

# 具節能及 QoS 之多點跳躍傳輸排程機制

簡碩瑤  
國立台中教育大學  
資訊工程學系  
vxellery@gmail.com

張林煌\*  
國立台中教育大學  
資訊工程學系  
lchang@mail.ntcu.edu.tw

李宗翰  
國立台中教育大學  
資訊工程學系  
thlee@mail.ntcu.edu.tw

張秀峰  
臺北城市科技大學  
電腦與通訊工程系  
hfchang@tpcu.edu.tw

## 摘要

近年來遊客攀登高山而發生意外事件頻傳，我們結合無線感測網路技術，設計具節能及 QoS 保證之多點跳躍傳輸排程機制，延伸 RMAC 機制，藉由動態多點跳躍排程及傳輸功率達到節能且低延遲的效能，此一方法我們稱為 AMH-MAC(Adaptation Multi-Hopping MAC)。透過預約排程使節點能在一個循環(Duty cycle)中進行多點跳躍，降低延遲時間，並藉由動態調整多點跳躍數量，使具即時性服務的流量能使預約封包傳輸至更多節點進行傳送排程，此外並利用動態調整傳輸功率方式節省傳送能源消耗。最後使用  $N_s-2$  進行與 S-MAC、RMAC 之延遲、吞吐量、耗能等分析模擬，驗證本論文提出的 AMH-MAC 確實能使即時性服務有效地降低延遲時間及節省更多能源。

**關鍵詞：** RMAC、Adaptation transmission power、scheduling、contention window、multi-hop

## 1. 前言

無線感測網路(Wireless Sensor Network, WSN)具有低成本與低消耗功率之特性，有鑑於無線感測網路其特殊的網路溝通模式，適合應用在具臨時性且需要快速達到資訊傳播的場合，例如應用於山區急難救援、礦坑、農場監控等。

過去多為利用無線感測網路傳送感測資訊，而這些資訊通常為純文字、數字等，因此對於頻寬需求較為不大，然而最近對於在無線感測網路環境下傳送語音訊息之相關研究有增加趨勢。而與傳統無線感測網路相較之下，要在其環境下傳送語音訊息則較需要大量的頻寬資源，因此如何有效地運用有限的頻寬資源勢必會是一大挑戰。

在 WSN 相關研究中，較廣為人知的

S-MAC[1]、T-MAC[2]、DSMAC[3]及 RMAC[4]等，皆為競爭基礎與具時間同步類型的 MAC 協定，其中 RMAC 利用跨層資訊(如路由資訊)，在傳送資料之前利用控制封包進行傳輸排程，使得資料封包能夠在一個循環(Duty cycle)時間內進行多點跳躍傳輸，而 S-MAC、T-MAC 等則是利用公平競爭方式進行資料傳輸，缺點是競爭者較多時會增加競爭失敗的機率，使得節點無法將剛產生的封包立刻送出，進而使得延遲時間增加，以及因競爭而導致的耗能，此外，由於時間同步機制，當節點不需要傳送封包時，其閒置時間亦會造成能源消耗。

除了延遲時間影響網路效能外，如何節省能源消耗亦是 WSN 相關研究中較為重要的一環。其中廣為人知的機制為 Low Power Listening (LPL)，節點於定期的喚醒時由實體層發送一個前導封包(Preamble packet)，由於每個節點的喚醒時間不同，因此，節點會持續一段時間發送前導封包，而在這段時間喚醒的節點，收到封包後將持續喚醒，並準備等待接收封包。而之所以稱為 Low Power 的原因在於節點僅喚醒一小段時間，這段時間內沒有收到任何的前導封包，便接著進入睡眠來節省更多的能源，其中以 B-MAC[5]、WiseMAC[6]、X-MAC[7]等較為知名，但此機制的缺點在於非同步的節點，對於較為緊急類型的流量而言延遲可能會較高，然而，對於能源消耗來說是較為節省。

因此，在延遲的考量下我們選擇使用具時間同步機制與多點排程機制的 RMAC 協定作為機制改良的對象，我們結合類似 LPL 機制的方法降低 RMAC 閒置時間的能源消耗，藉由動態調整多點跳躍數量來增加跳躍的節點數以利降低延遲時間，以及動態調整傳輸功率的方法來降低傳輸的能源消耗，達到具節能且低延遲之多點跳躍傳輸排程機制。

本篇論文在第二部分介紹過去的 WSN 之 MAC 機制等相關文獻探討；第三部分說明我們提出的具節能且低延遲的多點跳躍排程機

制；第四部份則是利用網路模擬器(Network Simulator Ver. 2, Ns2)[8]進行效能分析，其中將與 S-MAC、RMAC 進行效能比較；最後，第五部分將歸納本篇論文之研究得出結論與未來的研究方向。

## 2. 文獻探討

無線感測節點受到硬體上嚴苛限制，其運算速度、能源、頻寬都十分有限，而電能是無線感測節點中較為主要的資源，因此多數關於 WSN 的研究皆以能源消耗為主題，然而其有限頻寬分配也於近年來受到注目，又以傳送多媒體資訊的研究議題居多；而導致傳輸延遲較大的原因有碰撞、干擾等原因，這些將導致即時性的資料無法快速傳送至 Sink 端，故此問題對於本研究而言將是一項挑戰。在此先介紹過去較為成熟的 WSN MAC 協定。

在傳統的 WSN 設計上，以 W. Ye 等研究學者[1]所提出的 S-MAC 較為人知，至今仍有許多相關議題持續討論，而 S-MAC 的機制較為單純，主要運作流程為固定時間內喚醒、睡眠(SYNC-DATA-SLEEP)期間，如圖 1 所示。S-MAC 是由 IEEE 802.11 DCF 模式改良而成，他保有 IEEE 802.11 中用以解決隱藏節點(Hidden Terminal)問題的 RTS/CTS 機制與 CSMA/CA 機制。此外也新增時間同步功能，時間同步是避免節點因時間偏移，使得彼此無法順利溝通，除此之外，同步喚醒有利於傳送資料時能夠快速地找到目的節點，相較於非時間同步喚醒機制，更能降低等待節點喚醒的時間。

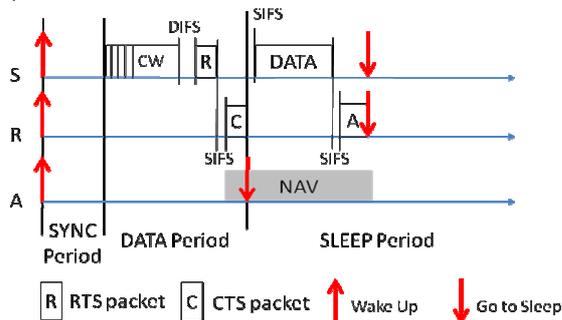


圖 1、S-MAC 架構及運作示意圖

圖 1 為 S-MAC 的架構及傳送封包流程，SYNC 期間主要作為傳送時間同步封包使用，而 DATA 期間則是作為傳送資料封包使用，傳送封包的方式主要使用 RTS/CTS/DATA/ACK；SLEEP 期間主要作為節點睡眠節省能源的時間，但若有資料封包需要傳送/接收時，也會於

這段期間進行處理。在時間同步類型的 MAC 機制上，與 S-MAC 相同的機制有 T-MAC、DSMAC、RMAC、DW-MAC[9]等，其共同的特點是具有相同的 Duty cycle 模式，其中 RMAC 與 DW-MAC 是具有多點傳輸排程機制，相較於 S-MAC 同時僅能做點對點傳輸，單一週期的多點傳輸排程機制更能有效降低延遲時間。

S. Du 等研究學者[4]提出 RMAC 協定改良 S-MAC 使其達到多點跳躍傳送，RMAC 將 RTS/CTS 封包結合為單一封包，稱為 PION 訊框，利用 PION 訊框在 DATA 期間依序傳送至其他節點告知接下來的資料傳送時間，各節點即可推算在 SLEEP 期間時需要在何時喚醒轉發資料，如此排成便可達到多點跳躍傳輸。如圖 2 所示，節點 S 為發送端，在經過一段 backoff 之後，送出 PION 訊框，而節點 A 收到後，藉由目的地地址訊息查詢下一個跳點位址，節點 A 在直接將 PION 訊框繼續往下發送，不再經過 backoff，PION 訊框的繞送會持續到喚醒時間到期時。節點傳送資料的過程是發生在 Sleep 期間，節點會在輪到自己時喚醒接收資料並傳送給下一跳節點，如同管線處理(Pipeline processing)一樣。而 RMAC 最大的優勢就在於跨層的目的地位址訊息，讓封包在單一個 Duty cycle 中，達到多點跳躍效果，藉此降低傳輸延遲時間。

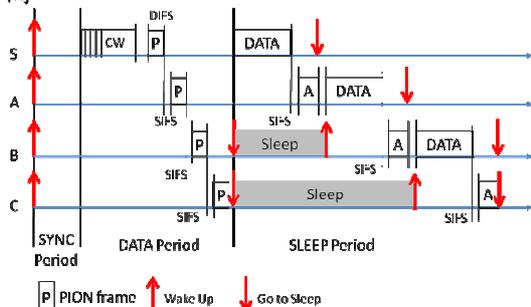


圖 2、RMAC 傳送流程示意圖

除此之外，在 H. Wang 等研究學者[10]提出的 HMAC (Hybrid MAC)，延續 RMAC 多點跳躍排程的優點，結合 TDMA 機制達到節省能源且低延遲目的，然而，此機制於傳送資料使用的時槽數量是固定的，若需要提供 QoS 服務時，排程的節點數量會受其限制。另外，由 Y. Liu 等研究學者[11]提出的 Q-MAC，使用流量分類並配合競爭視窗(Contention Window)的切割來達到 QoS 服務需求。依照流量類型分類競爭視窗長度雖然能夠達到 QoS 需求，但 Q-MAC 在傳輸時仍是屬於點對點，而並未提出傳送排程機制。

綜合而論，提供 QoS 需求的方法有許多

種，其中利用預先排程方法能夠降低延遲也能夠減少碰撞，因此我們選擇改良 RMAC 機制，並提出動態調整多點跳躍數方法及動態調整傳輸功率方法，藉由此兩種方法讓節點能夠時得到更多的節能，且同時保有 RMAC 低延遲的優點。

### 3. 研究方法

在第二章節中我們探討 RMAC 機制的優缺點，在本章節將描述我們提出的方法，一個是動態調整傳輸功率方法，另一為動態調整多點跳躍數量方法，最後結合兩種方法改良 RMAC 在 DATA 期間的閒置耗能及傳輸耗能達到更進一步地節能效果，以及透過動態多點跳躍數量，讓需要即時性的流量能夠藉由更多的跳點獲得較低的延遲時間，以下將詳細描述我們提出的 AMH-MAC 方法。

#### 3.1 動態調整多點跳躍

RMAC 的正常週期中，SYNC 期間是必須喚醒的時間，因為節點必須定期地交換睡眠時間資訊以達到時間同步的目的；然而，DATA 期間則不論節點需要傳送資料與否都會醒來的時間，因此，當一條路徑上所有的節點都沒有資料需要進行傳送時，DATA 期間的喚醒則是一種閒置能源的浪費。

除此之外，RMAC 於傳送資料的特點在於單一週期的多點跳躍傳輸排程機制，然而，影響排程的節點數量因素為 N 值，由 K.T. Cho 等研究學者[12]的研究中，發現 RMAC 在不同路徑下使用不同的 N 值時能達到延遲時間最佳化，藉由最佳化的 N 值帶來更低的延遲時間。然而，該作者研究中並未提出動態改變 N 值的方法，由於節點可能同時服務兩個以上的路徑，而不同的路徑亦需要不同的 N 值，因此我們提出動態調整 N 值的方法。

綜合上述，在動態調整多點跳躍的部分，我們利用 SYNC 期間預先告知路徑上的節點，在接下來的 DATA 期間內需要延長多久時間，而節點在收到預先告知的封包後，將會重新計算 DATA 期間的長度來調整活動周期。我們保留 SYNC 封包功能並額外增加 N 值及路徑 ID 欄位，當節點收到 SYNC 封包時，由於路徑 ID 與自身相符，因此除了在 DATA 期間將喚醒外，並根據 N 值來決定是否重新計算活動時間。N 值代表著跳點數量，N 值的增加也跟著

延長節點活動時間，然而延長活動時間意味著增加能源消耗及減少睡眠時間，這是能源消耗與延遲需求之間的取捨。

路徑 ID 除了讓節點用於識別 N 值的調整外，也用於節省 DATA 期間的閒置能源消耗，例如節點收到 SYNC 封包後，但其路徑 ID 與自己擁有的並不相同，因此 DATA 期間就不需要喚醒而繼續睡眠進而節省能源消耗。

#### 3.2 動態調整傳輸功率

除了節省閒置能源消耗外，我們亦設計動態調整傳輸功率之方法，我們令傳輸 SYNC 封包的能源消耗為初始的傳輸功率，目的是讓 SYNC 封包能夠一次傳送給更多的節點，減少廣播次數，並且依舊達到時間同步的效果，而資料封包及排程封包的傳輸，則是依點對點的距離來調整傳輸功率；點對點之間距離較為靠近時，使用較小的傳輸功率進行傳送資料與排程封包，如此便能更進一步地減少能源消耗。

### 4. 實驗結果與分析

為了量測我們提出的方法，我們使用網路模擬器(Network Simulator Ver. 2, Ns2)來分析、模擬。主要參數設定如表 1 所示。

表1、各參數設定

Parameters	Value
Bandwidth	20Kbps
Rx Power	0.1485W
Idle Power	0.1485W
Sleep Power	0.000001W
SIFS	5ms
DIFS	10ms
Sync Range	100m
Data/PION range	50m
Transmitted Power(100m)	0dBm
Transmitted Power(50m)	-60dBm
CW	64ms
Size of SYNC	
Size of ACK	10Bytes
Size of PION	14Bytes
Size of Data	100Bytes

我們延續 RMAC 機制進行改良，在方法比較上將與 RMAC 互相比較，來驗證我們提出的方法，此外，並與 S-MAC 進行比較，由於 S-MAC 是一個較為知名的 WSN MAC 協定，

且該協定也已被實作在各個嵌入式平台中，是一個非常適合做為比較的對象。在表 1 中，傳輸耗能的部分我們使用 Free Space 模組。

RMAC 與 S-MAC 之 Duty cycle 時間參數如表 2 所示。

表 2、Duty cycle 參數設定

Parameters	S-MAC	RMAC(AMH-MAC)
SYNC period(ms)	55.2	55.2
DATA period(ms)	104.0	168.0
SLEEP period(ms)	3025.8	4241.8
Total cycle(ms)	3158.0	4465.0
Duty cycle		5%
N value	0	4

我們提出的 AMH-MAC 其 Duty cycle 時間參數基本上 RMAC 大致相同，並額外新增一項長時間睡眠參數，該參數為 DATA 期間加 SLEEP 期間之長度，主要作為節點在未有資料傳送或接收時，進入睡眠的時間長度；而在表 2 中，其 N 值是採用 RMAC 原有的預設值，在此我們亦使用相同的 N 值。

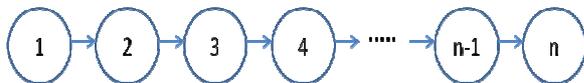


圖 3、鏈狀拓樸

在我們的模擬中，資料流量的部分我們使用固定流量(Constant bit rate, CBR)來產生需要的資料量，而網路拓樸方面我們以鏈狀拓樸來進行模擬，其長度從 1 至 24 跳點數，如圖 3 所示。

本實驗模擬時間 5500 秒，共 100 個封包，分別依序模擬 5、10、15、20、24 跳點數，首先我們主要量測項目有延遲、能源消耗，先以每 100 公尺佈建一個節點的情境進行模擬，並與 RMAC、S-MAC 進行比較，其中節點能源消耗的結果如圖 4、圖 5、圖 6 所示。

節點耗能分布分為接收、傳送、睡眠、閒置、總剩餘能源來做分析，由圖 4 與圖 5 中可看出閒置的能源消耗佔總體能源消耗較高。S-MAC 由於單一 cycle 時間內僅作一次 hop 傳輸，而節點即使在不需傳輸及接收情況下仍在 DATA 期間喚醒，使得閒置時間增加，也促使能源消耗增加。圖 5 中 RMAC 在傳送封包時以單一 cycle 進行多點跳躍，在節點節省能源上相較於 S-MAC 要有效益，閒置能源消耗的部分雖較 S-MAC 低，但佔總體能量消耗分布而

言仍是偏高。

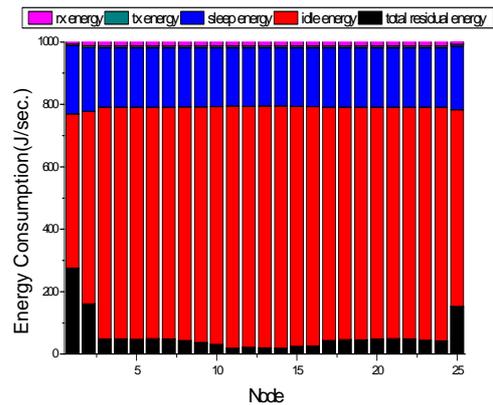


圖 4、S-MAC 節點耗能分布

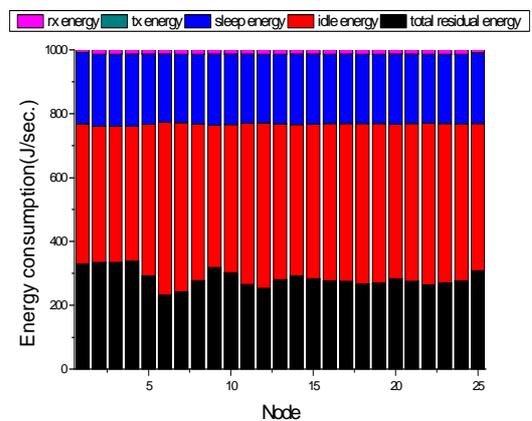


圖 5、RMAC 節點耗能分布

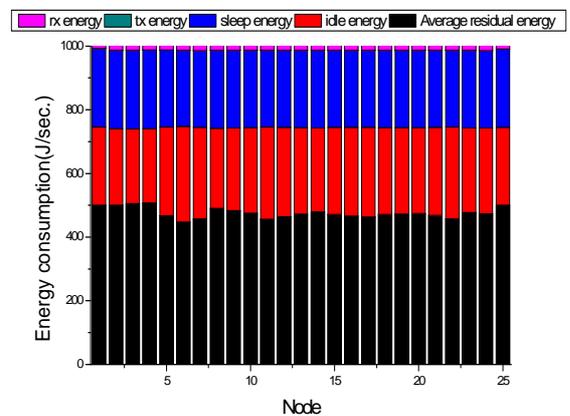
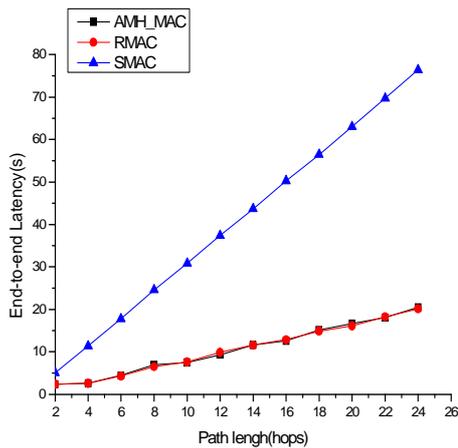
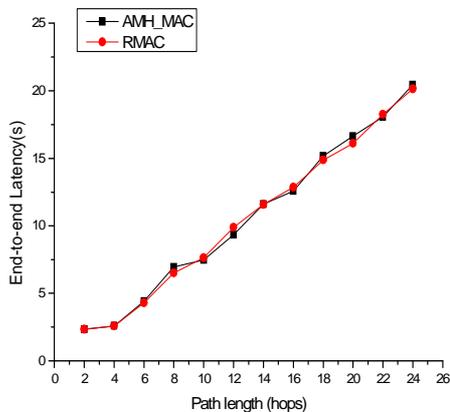


圖 6、AMH-MAC 節點耗能分布

由圖 4、圖 5 中我們可看出閒置能源消耗對於整體的耗能而言是相當重要的部分，能夠有效減少閒置能源消耗便可提升節點存活時間，其中圖 6 為我們提出的 AMH-MAC 節點耗能分布，透過需求導向的時間切換模式，當節點需要傳送資料時才會依序喚醒路徑上的節點進行排程、傳送，而在不需傳送資料時則僅喚醒 SYNC 週期時間，因此有效地降低閒置能源消耗，相較於 RMAC 更能達到有效地節能。



**圖 7、以 24 hop 在鏈狀拓樸下的延遲比較**  
延遲的部分，圖 7 是比較 S-MAC、RMAC、AMH-MAC 之間的延遲時間表現；AMH-MAC 只在時間切換的情況下，其延遲的表現與 RMAC 相似，AMH-MAC 中影響延遲的關鍵因素在於 SYNC 期間，SYNC 期間能夠跳躍更多的節點進行繞送，則延遲也會跟著降低，然而節點並不是每一次的 cycle 中都能夠喚醒多個節點，因此在延遲表現上會與 RMAC 產生些微的差距，如圖 8 所示。



**圖 8、以 24 hop 在鏈狀拓樸下 AHM-MAC 與 RMAC 延遲比較**

本篇論文中提出的 AMH-MAC 機制藉由時間的切換達到省能效益，而延遲的表現從圖 8 中可看出 AMH-MAC 與 RMAC 幾乎相近，在時間切換的情況下，不影響延遲時間但能有效改善能源消耗情況。

## 5. 結論

在山區中由於地形限制，其無線網路基礎建設較難佈建，且佈建完成的無線感測網路若沒有適當的傳輸排程機制，將影響節點的能源

效益以及延遲時間。因此，我們提出 AMH-MAC (Adaptation Multi-Hopping MAC) 用於多點跳躍傳輸排程機制，並透過時間切換模式，達到降低能源消耗的目標；此外，從實驗結果可明顯看出，在能源消耗表現上比 RMAC 更加節能。

透過 RMAC 文獻探討中，延遲的影響部分來自競爭視窗長度及 N 值的調整，在 N 值的調整上雖未有模擬結果，但在未來的研究方向上，仍會針對 N 值的調整及設計動態調整競爭視窗方法，降低延遲時間使整體機制更為完善。

## 6. 致謝

本計劃之執行承蒙國科會計畫(編號：NSC 101-2221-E-142 -003 、 NSC100-2221-E-142-008)，及教育部網路通訊人才培育先導型計畫-102 年度重點領域學程推廣計畫(發文字號：第 1020035480A 號)之支持，特此致謝。

## 參考文獻

- [1] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, "An energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks," Proceedings of INFOCOM 2002, Jun. 2002, pp. 1567-1576.
- [2] T. van Dam and K. Langendoen, "An Adaptive Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks", Proceedings of First International Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys 2003), Nov. 2003, pp. 171-180.
- [3] P. Lin, C. Qiao and X. Wang, "Medium Access Control With A Dynamic Duty Cycle For Sensor Networks", Proceedings of IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), March 2004, vol. 3, pp. 1534-1539.
- [4] S. Du, A. K. Saha, and D. B. Johnson, "RMAC: a routing-enhanced duty cycle MAC protocol for wireless sensor networks," Proceedings of INFOCOM 2007, May 2007, pp. 1478-1486.
- [5] J. Polastre, J. Hill, and D. Culler, "Versatile low power media access for wireless sensor networks", Proceedings of The Second ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys), Nov. 2004, pp. 95-107.
- [6] A. El-Hoiydi and J.-D. Decotignie, "WiseMAC: an ultra low power MAC protocol for the

- downlink of infrastructure wireless sensor networks”, Proceedings of Ninth International Symposium on Computers and Communications (ISCC), July 2004, vol. 1, pp. 244-251.
- [7] M. Buettner, G. V. Yee, E. Anderson, and R. Han, “X-MAC: A Short Preamble MAC Protocol for Duty-Cycled Wireless Sensor Networks”, Proceedings of the 4th international conference on Embedded networked sensor systems (SenSys), 2006, pp. 307–320.
- [8] S. McCanne and S. Floyd, "ns Network Simulator.", <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.
- [9] Y. Sun, S. Du, O. Gurewitz and D. Johnson, “DW-MAC: a low latency, energy efficient demand wakeup MAC protocol for wireless sensor networks”, Proceedings of the Ninth ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MobiHoc), May 2008, pp. 53–62.
- [10] H. Wang, X. Zhang, F. N.-Abdesselam, and A. Khokhar, "Cross-Layer Optimized MAC to Support Multihop QoS Routing for Wireless Sensor Networks", IEEE Transaction on vehicular technology, June 2010, vol. 59, no. 5, pp. 2556-2563.
- [11] Y. Liu, I. Elhanany and H. Qi, "An Energy-Efficient QoS-Aware Media Access Control Protocol for Wireless Sensor Networks," Proceeding of Mobile Adhoc and Sensor Systems Conference, 2005.
- [12] K.T. Cho, S. Bahk, “Optimal Hop Extended MAC protocol for wireless sensor networks”, Computer Networks, 2012.