

# 在無線感測網路上控制可調變傳輸功率達成容錯之網路拓樸

斯國峰\*、陳秋紋、楊鈞豪

國立成功大學電機資訊學院電機工程學系

\*Email: [ssu@ee.ncku.edu.tw](mailto:ssu@ee.ncku.edu.tw)

IEEE TMC, vol. 6, no. 10, pp. 1199, Oct. 2007.

IEEE PRDC, pp. 131-138, Dec. 2007.

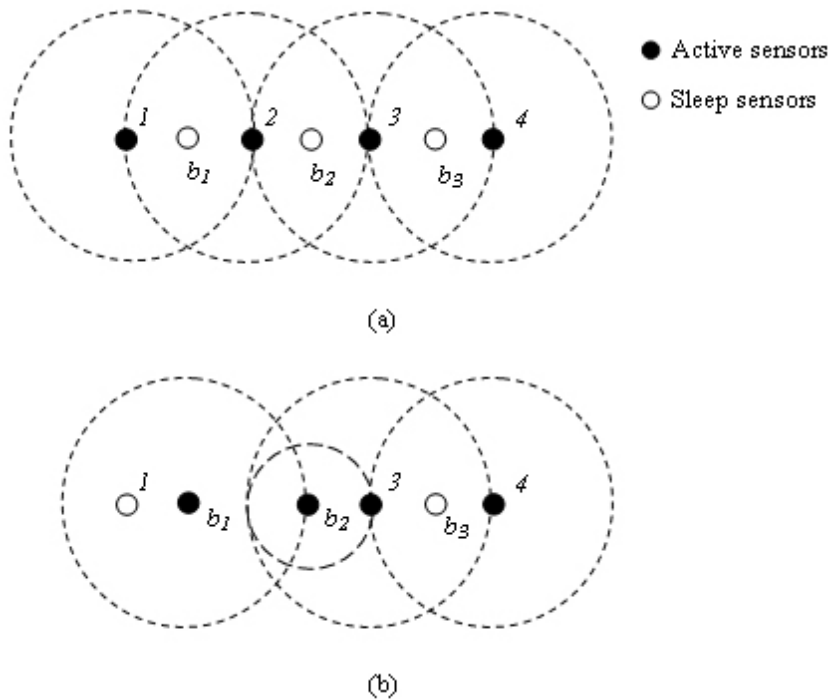
近年來無線感測網路已經廣泛的使用於日常生活之中，我們利用感測器幫助監控居家周圍環境，避免財務損失，保障人身安全；精密的醫療感測器可以協助醫護人員隨時掌握病患的生理訊號；感測器網路還可以協助防災救難，將地震或是土石流的即時狀況傳輸至控管中心[1]。一個感測網路通常包含一個或數個資料蒐集節點(sink)，此外還有許多的感測器，這些感測器多半體積小且價格便宜，以便大量散布，達到廣泛蒐集資料的目的。感測器除了蒐集資料外，還有彼此通訊的功能，可將蒐集的資料藉由感測器本身，一個接著一個傳給資料蒐集節點。一般來說，感測器體積小，所配置的電池也有限，因此如何節省電量，提升無線感測網路的使用時間，成為一項重要的研究議題。



已經有不少學者提出有線網路拓樸的建置方法，一方面確保網路的連通，另一方面又可以盡量的減少電源消耗。常見的機制是在所有的傳輸節點中，選出一部分的節點開啟運作，整個網路就可互相通訊，這些節點就如同網路的虛擬骨幹(virtual backbone)，控制整個網路的傳輸[2-4]。

感測器因使用量龐大，造價必須低廉，也因此無法兼顧可靠性，又因感測器多半布置於室外，經過風吹日曬，很容易故障。在無線感測網路裡，如果骨幹感測器損壞，勢必造成整個網路的中斷，監控所得的訊號無法回傳至資料蒐集節點。最近的研究指出，虛擬骨幹上應該多使用備份節點與備份傳輸路徑，以避免這種狀況發生[5,6]。但使用備份節點，即增加工作節點的數量，整個網路的耗電量必然增加，減少了整個網路的使用時間。

因此我們提出了一個在無線感測網路中兼具容錯且省電的網路拓樸配置機制，稱為*P-CDS (Power-CDS)*。利用感測器可調變傳輸功率以改變傳輸距離的特性，*P-CDS*將網路上的節點分為三類：主要協調節點(primary coordinator)、備份協調節點(backup coordinator)、與一般節點。在網路正常運作沒有錯誤時，只要開啟主要協調節點，網路即可連通，備份協調節點與一般節點進入休眠模式；當有主要協調節點發生錯誤傳輸中斷時，網路可以自動偵測、檢查、並進行修復。某些備份協調節點必須開啟以維持網路的連通，此外負責傳輸的協調節點可調整傳輸功率以節省電源消耗。與其他的容錯拓樸機制相較，*P-CDS*大幅減少了所需的傳輸節點與電量。此外透過適當的設定，*P-CDS*所建構的網路拓樸可以容忍  $k$  個連續節點錯誤。

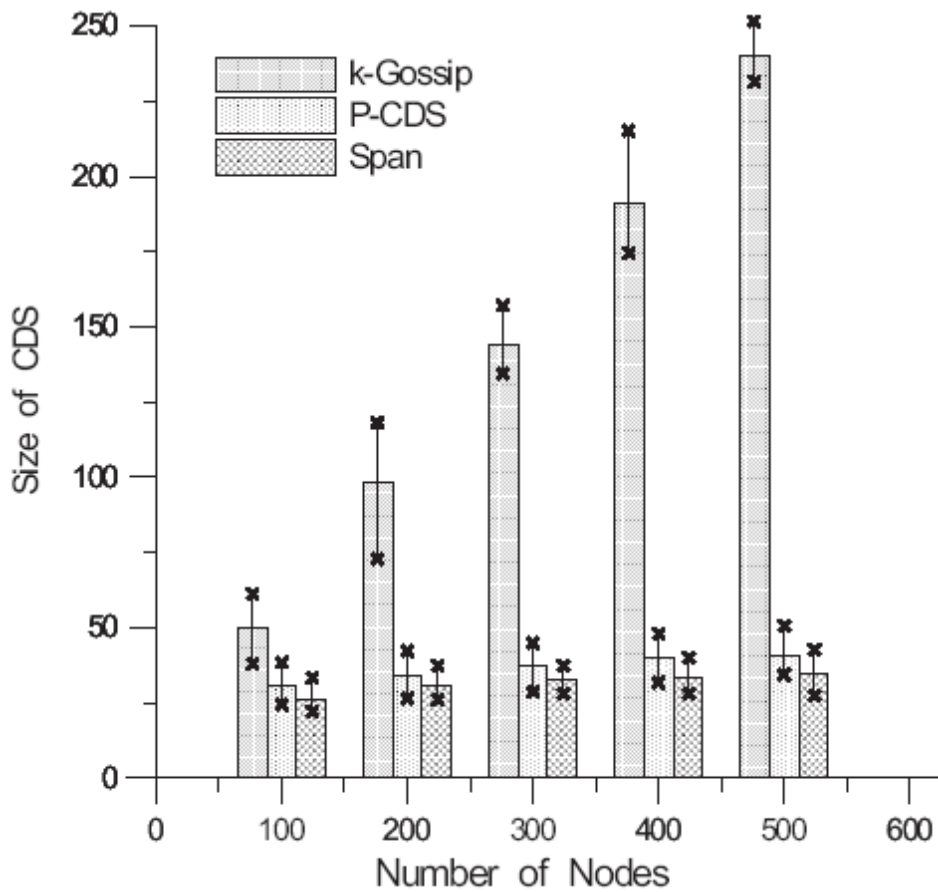


圖一、*P-CDS* 的範例: (甲) 正常執行時 (乙) 節點二發生錯誤時

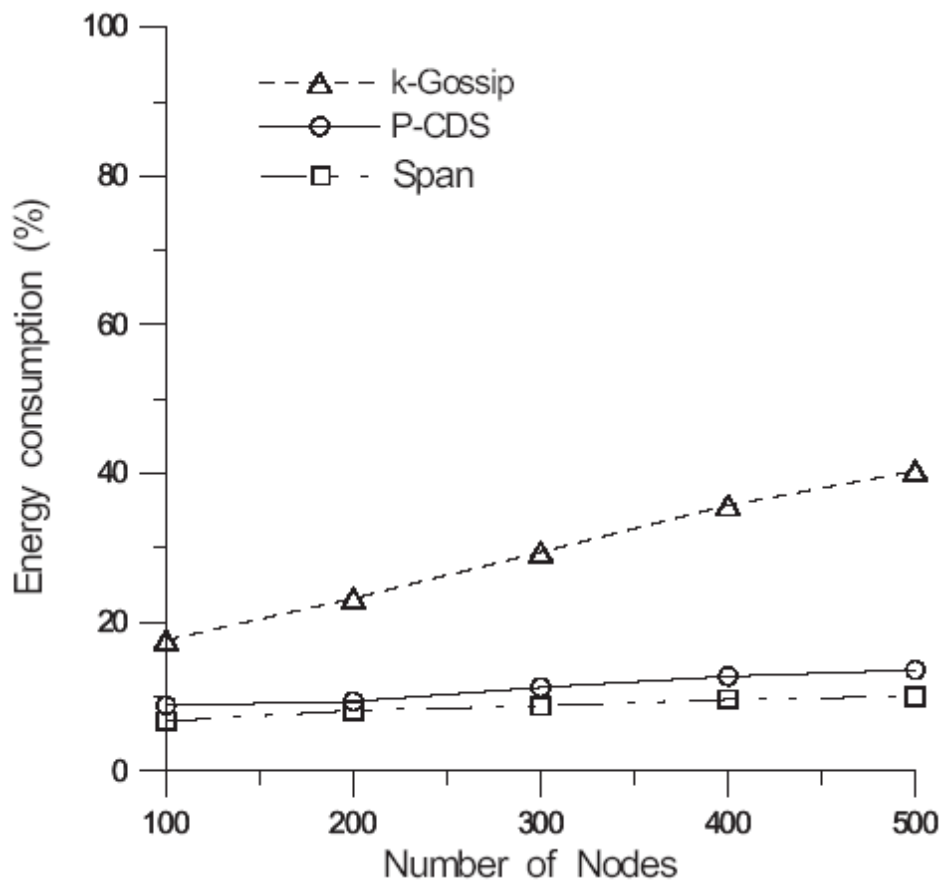
*P-CDS* 包含了兩個子機制：節點的狀態排程與控制協調節點的傳輸功率。以圖一甲作為例子，在正常的工作情況，節點1、2、3、4被選為主要協調節點負責整個網路的資料傳輸；節點b1、b2、b3則為備份協調節點，不必負責傳輸，可進入省電模式。一旦節點2故障無法運作時(如圖一乙)，節點b1與b2會從省電模式轉變成傳輸模式，節點b1以最大功率傳輸，節點b2以一半的功率傳輸，另外節點1可進入休眠模式，此時整體網路已修復連通。使用這種方式，在正常工作時不必開啟多餘的節點，發生錯誤時仍然可以達成網路自動修復的功能。

我們使用 network simulator 2 (ns-2) 模擬器[7]，進行 *P-CDS* 與另外兩個網路拓樸機制(Span protocol [2] and *k*-Gossip protocol [5]) 的效能比較。感測器的數量為 100、200、300、400、500，均勻散布於100公尺的正方形區域內，每個感測器的初始電量為50焦耳。感測器最大的傳輸距離為24公尺，資料傳輸模式使用固定速率(CBR)，平均每秒三個封包。在 *k*-Gossip 拓樸機制， $p_k = 0.48$  為實驗預設值；在 *P-CDS*， $p$  分別設為 1 和 2；感測器電量消耗模式則根據 TR 1000 無線電傳輸模組[8,9]。

圖二展示了三種網路拓樸模式所需要開啟的感測節點數量。在感測器較稀疏的環境( $n \leq 200$ )，和 *k*-Gossip 比較起來，*P-CDS* 減少了 57% 的節點；在感測器較密集的環境( $n = 500$ )，*P-CDS* 更進一步將所需要開啟的節點降低至 *k*-Gossip的16.6%。Span 雖然有最少的虛擬骨幹節點數量，但是 Span 並不支援容錯的特性，如果有任何骨幹感測節點故障，整個網路也隨之斷，資料無法傳給資料蒐集節點。



圖二、不同機制所需開啟的感測器個數



圖三、廣播傳輸電量消耗之比較

圖三顯示了利用三種網路拓樸模式所建構的網路骨幹後，進行資料廣播傳輸所耗費的電量，模擬結果與前一實驗類似，Span 所耗電量最少，但不支援容錯可靠性；*P-CDS* 只多花費一些電量，就可提供網路自動診斷與修復。和 *k-Gossip* 模式比較，在感測網路密度較稀疏時 ( $n=100$ )，*P-CDS* 可節省 10% 的電量；在感測網路密度較高時 ( $n=500$ )，*P-CDS* 可進一步節省 28% 的所需電量。

根據以上的研究與實驗分析，利用無線感測器傳輸功率與距離可調變的特性，適時調整傳輸功率，一方面大幅減少電源消耗，改善感測網路的使用時間，另一方面還能提升網路整體的可靠度，降低感測器發生錯誤時造成的傳輸中斷，可說是一舉兩得的策略。

#### 參考文獻

- I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A Survey on Sensor Networks," *IEEE Communications Magazine*, vol. 40, no. 8, pp. 102–114, Aug. 2002.
- B. Chen, K. Jamieson, H. Balakrishnan, and R. Morris, "Span: An Energy-Efficient Coordination Algorithm for Topology Maintenance in Ad Hoc Wireless Networks," *Proceedings of the ACM International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom)*, pp. 85–96, July 2001.
- R. Ramanathan and R. Hain, "Topology Control of Multi-hop Radio Networks Using Transmit Power Adjustment," *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Communications (INFOCOM)*, pp. 404–413, Mar. 2000.
- T.-C. Hou and V. Li, "Transmission Range Control in Multihop Packet Radio Networks," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 34, no. 1, pp. 38–44, Jan. 1986.
- X. Hou and D. Tipper, "Gossip-Based Sleep Protocol (GSP) for Energy Efficient Routing in Wireless Ad Hoc Networks," *Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, pp. 21–25, Mar. 2004.
- N. Li and J.C. Hou, "FLSS: A Fault-Tolerant Topology Control Algorithm for Wireless Networks," *Proceedings of the ACM International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom)*, pp. 275–286, Sept. 2004.
- The Network Simulator - NS-2, 2006. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.
- ASH Transceiver Designer's Guide, 2007. <http://www.rfm.com>.
- L.M. Feeney, "An Energy Consumption Model for Performance Analysis of Routing Protocols for Mobile Ad Hoc Networks," *Mobile Networks and Applications*, vol. 6, no. 3, pp. 239–249, June 2001.