

整合發射功率控制策略於無線感測器網路的媒體存取控制協定

王三元¹、陳譽明²、郭家旭³、許俊萍⁴
義守大學 資訊工程系^{1,2,4} 虎尾科技大學 資訊工程系³
(sywang.steenhsu@isu.edu.tw)^{1,4} teddy.kuo@msa.hinet.net³ 9203006g@stmail.isu.edu.tw²

摘要

網路流量的提升是無線感測器網路效能的關鍵議題之一，發射功率控制(Transmission Power Control, TPC)對於提升無線感測器網路(Wireless sensor networks)流量有著極大的潛力，目前存在的發射功率控制演算法主要是透過增加收發器(Transceiver)或是設計複雜存取方式，來達到頻道重覆使用(Channel Reuse)及降低碰撞機率，以增加網路流量。

本論文，我們將提議應用發射功率控制(TPC)演算法於無線感測器網路(Wireless sensor networks)的媒體存取控制協定層(MAC Protocol)上，並提出我們的演算法(Wireless Sensor Network POWMAC, WSNPOWMAC)，WSNPOWMAC 是以 POWMAC 為基礎所設計，保留存取視窗(Access Windows)機制以達到頻道重覆使用(Channel Reuse)，並簡化存取方式，在不需增加額外硬體及簡單的存取方式，達到提升無線感測器網路流量的主要目標。

本論文，我們以 QualNet 模擬軟體，將 node 數量、傳輸量作為變數及不同傳輸方式(CBR、CTP 及 MIX)以模擬無線感測器網路環境，我們使用兩種不同發射功率控制演算法(TPC)的媒體存取控制協定:WSNPOWMAC、POWMAC 及沒有發射功率控制機制的 IEEE802.11，觀察這三種不同協定在不同網路密度的整體網路流量變化；模擬結果得到在加入發射功率控制演算法 WSNPOWMAC、POWMAC 的媒體存取協定網路流量可以得到有效的提升，且不需額外消耗能源，我們也發現到我們所提出的演算法 WSNPOWMAC 相較於 POWMAC，WSNPOWMAC 不因取消避免碰撞控制訊息

(Decide To Send, DTS)而影響到效能，反而在整體網路流量效能表現更優於 POWMAC。

未來我們將未來我們將繼續改善，因網路密度提高網路流量的效能隨著降低的問題，我們將朝更改發射功率控制級數、結合不同網路路由(Routing)協定及資料融合(Fusion)的演算法，著手改善無線感測器網路的整體網路流量效能。

1 簡介

由於無線感測器網路的應用廣泛[1] [12] [13] [14] [15] [16]，各式各樣功能、發射功率不同的無線感測器將形成龐大的資料庫，在這個龐大的資料庫中且每一個 node 大都使用無線收發資料，將產生行動計算演算法、資料如何有效率取得、網路拓樸及路由的控制、資訊的蒐集與處理、無線傳送資料的安全性..種種議題將影響無線感測器的普及性。

首先，在加入移動無線隨意網路(MANET)後，將面臨許多移動無線網路衍生的問題(無線感測器節點的位置資訊、節點移動拓樸的變動管理、網路的佈置)。其次，無線網路資源(Resource)和路由(Routing)的控制，無線感測器網路節點是隨機分佈，如何使用有限的資源(電源、傳輸頻寬)及選擇有效率的路由演算法，以達到無線訊號減少衰減、消除假連結增進無線通訊的可靠度及傳輸效能；本研究計劃將以此問題為標的，改良移動無線隨意網路的發射功率控制(Transmission power control, TPC)策略，以改善傳輸頻寬不足所帶來的低網路流量。

再則，無線隨意感測器網路資料的蒐集(Collaborative)及處理(Processing)，在整個網路

內所有的節點就好像是資料庫中的一個欄位(Field),如何結合行動運算技術在這一龐大的資料庫使用 Ad Hoc 模式傳回資料,每個節點要有效率的融合其他節點資料於本身資料中回傳給操作者。

最後,是無線隨意感測器網路的安全(Security)問題,無線網路是透過無線電波的傳送資料,任何人都可以接收,若沒有一套安全的機制來保護每個節點傳送的資料,感測器節點將容易被入侵或是傳送資料遭擷取竊改。

我們的研究動機希望透過增加網路流量使得無線感測器網路資料取得的效率提高,依照電機暨電子工程師協會(Institute of Electrical and Electronics Engineers: IEEE),無線個人區域網路(Wireless Personal Area Networks, WPANs)第四工作小組(IEEE802.15.4 TG4)[17],在2001年提議的無線感測器網路的媒體存取協定規格中,並無發射功率控制功能;我們的論文提議以 Alaa Muqattash 和 Marwan Krunz 兩位學者所提出的發射功率控制(POWMAC)演算法[9],應用於無線感測器網路,並以 POWMAC 為基礎,設計出新的發射功率控制演算法: WSNPOWMAC,保留存取視窗(Access Windows)機制,取消 DTS(Decide TO Send)控制訊息以簡化存取方式,來達到提升無線感測器網路流量的目標。第二章節,介紹目前無線網路已發表加入發射功率控制(TPC)策略的文章。第三章節,介紹我們所提出的 WSNPOWMAC 架構。第四章節,呈現我們以 QualNet [11]模擬器的模擬結果。最後是本研究計劃的結論。

2 相關研究

目前無線感測器網路(Wireless sensor networks),媒體存取層協定(MAC Protocol)尚未訂定標準規格,有關無線感測器網路的研究媒體存取層,大多使用網路型態類似的無線隨意感測器網路(MANETs)。

目前存在 MANETs 上發射功率控制(TPC)策略的媒體存取協定(MAC Protocol),依功能可分為兩大類:

首先為針對節省能源為主要目的稱為能源導向(Power-Oriented)[3][4][5][6],這類節省電源的做法,是 node 傳送 RTS/CTS 使用最大發射功率,傳送 Data/ACK 使用滿足維持連線品質最低發射功率,以達到節省節點電源效果。

第二類是以提升網路流量為主要目的稱為流量導向(Throughput-Oriented) [7][8][9][10],這一類主要是經由 TPC 去增加 Channel Reuse,讓同一區域同時可以有好幾個 node 傳送資料,以提高網路流量。

上述的兩大類大多針對網路流量提升或節省能源消耗其中一個議題,使用設計複雜的存取方式或增加硬體設備來改善與提升效能,但無線感測器網路的元件(device),因無線通訊傳輸能力、運算能力及能源消耗的限制,使得無線感測器網路無法直接使用MANETs上發射功率控制策略的媒體存取協定。

MANETs上發射功率控制策略: POWMAC是可以在單一收發器(Transceiver),單一頻道(Channel)的架構下,利用存取視窗機制提升網路效能的發射功率控制策略的媒體存取協定,POWMAC的存取方式是在傳統的RTS/CTS(Request-To-Send/ Clear-To-Send)交談機制加上DTS(Decide-To-Send)訊息,以阻止來源端點產生干擾源,如圖1所示,當node A欲傳送資料給node B, node A 使用發送RTS訊息內除了來源節點編號、目的節點編號、傳送資料所需時間,還會載明存取視窗大小可使用的最大功率, node B收到RTS訊息後如果可以接收node A資料,會計算維持所需連線品質最低發射功率,回覆CTS載有傳送資料的發射功率及可容忍最大的干擾功率, node A 接收到CTS訊息,將發送DTS訊息通知鄰近節點使用發射功率及時間,避免發射訊息產生碰撞,最後node A將等待存取視窗大小的時間,讓其他需要傳送資料的node(例如node C)交換RTS/CTS/DTS

建立連線後,所有建立連線的node同時傳送資料及ACK訊息。

POWMAC透過頻道重覆使用(Channel reuse)機制對於網路流量有令人滿意的效能,本研究計劃以POWMAC 為基礎,在維持提升網路流量的前提下,進一步改良協定存取複雜度,然後整合至無線感測器網路。

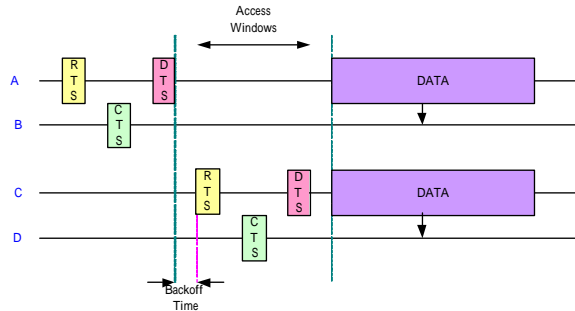


圖 1、POWMAC 的存取方式

3 WSNPOWMAC

我們的演算法是以 POWMAC 為基礎,進行改良,簡化存取方式,設計出我們演算法:WSNPOWMAC,設計步驟如下。

3-1 WSNPOWMAC 發射功率控制演算法

以下是 WSNPOWMAC 發射功率控制演算法的存取方式如圖 2。

WSNPOWMAC 的存取方式,首先感測器 node A 與 node B 建立連線時,使用 node 可用最大功率交換 RTS/CTS 訊息,建立連線後,node A 與 node B 將查詢 Neighbor List 以上次連線傳送 DATA/ACK 的發射功率級數做基準,降低一個級數傳送資料,假如失敗則增加一個級數,同一區域內的 node C 與 node D 在 node A 與 node B 交換 RTS/CTS 建立連線後,等待 back-off 時間後,檢測頻道乾淨無其他載波使用,即可交換 RTS/CTS 控制訊息建立連線,然後這兩組 node 在同一時間使用相同頻道傳送 DATA/ACK。

最後同一區域內的感測器 node,將隨時更新接收鄰近 node 收發資料的資訊於 Neighbor

List 內,以避免產生干擾,以及作為下次與鄰近 node 傳送 DATA/ACK 選擇合適發射功率,假如節點需要建立連線傳送資料時,而鄰近感測器節點亦在傳送資料,將可以在接收鄰近節點交換完 RTS/CTS 訊息後進入存取視窗保留時間,亂數取得等待 backoff 的時間,back-off 的時間終止時掃描頻道上,無人使用時即可交換 RTS/CTS 訊息建立同區域內另一組連線;存取視窗的變動將依 node 上所設的計數器來決定下一次建立連線的存取視窗大小。

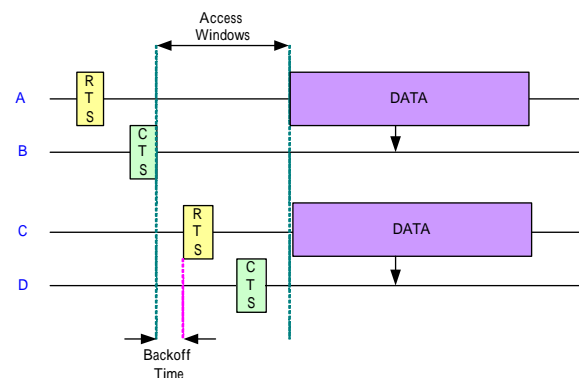


圖 2、WSNPOWMAC 後的存取方式

3-2 RTS/CTS 交談機制

WSNPOWMAC 取消 POWMAC 演算法上的 DTS(Decide To Send)控制訊息,恢復 RTS/CTS 交談機制,並於 RTS/CTS 訊息中加入存取視窗(Access Windows)大小,

- RTS 內容 :source address , destination address , duration time , AW size。
- CTS 內容 : source address , destination address , duration time , AW size , Tx power level

3-3 Neighbor List

我們的演算法 WSNPOWMAC 中,每一個 node 在工作時都會建立一個紀錄鄰近 node 資訊的目錄,目錄內容:node address、Transmission power level、AW size , duration time。

當 node 接收到 RTS/CTS 控制訊息時,檢查 source address 是否存在目錄內,如果不存在則

新增該 node 訊息，如果該 node 已經存在目錄內，則更新 node 相關訊息。

假如，node 在與目錄內的 node 建立連線失敗後，將該 node 資訊從目錄內移除。

3-4 Access Windows 機制

WSNPOWMAC 的 Access Windows 機制，我們首先在程式中加入一個計數器(counter)，紀錄 node 在 Access Windows 期間競爭失敗的次數，以作為調整 Access Windows 大小的依據，當 node 成功傳送資料時計數器歸零，Access Windows 的大小預設值為:1，調整 Access Windows 大小的演算法如圖 3。

```

default: AW Size=1
if counter>1
    AW Size= min((AW Size+=1),4)
else
    AW Size= max((AW Size-=1),1)
    
```

圖 3、WSNPOWMAC 調整 AW 大小演算法

最後，我們將 Access Windows 的 backoff 亂數種子，調整為假如在 Access Windows 期間競爭失敗，backoff 的亂數種子將以指數方式由 2^8 往下遞減，演算法如圖 4。

```

default backoff seed = 28
int n = 8
if counter ≥ 1
    backoff seed = max(2n-1, 24)
    n --
else
    no change
    
```

圖 4、WSNPOWMAC 調整 AW backoff seed 演算法

3-5 WSNPOWMAC 發射功率控制演算法

WSNPOWMAC 發射功率控制演算法，RTS/CTS 固定使用 node 最大功率傳送，傳送 DATA/ACK 的發射功率將查詢 Neighbor List 以上次連線傳送 DATA/ACK 的發射功率級數做基準，降低一個級數傳送資料，假如失敗則增加一個級數，成功傳送後固定該發射功率級數傳送 DATA/ACK，演算法如圖 5。

```

if Tx failure
    Tx power level = min((Tx power level+ = 1),4)
else
    no change
    
```

圖 5、WSNPOWMAC 發射功率控制演算法

4 模擬實驗

我們以 QualNet 模擬器來做模擬實驗，QualNet 是由 Scalable Network Technologies 公司 [11] 以 C++ 程式語言，所開發的圖形化(GUI) 的網路模擬器，可模擬有線、無線網路並可由使用者設定各協定層參數，以供研究不同參數實驗的結果，QualNet 並提供使用者圖形開發新協定的功能及以動畫模式觀看模擬過程。

表 1、模擬參數

網路區域	1000m * 1000m
節點數	30、50、100 隨機分佈以組成不同密度的拓撲網路。
發射功率	20dBm、18dBm、16dBm、14dBm.
傳輸方式	CBR(封包產生間隔:0.1 秒)、FTP、MIX(CBR and FTP)
資料封包大小	2K bytes
傳輸量	10(pairs)、30(pairs)、50(pairs)
node 移動	1m/sec、2m/sec
發射功率	20dBm、18dBm、16dBm、14dBm
模擬時間	30 秒
模擬次數	每一種組合模擬 20 次，有效樣本 18 次

4-1 使用 CBR 傳輸方式

模擬所產生的結果，我們使用 CBR 的傳輸方式及三種不同傳輸量與三種不同移動速率環境進行模擬，經由統計的數據可發現，如圖 6、圖 7，首先，使用低傳輸量(10 pairs)的模擬結果，使用發射功率控制演算法 POWMAC 及

WSNPOWMAC 在各種密度網路的網路流量高於 IEEE802.11 約 15%；第二，當我們使用中、高傳輸量(30、50 pairs)的模擬結果，隨著網路密度增高，使用發射功率控制演算法 WSNPOWMAC 及 POWMAC，因為 node 數量變多，每次連線傳送資料所阻止傳送資料的 node 亦變多，導致流量降低，而 IEEE802.11 因沒有發射功率控制，流量並不因網路密度變化而有太大變化，但是我們發現我們所提出的演算法 WSNPOWMAC，在網路密度變高時，網路流量相較 POWMAC 仍可以得到較佳的效能，約可高出 10%的網路流量；第三，在加入移動因素我們從模擬結果可發現 node 移動的速率由每秒 1 公尺增加至每秒 2 公尺時，各種環境與媒體存取控制協定的模擬結果網路流量明顯下降，尤其在低傳輸量(10pairs)低密度環境降低約 35%的網路流量；最後，在能源消耗表現方面，由模擬結果，如圖 8、圖 9，我們所使用的兩種發射功率控制演算法 WSNPOWMAC 及 POWMAC 相較於無發射功率控制演算法的 IEEE802.11 並不需消耗更多能源以換取網路流量。

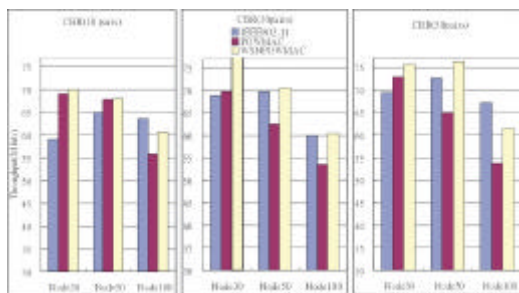


圖 6 移動速度 1m/sec,使用 CBR 不同傳輸量
不同密度對於網路 Throughput 影響

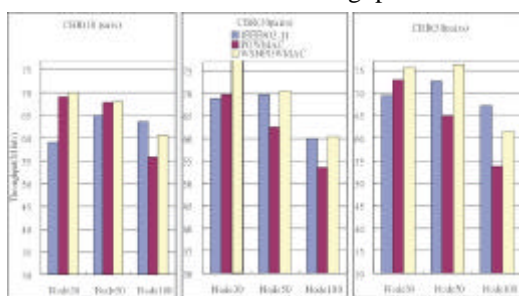


圖 7 移動速度 2m/sec,使用 CBR 不同傳輸量
不同密度對於網路 Throughput 影響

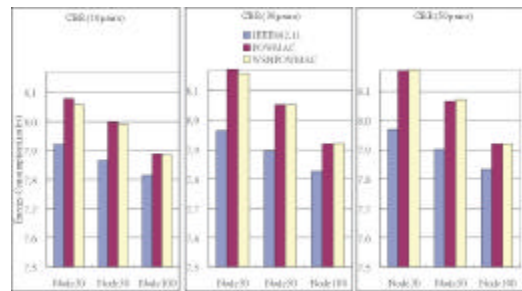


圖 8 移動速度 1m/sec,使用 CBR 不同傳輸量
不同密度對於 Node 能源消耗影響

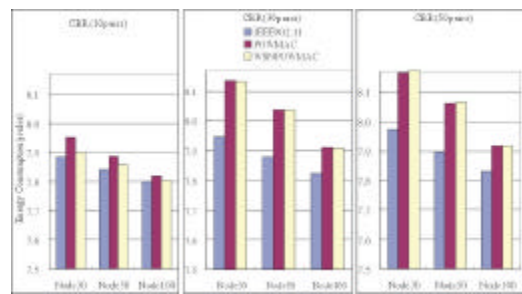


圖 9 移動速度 2m/sec,使用 CBR 不同傳輸量
不同密度對於 Node 能源消耗影響

4-2 使用 FTP 傳輸方式

在使用 FTP 傳輸方式模擬所得到的網路流量結果，如圖 10、圖 11，首先，使用發射功率控制演算法的媒體存取控制協定，在每一種傳輸量(10pairs、30pairs、50pairs)及每一種網路密度(node30、node50、node100)所得到的網路流量效能大部分都優於 IEEE802.11，最高約增加 40%的網路流量；第二，WSNPOWMAC 演算法與 POWMAC 相較，WSNPOWMAC 在每一種傳輸量及網路密度，所表現的效能均優於 POWMAC，最高約增加 37%的網路流量；第三，在 node 不同移動速率的表現，我們發現 node 移動速度變慢可有助於提升網路流量不管使用哪一種媒體存取控制協定，但是在使用 FTP 傳輸方式對應不同的傳輸量高密度的網路環境的模擬結果，隨著 node 數量增加移動因素對於網路流量的影響將變小；最後，在能源消耗方面，我們模擬的結果，如圖 12、圖 13，在使用 WSNPOWMAC 及 POWMAC 兩種發射功率控制演算法後相較於無發射功率控制演算法的

IEEE802.11, 除了得到較佳的效能(流量提升)並不需要付出額外的能源。

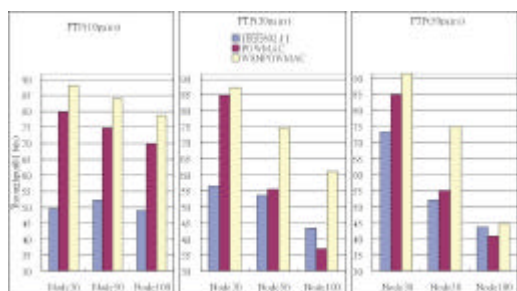


圖 10、移動速度 1m/sec, 使用 FTP 不同傳輸量、不同密度對於網路 Throughput 影響

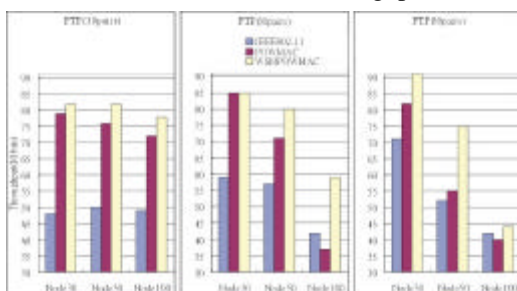


圖 11、移動速度 2m/sec, 使用 FTP 不同傳輸量、不同密度對於網路 Throughput 影響

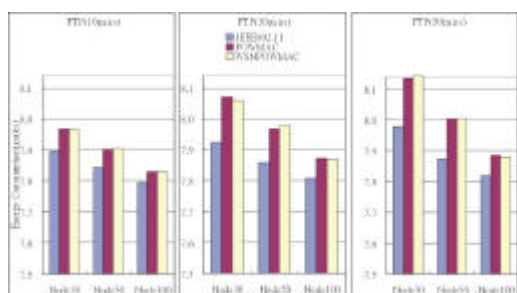


圖 12、移動速度 1m/sec, 使用 FTP 不同傳輸量、不同密度對於 Node 能源消耗影響

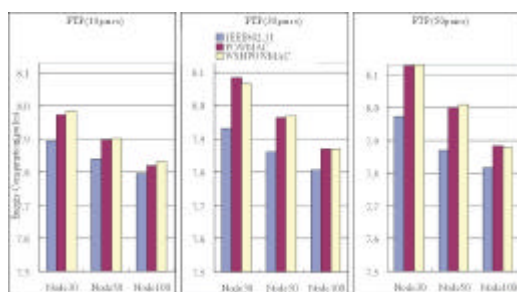


圖 13、移動速度 2m/sec, 使用 FTP 不同傳輸量、不同密度對於 Node 能源消耗影響

我們所模擬的最後一個傳輸方式, MIX 是由 CBR 及 FTP 各佔一半的混合方式進行傳送, 模擬的結果, 如圖 14、圖 15, 首先, 在低傳輸量環境下, 我們所提出的演算法 WSNPOWMAC 及 POWMAC 在任何網路密度效能均優於 IEEE802.11, 最高可增加約 40% 的網路流量, 在 WSNPOWMAC 與 POWMAC 比較方面, WSNPOWMAC 在低傳輸量的環境, 隨著網路密度的增加效能提高優於 POWMAC; 第二, 在中、高傳輸量的環境, 隨著網路密度增加, 我們所提出的演算法 WSNPOWMAC 及 POWMAC 這兩種發射功率控制的演算法, 網路流量降低, 甚至低於無發射功率控制演算法的 IEEE802.11, 但是我們由模擬結果可發現, WSNPOWMAC 的效能仍優於 POWMAC, 平均可高出 10% 的網路流量; 第三, 在 node 不同移動速率的表現, 我們發現使用 MIX 傳輸方式的模擬結果, 與 FTP 傳輸方式得到的模擬結果大致相同, 當 node 移動速度變慢可有助於提升網路流量不管使用哪一種媒體存取控制協定, 但是不同的傳輸量高密度的網路環境的模擬結果, 網路內 node 密度變高, 移動因素對於網路流量的影響將變小; 最後, 在能源消耗表現方面, 由模擬結果, 如圖 16、圖 17, 我們可發現, 如同 CBR 及 FTP 兩種傳輸方式的表現, WSNPOWMAC 及 POWMAC 並不需消耗更多的能源以達到網路提升的效果。

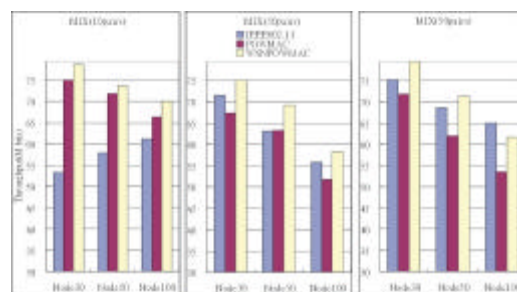


圖 14、移動速度 1m/sec, 使用 MIX 不同傳輸量、不同密度對於網路 Throughput 影響

4-2 使用 MIX 傳輸方式

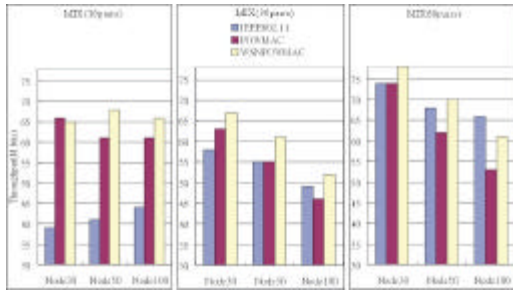


圖 15、移動速度 2m/sec，使用 MIX 不同傳輸量、不同密度對於網路 Throughput 影響

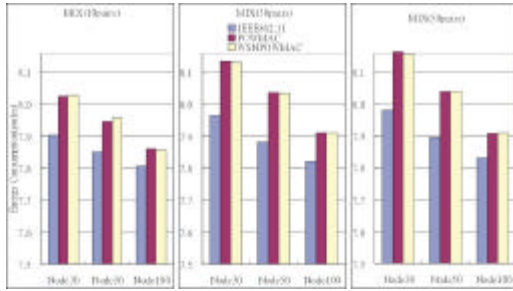


圖 16、移動速度 1m/sec，使用 MIX 不同傳輸量、不同密度對於 Node 能源消耗影響

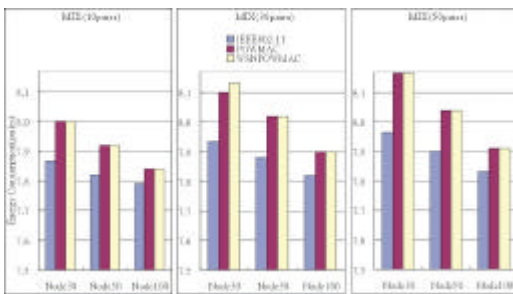


圖 17、移動速度 2m/sec，使用 MIX 不同傳輸量、不同密度對於 Node 能源消耗影響

5 結論

隨著無線感測器網路 (Wireless Sensor Networks) 的應用日益普及，整個無線感測器網路，將由各式各樣功能、發射功率不同的無線感測器形成一個龐大的資料庫，在這個龐大的資料庫中且每一個 node 大都使用無線收發資料，許多問題及挑戰亦隨之出現，例如行動計算的演算法、資料擷取的效率、網路拓樸及路由的控制、資訊的蒐集與處理、無線傳送資料的安全性..等等議題。

我們的論文提議，使用發射功率控制演算

法的媒體存取控制協定，透過提升網路流量的方式來增加無線感測器網路的資料擷取效率，我們並提出以 POWMAC 為基礎改良的演算法 WSNPOWMAC，WSNPOWMAC 主要保留存取視窗的機制以達到頻道重覆、簡化 POWMAC 原有的存取方式(取消 DTS 控制訊息)及提出我們的存取視窗大小、存取視窗 backoff 與發射功率控制的演算法。

我們以 node 的數量作為變數模擬不同密度網路，使用兩種發射功率控制演算法的媒體存取控制協定:WSNPOWMAC、POWMAC 及無發射功率控制演算法的 IEEE802.11，我們使用三種不同傳輸方式(CBR、FTP、MIX)及傳輸量(低、中、高)以模擬更多樣化的無線感測器網路環境

模擬的結果，我們所提出的發射功率控制演算法 WSNPOWMAC 提升網路流量的效能優於無發射功率控制演算法的 IEEE802.11，網路流量最多可高出 40% 的流量，WSNPOWMAC 與 POWMAC 相較，我們所提出的 WSNPOWMAC 並沒有因取消避免碰撞的控制訊息(DTS)而降低效能，凡而在大部分的環境得到較佳的效能；在能源消耗表現方面，我們所提出的演算法 WSNPOWMAC 在有效提升網路流量效能下，不需浪費額外能源，如此有助於保存無線感測器網路 node 寶貴的能源。

未來我們將繼續改善，因網路密度提高網路流量的效能隨著降低的問題，我們將朝更改發射功率控制級數 結合不同網路路由(Routing)協定及資料融合(Fusion)的演算法，著手改善無線感測器網路的整體網路流量效能。

參考文獻

- [1] Chee-Yee Chong and Kumar, S.P., "Sensor Networks: Evolution, Opportunities, and Challenges" Proceedings of the IEEE, Volume: 91, Issue: 8, Aug. 2003 Pages:1247 – 1256.
- [2] IEEE "IEEE Standard for Information technology- Telecommunications and information exchange between systems- Local and metropolitan area networks- Specific requirements Part II: wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications IEEE Std

- 802.11g-2003 (Amendment to IEEE Std 802.11, 1999 Edn. (Reaff 2003) as amended by IEEE Std 802.11a-1999, 802.11b-1999, 802.11b-1999/Cor 1-2001, and 802.11d-2001) , 2003 Pages:i - 67
- [3] J. Gomez , A. T. Campbell , M. Naghshineh and C. Bisdikian. "PARO: supporting dynamic power controlled routing in wireless ad hoc networks." *ACM/Kluwer Journal on Wireless Networks*, 9(5):443–460, 2003
- [4] S. Narayanaswamy , V. Kawadia and R. S. Sreenivas, and P. R. Kumar." Power Control in Ad-Hoc Networks:Theory, Architecture, Algorithm and Implementation of the COMPOW protocol." In *European Wireless 2002*, February 2002.
- [5] J. Monks , V. Bharghavan and W.-M. Hwu." A power controlled multiple access protocol for wireless packet networks." In *Proceedings of the IEEE INFOCOM Conference*, pages 219–228, 2001.
- [6] E.-S. Jung and N. H. Vaidya. "A power control MAC protocol for ad hoc networks." In *Proceedings of the IEEE/ACM MobiCom Conference*, pages 36–47, 2002.
- [7] P. Karn. "MACA: a new channel access method for packet radio." In *Proceedings of the 9th ARRL Computer Networking Conference*, pages 134–140,1990.
- [8] A. Muqattash and M. Krunz." Power controlled dual channel (PCDC) medium access protocol for wireless ad hoc networks." In *Proceedings of the IEEEINFOCOM Conference*, pages 470–480, 2003.
- [9] Alaa Muqattash and Marwan Krunz "A Single-Channel Solution for Transmission Power Control in Wireless Ad Hoc Networks" *Proceedings of the 5th ACM international symposium on Mobile ad hoc networking and computing may,2004.*
- [10] Chi-Hsiang Yeh "IPMA: an interference/power-aware MAC scheme for heterogeneous wireless networks" *Computers and Communication*, 2003. (ISCC 2003). *Proceedings. Eighth IEEE International Symposium on , 30 June-3 July 2003 Pages:849 - 854 vol.2.*
- [11] Scalable Network Technologies , [Online] Available: <http://www.qualnet.com>
- [12] Tubaishat, M and Madria, S "Sensor networks: An overview" *Potentials, IEEE Volume 22, Issue 2, April-May 2003 Page(s):20 – 23*
- [13] Sensoria Corporation [Online] Available: <http://www.sensoria.com>
- [14] Crossbow Technology [Online] Available: <http://www.xbow.com>
- [15] TinyDB by Telegraph research project in UC Berkeley's Computer Science Division, [Online] Available: <http://telegraph.cs.berkeley.edu/tinydb>
- [16] Dust Networks™, Available: <http://www.dust-inc.com>
- [17] IEEE 802.15 WPAN™ Task Group 4 (TG4), [Online] Available: <http://www.ieee802.org/15/pub/TG4.html>