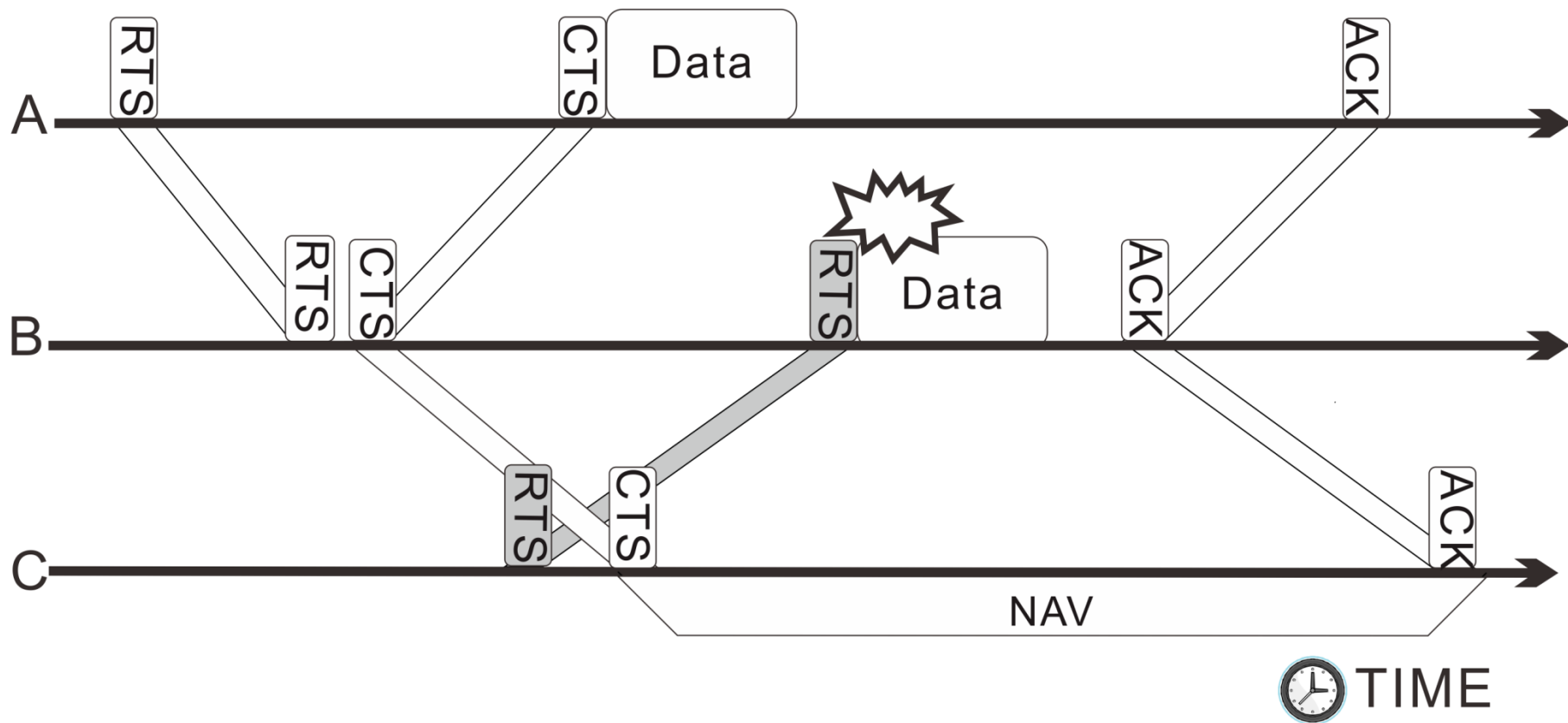
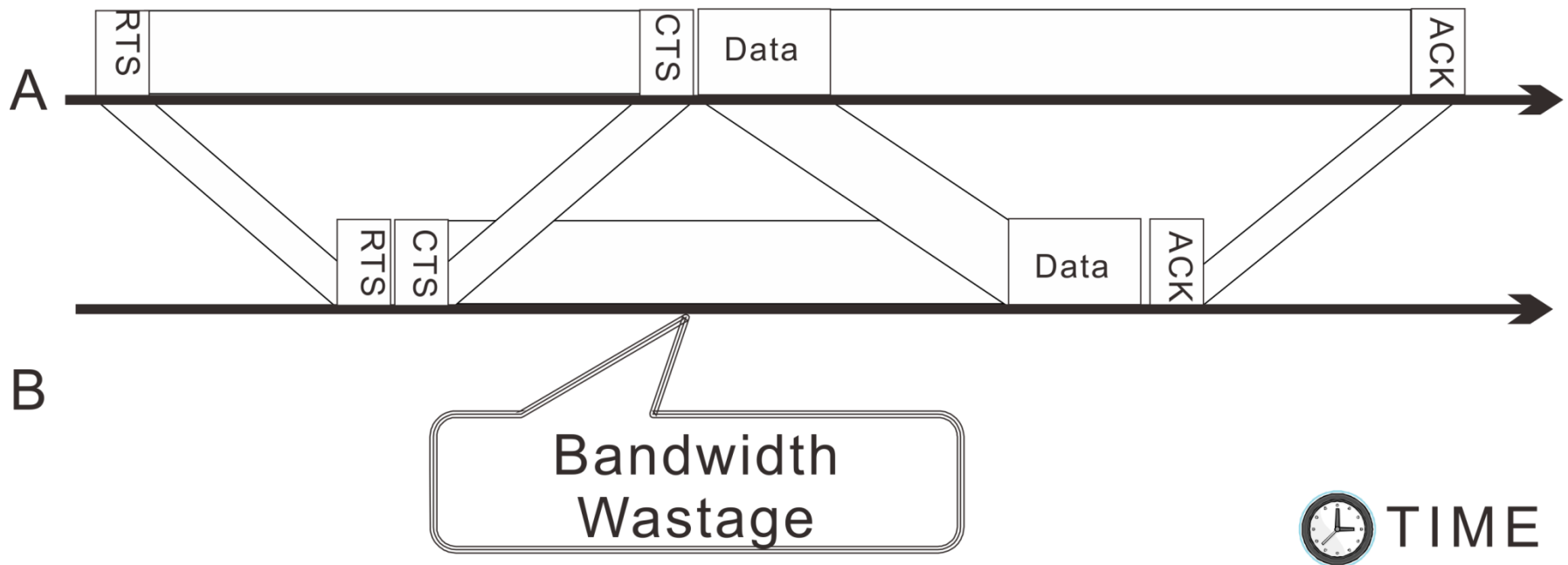


圖7.9: 水下感測網路頻道利用率低落的問題

● 頻道利用率低落

- 資料在傳輸上必定需要經過傳播延遲這段時間的花費，但若傳送的資料不大，且需要藉由控制封包來避免碰撞，那又將花費更多的傳播延遲時間



水下感測網路的挑戰

● 定位問題

- 海水是個天然的高頻濾波器，而全球定位系統又仰賴無線電波的傳遞，因此，我們便可發現全球定位系統並不適用於水下環境
- 過去在陸地中，大部分的文獻皆探討感測器佈建於平面時的情形，即是二維的環境，因此水中三維的環境也將是定位問題的一大挑戰
- 目前的做法中，大多仍須藉由水面額外佈建的網路節點來接收全球定位系統的訊息，並以這些網路節點為基準，使其他水面下的節點也附有位置資訊

水下感測網路的挑戰

- 節點的移動性

- 在海水中，水下感測器受到洋流的影響，可能導致其位置不時改變，因此在傳遞間若因節點的移動性，則可能導致傳輸失敗

水下感測網路的通訊協定

- 媒介存取控制協定 (MAC Protocol)

- ☐ Aloha-based媒介存取控制協定
- ☐ CSMA-based 媒介存取控制協定
- ☐ Four-way handshaking based 媒介存取控制協定
- ☐ TDMA-based 媒介存取控制協定
- ☐ ...

Aloha-based媒介存取控制協定

- 當網路節點有資料要傳輸時，便直接將資料傳送出去
- 水下Aloha-based的媒介存取控制協定利用偷聽 (Over-hearing) 的方式來避免碰撞
- 網路的資料量不大時可以創造出不錯的網路效能，資料量達到某個程度時，其效能便會下降

CSMA-based 媒介存取控制協定

- 利用事先監聽網路是否處於忙碌狀態的方式，來決定是否要傳送資料
- 在水下感測網路中，由於傳播延遲的因素，使得即使傳送端在傳輸資料前進行頻道的監聽，也無法避免資料碰撞

圖7.10: 水下感測網路無法使用監聽的方式來避免碰撞

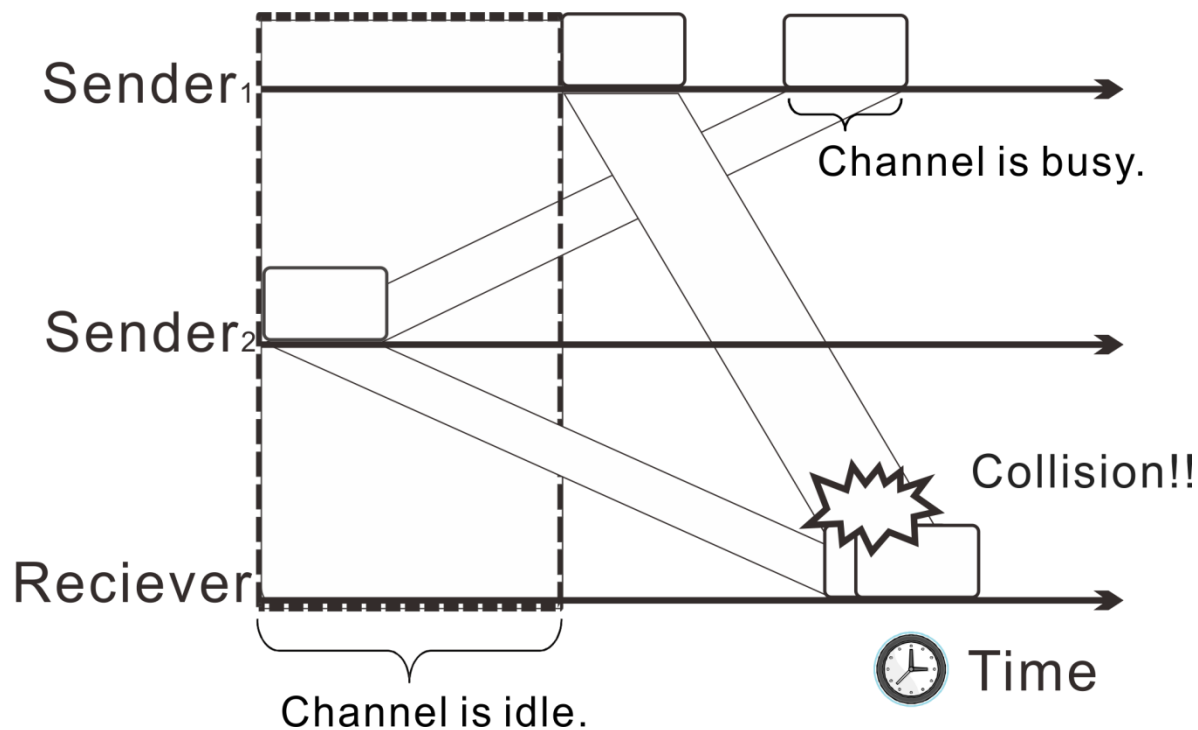
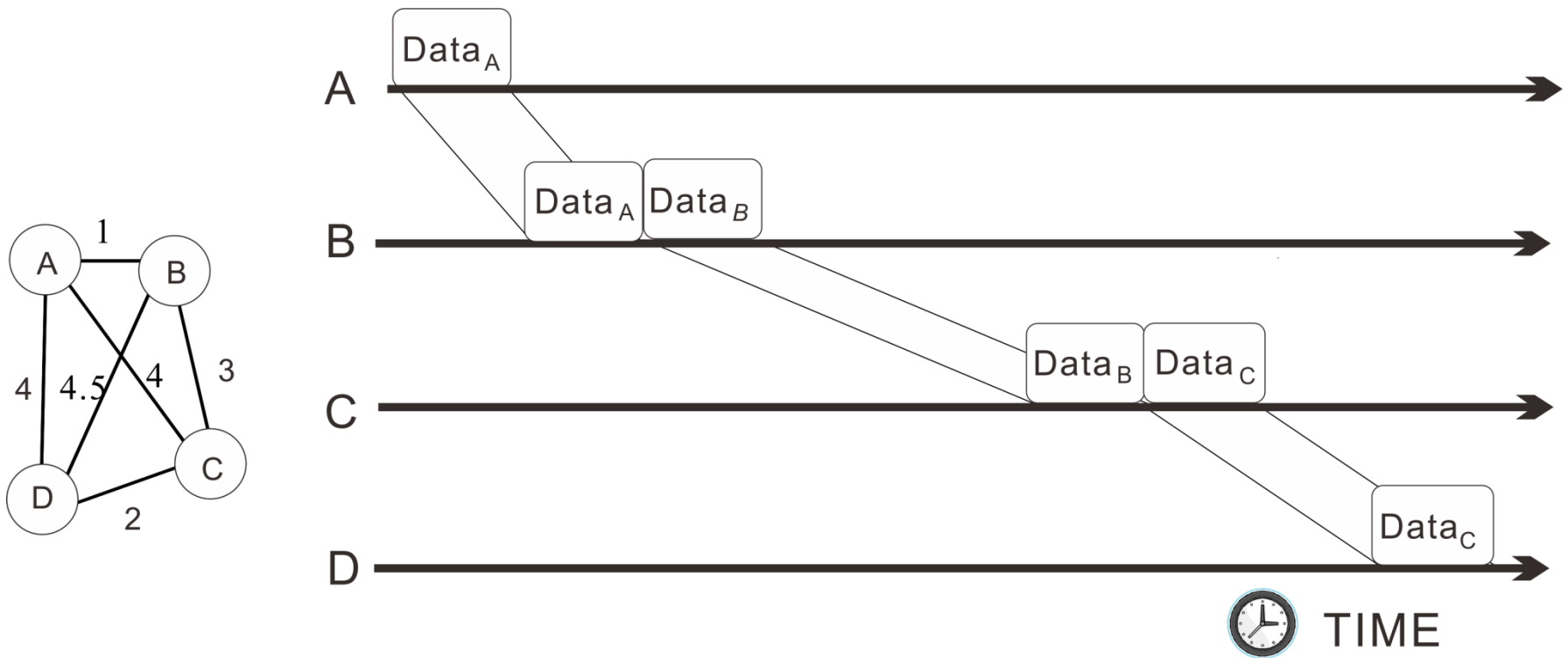


圖7.11: Ordered-CSMA的運作方式

- 媒介存取控制協定 (MAC Protocol)

- CSMA-based 媒介存取控制協定

- 上述問題有文獻提出了解決的方法，稱為Ordered-CSMA



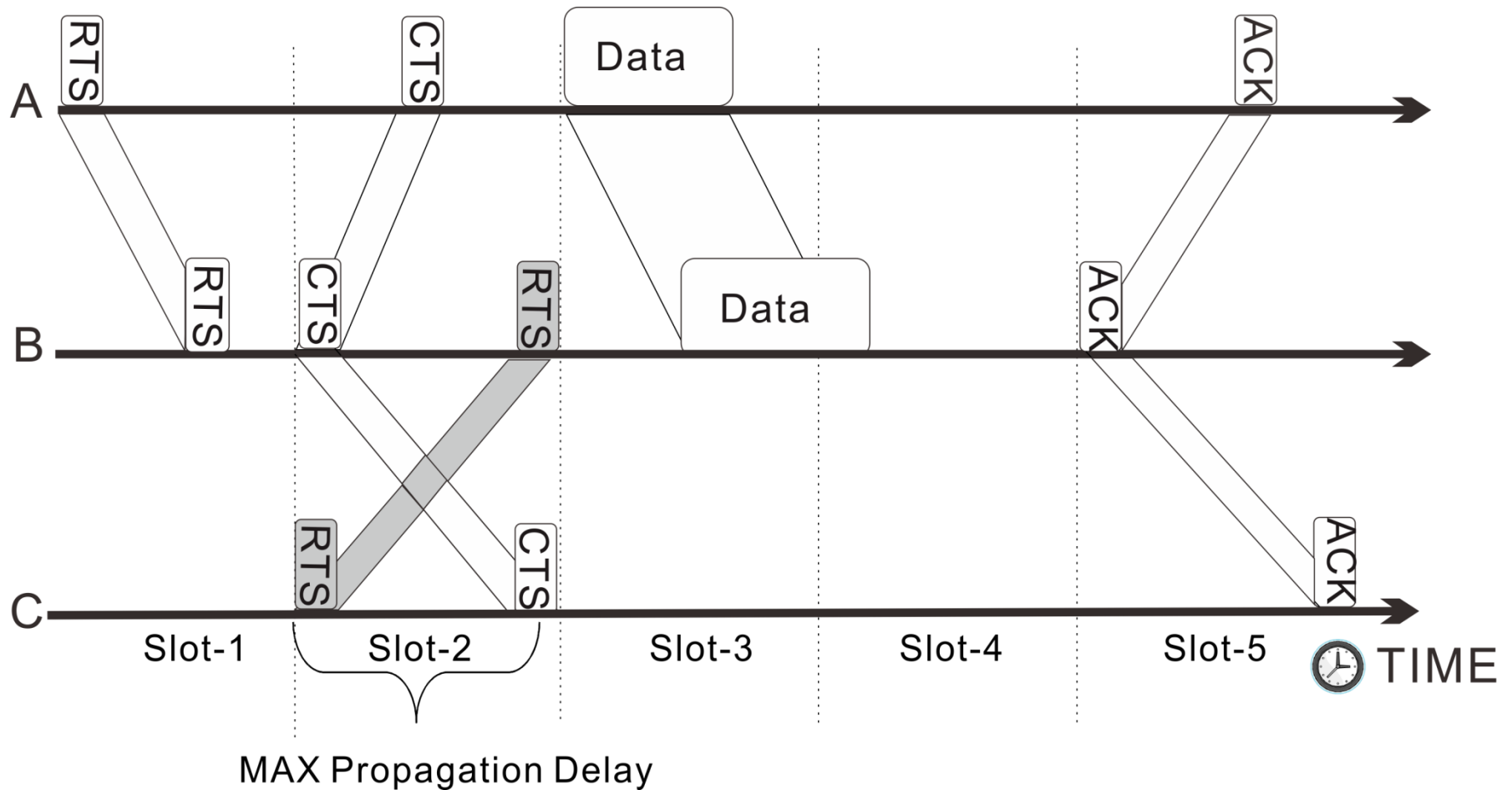
媒介存取控制協定 (MAC Protocol)

- Four-way handshaking based 媒介存取控制協定

- 由前面的章節我們知道，即便是使用了四向交握機制，也無法確保在送端傳送資料封包前有效抑止收送端鄰居

- Slotted FAMA的作法中，藉由切割時槽(Slot)的方式來運作，可以完全避免碰撞，但頻道利用度十分低落

圖7.12: Slotted FAMA的運作方式



媒介存取控制協定 (MAC Protocol)

- TDMA-based 媒介存取控制協定

- 媒介存取控制協定一定需要進行時間的同步，且利用時槽的方式進行傳輸
- 在水下感測網路中，因傳播延遲的緣故，使得時槽若設為一個封包傳輸時所需的時間必然不夠，必須再加上一個最大的傳播延遲時間才能夠避免時槽間的相互影響或碰撞

水下感測網路的通訊協定

- 繞徑協定(Routing Protocol)

- 陸地上常見的繞徑協定

- Table-driven Routing

- On-demand Routing

- 水下常使用的繞徑協定

- Per-contact Routing

- Per-hop Routing

繞徑協定 (Routing Protocol)

- Table-driven Routing

- 網路節點平時便會不斷維護所有網路中節點的資訊，如鄰居資訊，或與各節點間距離步數 (Hop Count)
- 有資料要傳輸並需建立繞徑路徑時，便會藉由查表的方式來找尋路徑
- 當水下感測網路的場景大時，須耗費相當多的資源

繞徑協定 (Routing Protocol)

● On-demand Routing

- 當有傳輸需求時，才由來源點 (Source) 經由泛流 (Flooding) 的方式找到至終點端 (Destination) 的路徑
- 先找到路徑再傳資料會花費兩次路徑的傳輸時間，同時每步傳輸都會花費一段傳播延遲的時間，因此將會使得整個傳輸的時間相當漫長
- 考慮節點的移動性時，由於找到路徑與真正傳輸資料的時間已有落差，因此很可能造成路徑改變，使得繞徑錯誤

繞徑協定 (Routing Protocol)

● Per-contact Routing

- 當來源點有資料進行傳送時，會先利用廣播的方式與鄰居節點溝通，收到控制封包的鄰居節點，會判斷來源點的要求來回報
- 收到鄰居的回報訊息後，來源點會根據鄰居節點的回報內容作判斷，來決定幫忙代傳的節點，並將資料封包傳送給該鄰居
- 以此類推，直到資料封包傳遞至終點端為止
- 在來源點或代傳點與其鄰居進行溝通的方式，需要花費三個傳播延遲的時間，網路場景夠大時，時間所需的花費將更可觀

繞徑協定(Routing Protocol)

● Per-hop Routing

- 一個來源點有資料要進行傳輸時，便會直接將資料封包藉由廣播傳遞出去，接收到該筆資料封包的鄰居節點，便會自行判斷自己是否符合、適合進行資料的代傳，如滿足條件的鄰居節點，便會自動將封包代傳下去，直到資料封包抵達終點端為止
- 這個方式最終所有鄰居節點都會將資料封包傳送出去，可能會造成網路封包壅塞、廣播風暴 (Broadcast Storm) 的情形發生
- 有多的節點協助此筆資料封包的代傳，如此亦可造就多條傳輸路徑的可能，亦可能有增加資料傳遞成功率的可能

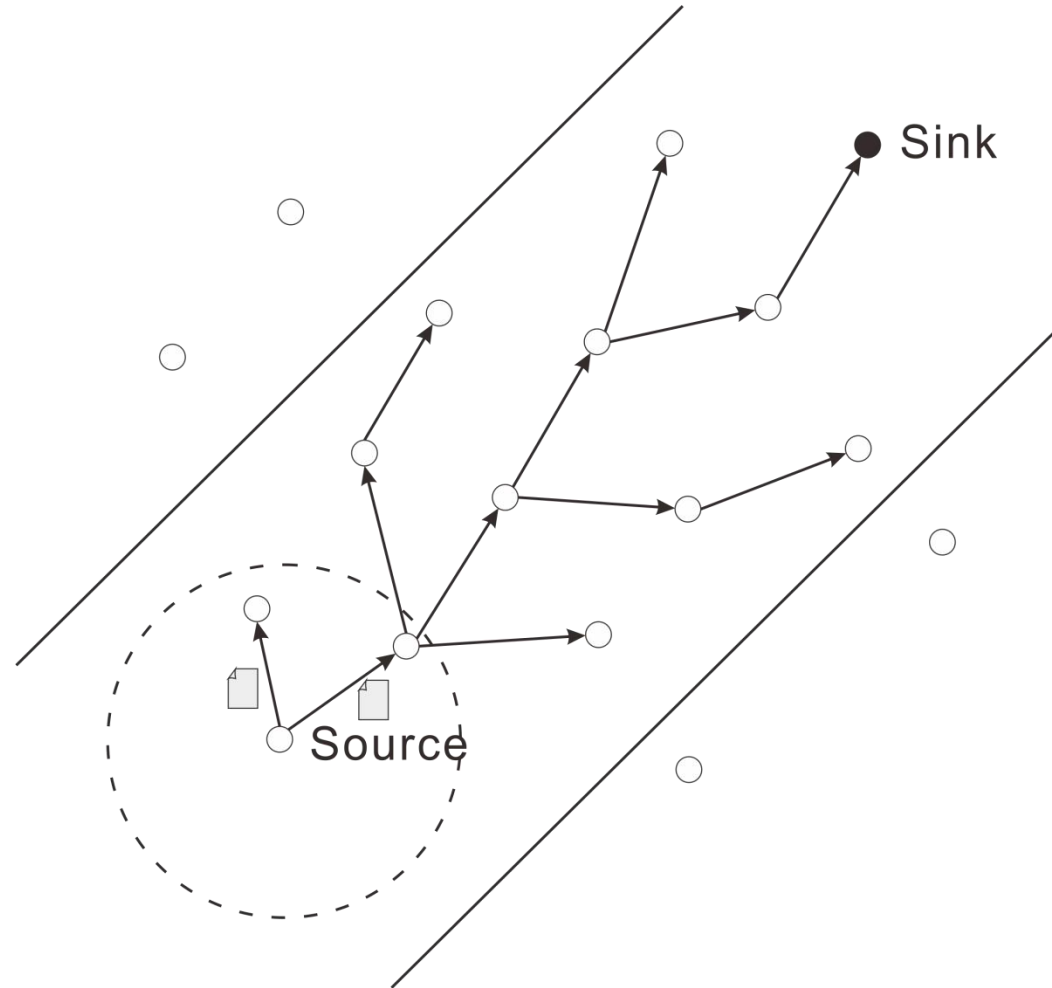
水下感測網路的通訊協定

● VBF Routing Protocol

- 設置管狀的資料傳輸區域，避免過多不必要的資料傳輸
- 不需額外收集鄰居資訊，使用廣播的傳輸方式將資料封包代傳到水面上的終點端 (Sink)
- 以距離Sink的遠近，作為代傳節點的優先權考量
- 若節點在傳輸區域外，則丟棄封包

圖7.13: VBF的作法示意圖

- VBF Routing Protocol



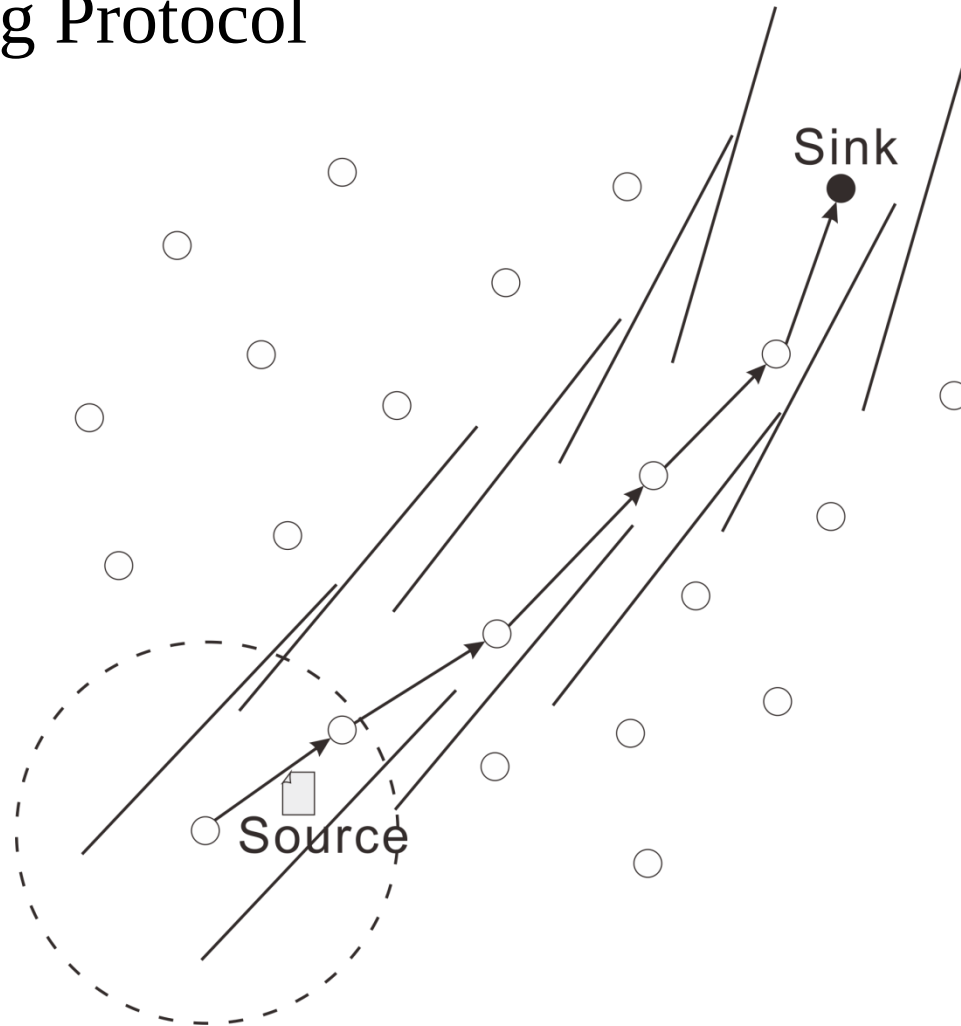
水下感測網路的通訊協定

- HH-VBF Routing Protocol

- 以VBF做為參考而進行改良
- 為了改善空洞問題，將資料傳輸區域進行動態的調整
- 傳輸區域為前一步代傳節點與Sink作為參考所形成之區域

圖7.14: HH-VBF作法示意圖

- HH-VBF Routing Protocol



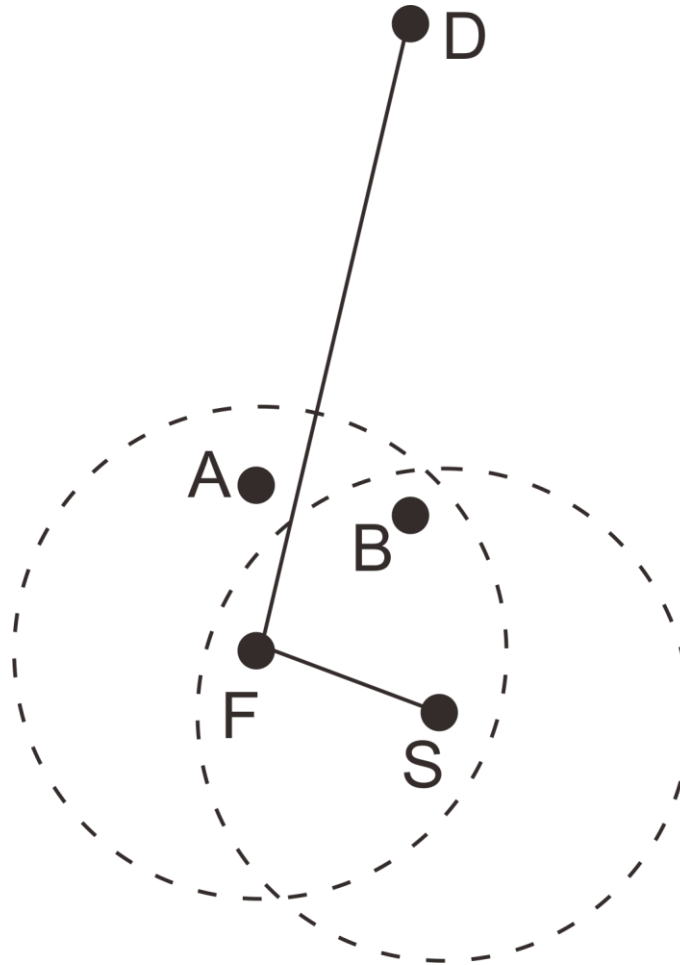
水下感測網路的通訊協定

● DFR Routing Protocol

- 所有節點必須知道自己下列資訊
 - 自己位置資訊
 - 一步鄰居的位置資訊
 - Sink的位置資訊
 - 鄰居間的鏈結品質 (Link Quality)
- 當節點有資料封包要傳送時，會將此筆封包朝向Sink進行有限制的泛流 (Flooding)
- 泛流區域 (Flooding Zone) 是根據代傳點F與來源端S的連線和代傳點F與目的端D的連線決定
- 根據 $\angle SFD$ 的大小與預先訂定的角度 (BASE_ANGLE) 作比較，來決定是否代傳封包

圖7.15: DFR的作法示意圖

- DFR Routing Protocol



結論

- 水下感測網路與無線感測網路的環境不同，傳輸媒體與特性也不同，使得水下感測網路面臨許多挑戰
- 水下感測網路不論在學術界與業界都被熱烈的討論著，許多水下感測網路的研究與應用也逐漸增加
- 因為大自然環境的種種變化，以及多個挑戰同時考量的情況下，水下感測網路的問題既困難又棘手
- 要探索這神秘又廣闊的海洋，水下感測網路絕對是人類不可或缺的一大助手！

習題

1. 水下感測網路中使用聲波進行傳輸，主要的原因為何？
2. 請描述何謂傳播延遲以及其對水下感測網路的影響。
3. 水下感測網路與無線感測網路有哪些特性上的不同？
4. 試描述水下感測網路的碰撞問題及解決方法。
5. 請描述四向交握 (Four-way handshaking) 機制無法避免水下感測網路傳輸碰撞的原因。
6. 請說明CSMA是否可以避免水下感測網路的碰撞問題，原因為何？

習題

7. 試描述水下感測網路頻道利用率的問題。
8. 請簡單說明水下感測網路所遭遇的問題與挑戰。
9. 試描述水下感測網路中常見的兩種繞徑，以及它們運作的方式。
10. 試描述一種可以避免碰撞的媒介存取控制協定與其運作方式。

參考文獻

1. N. Chirdchoo, W.-S. Soh, and K. C. Chua, “Aloha-based MAC protocols with collision avoidance for underwater acoustic networks,” in Proceedings of the IEEE INFOCOM, the Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, May 2007, pp. 2271–2275.
2. Y.-J. Chen and H.-L. Wang, “Ordered CSMA: A collision-free MAC protocol for underwater acoustic networks,” in Proceedings of the OCEANS, Oct. 2007, pp. 1–6.

參考文獻

3. M. Molins and M. Stojanovic, “Slotted FAMA: A MAC protocol for underwater acoustic networks,” in Proceedings of the OCEANS, Sep. 2006, pp. 1–7.
4. P. Xie, J.-H. Cui, and L. Lao, “VBF: Vector-based forwarding protocol for underwater sensor networks,” in Proceedings of the IFIP Networking, May 2005, pp. 1216–1221.
5. N. Nicolaout, A. Seet, P. Xie, J.-H. Cui, and D. Maggiorini, “Improving the robustness of location-based routing for underwater sensor networks,” in Proceedings of the OCEANS, June 2007, pp. 1–6.

參考文獻

6. D. Hwang and D. Kim, “DFR: Directional flooding-based routing protocol for underwater sensor networks,” in Proceedings of the IEEE OCEANS, Jun. 2008, pp. 1–7.
7. I. Tolstoy and C. S. Clay, *Ocean Acoustics: Theory and Experiment in Underwater Sound*, 1st ed. McGraw-Hill, 1987.