

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 ■結案報告

以鏈結層模型解法建立一個高效能無線網路：

參數分析，演算法設計，及雛型系統實作

計畫類別：■ 個別型計畫

計畫編號： NSC97-2221-E-009-055-MY2

執行期間： 2008年8月1日至2010年7月31日

計畫主持人：林亭佑 / 國立交通大學 電信工程所

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)：■完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

■赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

■發表之論文一份 (accepted by IEEE PerCom 2010)

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究

計畫、列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

■涉及專利或其他智慧財產權，一年■二年後可公開查詢

執行單位：國立交通大學 電信工程所

中華民國 99 年 10 月 8 日

## 一、中英文摘要

在傳輸媒介共享的無線網路環境研究中，提出許多的傳輸功率控制協定來增加多重傳輸的數量及減少干擾的影響。在本篇報告中，我們不嘗試提出一個新的傳輸功率協定，而是研究在各通道都配置一個無線電傳輸配備的多通道無線網路環境中如何應用傳輸功率控制協定，而在多重跳躍通訊環境，單一無線電傳輸設備的傳輸端降低傳輸功率將導致較低的網路連結率以及較長的傳輸路徑，另一方面，較低的傳輸功率能容納更多的傳輸端進行傳輸。因此，同時考慮傳輸路徑長度及傳輸媒介利用率這兩個參數增加網路無線網路容量顯的更重要，由於此動機，我們提出了一個可以應用在無線電傳輸介面並且獲得多重連結密度的傳輸功率控制協定，使得一個多重的網路拓撲擁有漸層式連結度在多個無干擾的通道中，稱之為漸層式傳輸功率控制協定(GradPC)。在我們提出的漸層式漸層式傳輸功率控制協定(GradPC)，基本通道被指定預設傳輸功率(無功率控制協定)，而在其他非基本通道中，我們採用鄰近節點傳輸功率的控制方法來實現漸層連結密度，在漸層式傳輸功率控制協定(GradPC)配置所有無線電介面傳輸後，我們的協定執行以下兩個階段：(i)一個變異DSR在基本通道尋找多重跳躍節點的路徑，(ii)當路徑確定後，無線電傳輸介面依選擇程序來分配合適之通道，由於漸層式傳輸功率控制協定(GradPC)同時考慮路徑長度和傳輸媒介利用率因素，因此模擬結果顯示了我們提出的漸層式傳輸功率控制協定(GradPC)的確優於其他功率控制協定。

關鍵字：多通道功率控制、網路連結率、路由路徑、空間多樣性

無線隨意網路

## *Abstract*

Various power control techniques have been proposed to boost aggregate network throughput by reducing the interference impact and encouraging more concurrent transmissions in medium-shared wireless systems. In this project, we do not intend to devise new power control mechanisms. Rather, we investigate an interesting problem of how to apply power control techniques in multi-channel networking environment, where every wireless node is equipped with multiple radio transceivers, each statically binding to a dedicated channel. For a single radio transceiver, more reduction on transmit power generally results in lower network connectivity, leading to a longer route (if path exist) for multi-hop communication (bad for end-to-end throughput). On the other hand, small transmit power helps accommodate more current transmitters (good for aggregate throughput). For wireless ad hoc networks with multi-hop communication as the major behavior, how to take both route length and medium utilization into consideration to improve system capacity is thus import. Motivated by this, we propose to apply power control with different connectivity degrees on radio interfaces. Imagine several superposed network topologies having gradational connectivity degree for each radio channel, hence the name, gradational power control (abbreviated as GradPC), is given. In our proposed GradPC protocol, a base channel is designated to used default transmit power (no power control on this radio). For other non-base radio, we adopt neighbor-based power control mechanisms to tailor the connectivity degree for each radio channel. After GradPC has successfully configured transmit power for all radios, our other corresponding protocols run in following two phases : (i) a variant DSR is performed over the base channel to discover a multi-hop route, and (ii) once the route is ready, a radio selection procedure is activated to judiciously schedule the next link-layer packet sent over an appropriate by imposing gradational power levels on radios to balance the requirements for short rout and high medium utilization.

**Keyword:** multi-channel power control, network connectivity, routing path, spatial diversity, wireless ad hoc network

## 二、計畫緣由與研究目的

無線研究人員一直在努力增加網路系統的吞吐量，因為無線通道寬度要求很高。在參考論文[10]中，作者從消息理論的角度分析了無線網路容量限制。對兩種類型的網路進行研究：任意和隨機網路。他們的分析結論是：(1) 任意網路容量（傳輸距離為在單位時間內單位數量）是 $\Theta(\Gamma n)$ ，其中 $n$ 是節點密度，而(2) 隨機網路容量是 $\Theta(\Gamma(n \log n))$ 的。根據這個研究結果，作者在[14]發現到802.11無線網路容量被限制在這個理論值下。他們觀察到，假設沒有一個最佳化通訊程序，會使802.11的MAC吞吐量會大幅下降，因為任何節點狀態的鏈接或產生附近節點太多相撞靜止。在分散式的網路系統中，想要達成最佳的溝通時間，如果沒有中央節點主控協調，不容易處理。因此我們必需考慮跨層設計，目前學者致力研究不同通道控制參數增加網路容量，功率控制方法是其中的一種。

在本篇的報告裡，考慮兩種參數控制，第一種是功率控制，調整功率大小影響到傳輸的路徑，換句話說減少功率(縮小附近節點的數目)，間接減少通信路徑的互相干擾，第二種是無線控制，利用多個頻率不重疊的頻道提升網路的流量，由於在正交頻率媒介，不會受到彼此的干擾，故能夠增加傳輸量。

除了分開研究上述功率和無線頻道因素外，我們還考慮到功率控制機制利弊，並且提出一個漸進功率控制(GradPC)方法在多個非重疊的無線電頻道(頻道多樣性)。在基本的通道設定預設功率，其他通道調整功率以控制網路連結密度，同時考慮路徑長度和傳輸媒介利用率，最後模擬結果顯示出(GradPC)能夠有效提升網路流量。

## 三、文獻探討

#### A. N-base (電源控制機制)

N-base是根據附近節點調整功率控制協議。作者[24]做出一個結論，在一個具有 $n$ 個隨機網路節點佈置，節點至少連接到 $\Theta(\log n)$ 數目節點，當附近鄰居小於 $0.074\log(n)$ ， $n$ 數目增加，網路連接機率變小，當附近鄰居比 $5.1774\log(n)$ 變大，網路連接機率接近於1。在我們的GradPC，使用預設的發射功率基本頻道(無電源控制)。對於其他非媒介，我們實行N-base漸進性降低功率，以產生不同程度的鄰居。

#### B. Spatial diversity (空間多樣)

Spatial diversity (空間多樣)通常是在衡量空間在利用的因素，可以影響無論是通過調整發射功率水平或調整Carrier sense的門檻。較高的空間多樣性意味著更多同時傳輸的媒介和更好系統吞吐量。藉由功率控制方法，提高空間多樣性，增加系統容量，同時節約能源。

#### C. PCDC (電源控制機制)

此機制是用一個額外的通道來控制信號傳輸交換訊息，藉由得知資訊，調整功率達到電源控制。

#### D. AD HOC ROUTING (無線網路隨意路由)

在隨意網路中，節點可以任意移動，在傳送資料過程中可能發生節點離開傳輸範圍，導致封包在傳送中遺失。當發生這種情況時，需要等待時間重新找尋傳送的路徑。一般AD HOC ROUTING PROTOCOL可分為三類：

(1) Proactive Protocol (也稱為Table driven protocol)，每個節點會周期性地傳輸或交換資訊，藉由收到的訊息更新路徑表。

(2) Reactive Protocol (on-demand protocol)，當節點要傳送資料時，才會開始找尋路徑。節點廣播訊息，直到找到一條可用的路徑

(3) Hybrid protocol，結和Proactive Protocol和Reactive Protocol  
優點的演算法。

#### E. Dynamic Source Routing (DSR)

Dynamic Source Routing屬於Reactive Protocol一種方法，優點是佔  
用頻寬小，當要傳送封包時，找不到，才會開始找尋路徑。

### 四、研究方法

在本篇報告，我們開始討論，從理論上分析調功率控制調整造成IEEE802.11  
系統吞吐量影響。由於我們採用N-basis做為功率控制方法[24]，所以理論分析  
密切相關N-base。假設連接的數目鄰居(使用基本傳輸功率)是n，運行N-base協  
議後，無線傳輸功率會調整成連接到 $\log(n)$ 鄰居數目。

#### A. Network Model (網路吞吐量數學模型)

我們研究IEEE802.11分散式協調(DCF)，基於載波偵聽多路存取及避免碰撞  
(CSMA/CA)。一個節點傳輸數據之前，它的感觀無線媒介會確認其他附近節點處  
於空閒狀態。如果無線媒介是空閒狀態，節點就會開始傳輸，否則將會等待附近  
節點傳送結束，資料接收結束後，接收端會發出ACK。假設  $\rho$  是傳輸失敗的機率，  
 $D_{rate}$  是傳送速率，因此我們導出網路吞吐量公式(1)

$$T = D * (1 - \rho) * Data_{rate}, D = \frac{DATA_{time}}{PACKET_{time} + DIFS + SIFS + ACK_{time}},$$

(1)

現在我們開始討論  $\rho$  傳送失敗機率，一個完整傳輸成功，為收到ACK frame成功  
後，因此一個成功的機率公式(2)可以計算為

$$\rho = 1 - (1 - \rho_{\text{data}})(1 - \rho_{\text{ack}}), \quad (2)$$

為了導出公式(2)中  $\rho_{\text{data}}$  和  $\rho_{\text{ack}}$ ，假設在一個單通道的網路，n個節點均勻分佈在一個區域A（因此節點密度是  $\lambda = \frac{n}{A}$ ），所有節點使用基本傳輸功率  $P_{\text{tr}}$ ，節點在距離d，接收到電源功率是  $P_{\text{rcv}}(d) = P_{\text{tr}} * d^{-\alpha}$ ，SINR是訊雜比公式(3)

$$\text{SINR} = \frac{P_{\text{t}} d^{-\alpha}}{P_{\text{I}} + \eta}, \quad P_{\text{I}} = \frac{P_{\text{a}} * (\lambda * \pi d_{\text{BS}}^2 - \lambda * \pi d_{\text{CS}}^2) * P_{\text{tr}}}{\left(\frac{d_{\text{BS}}^2 + d_{\text{CS}}^2}{z}\right)}, \quad (3)$$

求得SINR(3)後，對照表(a)得到  $\rho_{\text{data}}$  和  $\rho_{\text{ack}}$ 。代回公式(2)和公式(1)求得系統吞吐量。

SNR(dB)	BPSK(1Mbps)	QPSK(2Mbps)	CCK5.5(5.5Mbps)	CCK11(11Mbps)
1	$1.2 \times e^{-5}$	$5 \times e^{-3}$	$8 \times e^{-2}$	$1 \times e^{-1}$
2	$1 \times e^{-6}$	$1.2 \times e^{-3}$	$4 \times e^{-2}$	$1 \times e^{-1}$
3	$6 \times e^{-8}$	$2.1 \times e^{-4}$	$1.8 \times e^{-2}$	$1 \times e^{-1}$
4	$7 \times e^{-9}$	$3 \times e^{-5}$	$7 \times e^{-3}$	$5 \times e^{-2}$
5	$2.3 \times e^{-10}$	$2.1 \times e^{-6}$	$1.2 \times e^{-3}$	$1.3 \times e^{-2}$
6	$2.3 \times e^{-10}$	$1.5 \times e^{-7}$	$3 \times e^{-4}$	$5.2 \times 5.2e^{-3}$
7	$2.3 \times e^{-10}$	$1 \times e^{-8}$	$6 \times e^{-5}$	$2 \times e^{-3}$
8	$2.3 \times e^{-10}$	$1.2 \times e^{-9}$	$1.3 \times e^{-5}$	$7 \times e^{-4}$
9	$2.3 \times e^{-10}$	$1.2 \times e^{-9}$	$2.7 \times e^{-6}$	$2.1 \times e^{-4}$
10	$2.3 \times e^{-10}$	$1.2 \times e^{-9}$	$5 \times e^{-7}$	$6 \times e^{-5}$
11	$2.3 \times e^{-10}$	$1.2 \times e^{-9}$	$7 \times e^{-8}$	$2.1 \times e^{-5}$
12	$2.3 \times e^{-10}$	$1.2 \times e^{-9}$	$1.2 \times e^{-8}$	$7 \times e^{-6}$
13	$2.3 \times e^{-10}$	$1.2 \times e^{-9}$	$1.7 \times e^{-9}$	$1.7 \times e^{-6}$
14	$2.3 \times e^{-10}$	$1.2 \times e^{-9}$	$1.7 \times e^{-9}$	$5 \times e^{-7}$
15	$2.3 \times e^{-10}$	$1.2 \times e^{-9}$	$1.7 \times e^{-9}$	$2 \times e^{-7}$
16	$2.3 \times e^{-10}$	$1.2 \times e^{-9}$	$1.7 \times e^{-9}$	$5.1 \times e^{-8}$
17	$2.3 \times e^{-10}$	$1.2 \times e^{-9}$	$1.7 \times e^{-9}$	$1.6 \times e^{-8}$
18	$2.3 \times e^{-10}$	$1.2 \times e^{-9}$	$1.7 \times e^{-9}$	$6 \times e^{-9}$
19	$2.3 \times e^{-10}$	$1.2 \times e^{-9}$	$1.7 \times e^{-9}$	$2 \times e^{-9}$

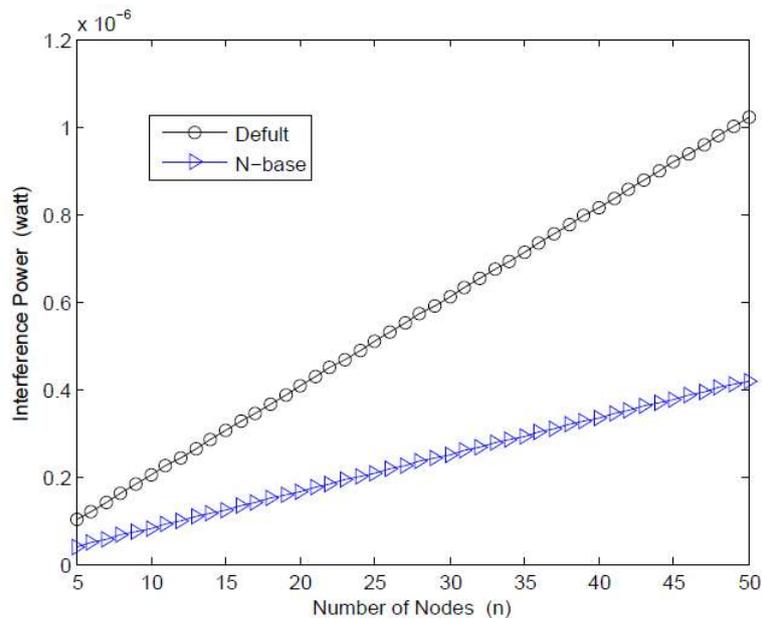
表(a)

Notation	Description
$\lambda$	Node density of the grid topology
$\alpha$	Path loss exponent
$d$	Communication distance between transmitter and receiver
$p_a$	Transmission attempt probability
$P_{tr}$	Default transmit power
$P_{trp}$	Reduced transmit power after applying the N-base power control
$d_{cs}$	Default carrier sense range
$d_{csp}$	Carrier sensing range after applying the N-base power control
$d_{pg}$	Default radio propagation distance
$d_{pgp}$	Radio propagation distance after applying the N-base power control
$n$	Estimated number of neighbors using default transmit power $P_{tr}$
$u$	Spatial reuse factor

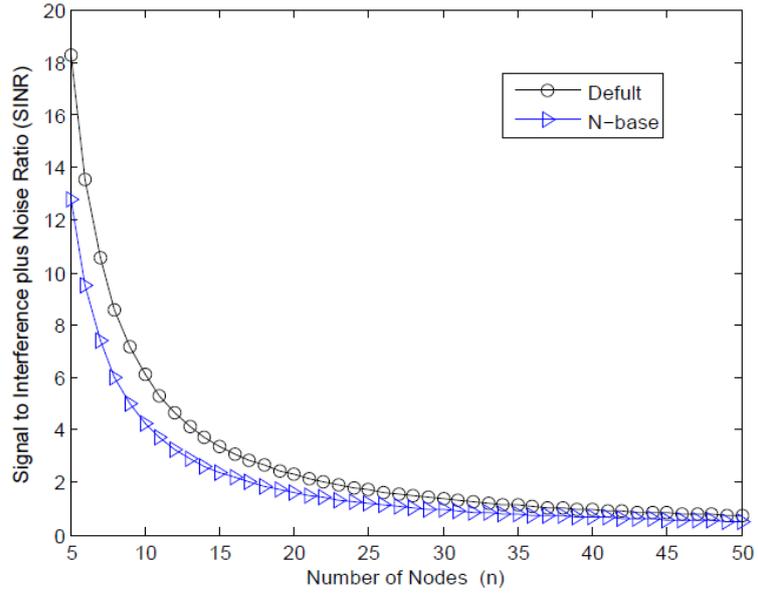
表(b)

### B. Impact of Power Control on Interference (電源控制對雜訊影響)

在此章節中，我們介紹電源控制機制對雜訊影響。假設 $n$ 個節點均勻放置在一個 $220 \times 220$ 平方公尺，通道頻寬為22MHZ，只有考慮single-hop傳輸。實行N-base後，附近節點數目降低成 $\log(n)$ 。圖(c1)解釋雜訊干擾在執行N-base後減少，顯示出N-base能夠降低雜訊。圖(c2)是SINR在執行N-base前後。



圖(c1)



圖(c2)

### C. Single-hop Aggregate Network Throughput (single-hop 系統吞吐量)

經過功率調整控制後，減少干擾，進而提高 concurrent transmission (節點在區域內同時傳輸數目)。因此系統吞吐量藉由功率調整後增加同時傳輸 cell。多個傳輸的 cell 可以表示成 spatial reuse factor (空間多樣單位)，換句話說，spatial reuse factor 可以計算出同時間傳輸數量。假設總空間是  $A$ ，定義  $A_s$  是沒有功率調整的消費面積， $A_{sp}$  是經過 N-base 協定調整功率，現在定義 spatial reuse factor  $u$  和  $u_p$ ，我們得到

$$u = A/A_s, \quad (4)$$

$$u_p = A/A_p, \quad (5)$$

因此將  $u$  公式(4)和  $u_p$  公式(5)代入 single-hop 系統吞吐量公式如下

$$T^s = u \quad , \quad (6)$$

執行 N-base 後 single-hop 系統吞吐量為

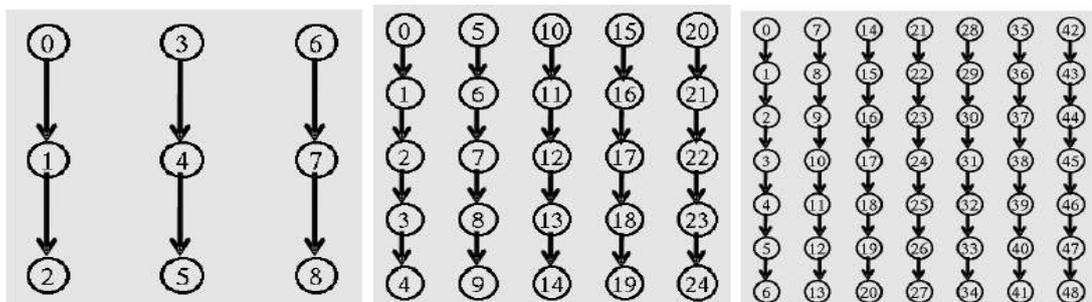
$$T_p^s = u_p * T_p \quad . \quad (7)$$

Two-Ray Ground Propagation Model	
Antenna Gain = 1	$CW_{min} = 32$ $CW_{max} = 1024$
Default $P_{tr} = 20\text{dBm}$	Noise = $-101\text{dBm}$
CSThreshold = $-99\text{dBm}$	RXThreshold = $-95\text{dBm}$
CBR sending rate = 1Mbps	
Packet size = 1024 bytes	

表(d)

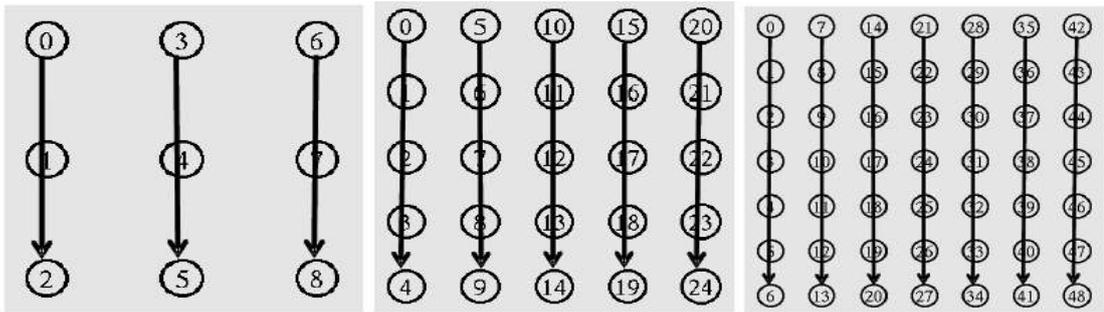
#### D. Performance Evaluation (效能分析)

表(d)是我們使用在 ns-2 使用的參數。我們使用 IEEE802.11b 11Mbps 無線網路模組，RTS/CTS 交換關閉，所有的節點被佈置在 220x220 平方公尺圖(e1)、圖(e2)，產生 single-hop 和 multi-hop 網路，為了避免邊角節點影響結果，我們也在附近放了節點和產生網路傳輸，使得模擬結果更接近事實。



Single-hop traffic

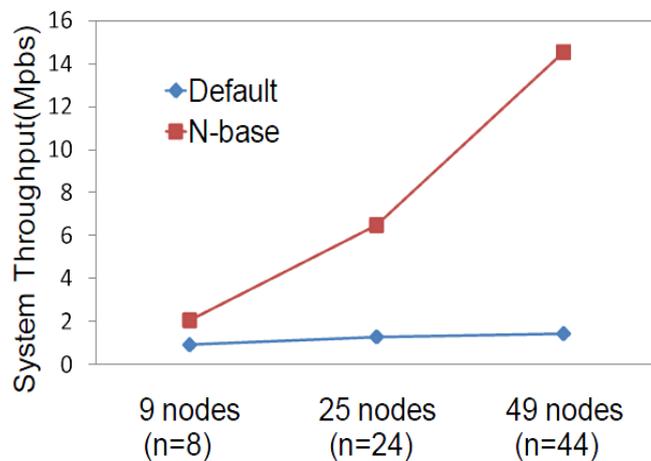
圖(e1)



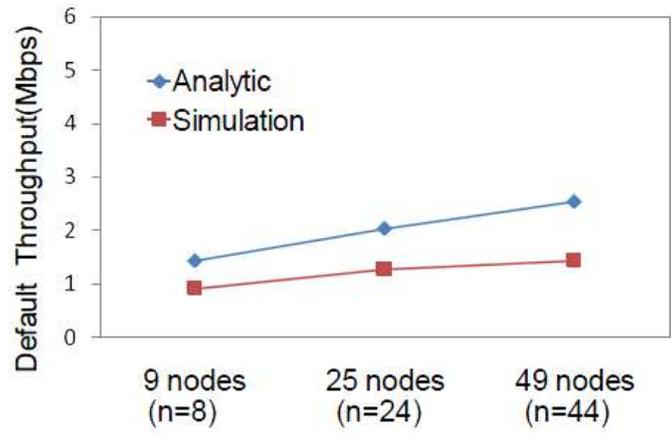
Multi-hop traffic

圖(e2)

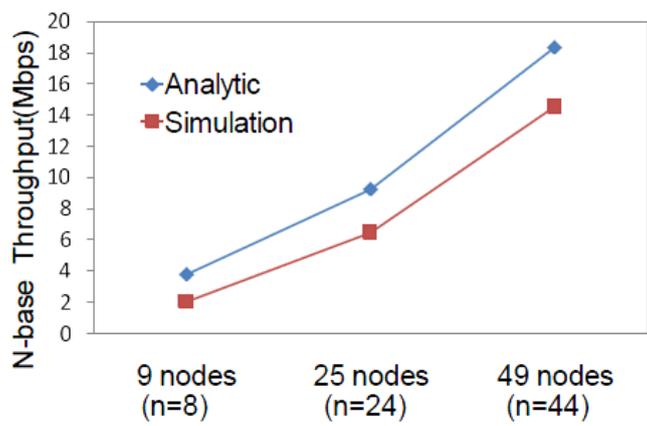
圖(f1)節點 9、節點 25、節點 49 的模擬統計。預設(Default)意指是沒有調整功率(使用預設傳送功率)，而 N-base 演算法，我們觀查到 single-hop 吞吐量，N-base 在壅塞網路效能表現很好，這是因為更多 spatial diversity (空間分散)，當 n 節點數增加時，執行電源控制能夠減少干擾，增加 concurrent transmission 機會。電源控制帶來更好系統吞吐量由於 spatial diversity 增加，然而圖(f4)N-base 電源控制演算法在 multi-hop 下比較差，spatial reuse 在 multi-hop 無法發揮。根據這個觀察現象，我們採用 N-base 在多通道多媒介下。圖表(f2)、圖(f3)為理論值和模擬結果驗證。



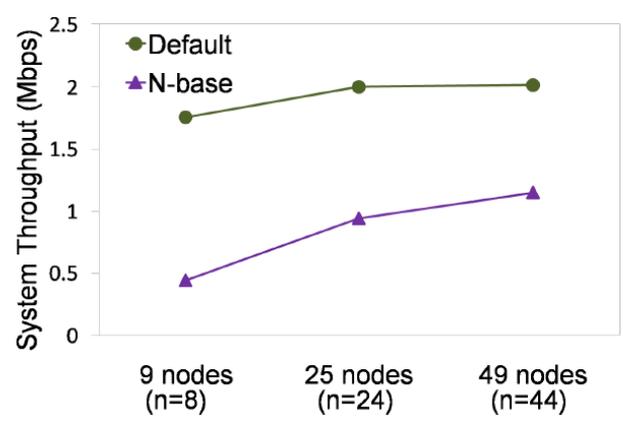
圖(f1)



圖(f2)



圖(f3)

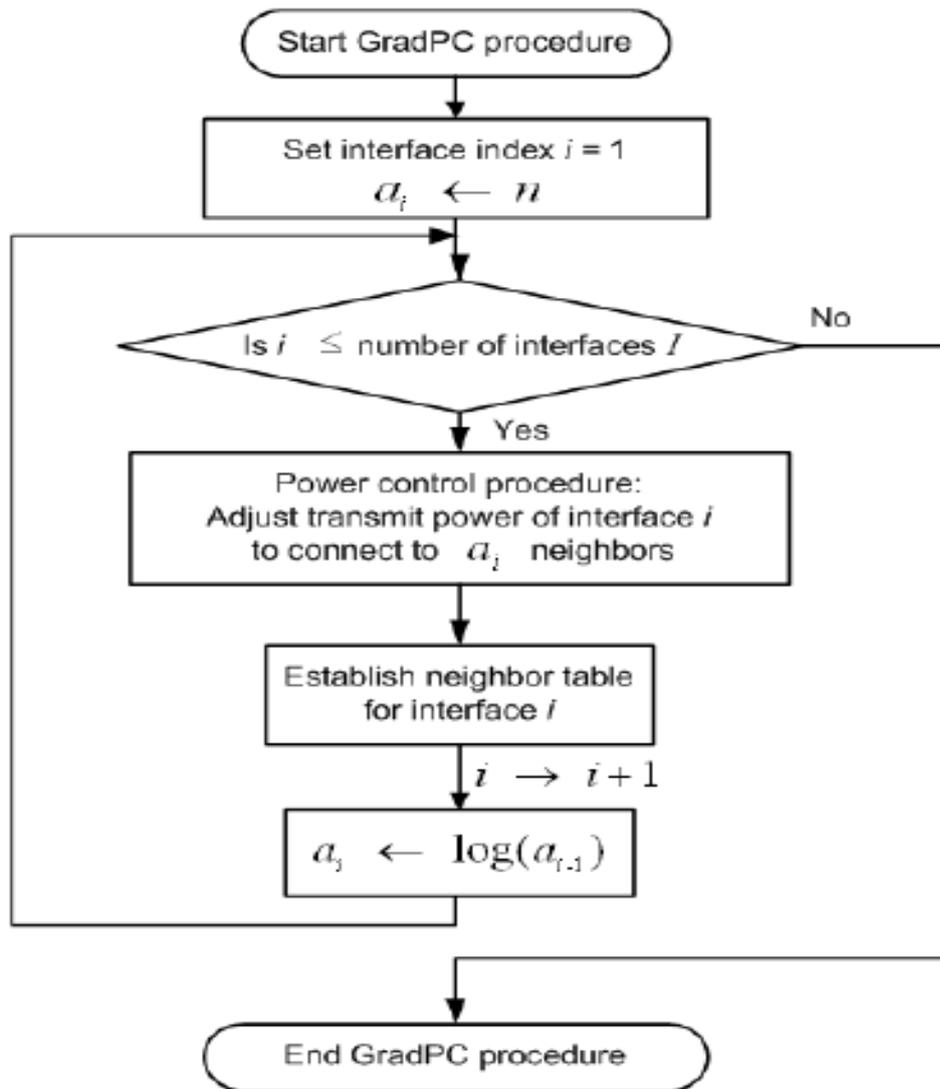


圖(f4)

### E. Multi-Channel Multi-Radio Grid Network (多通道多媒介 grid 網路)

在本節我們考慮一個 grid 網路，各節點配置  $I$  個無線電媒介，各媒介運行在  $C$  個正交通道。為了增加系統效在 multi-hop 通訊，我們在此提出 GradPC 架構。

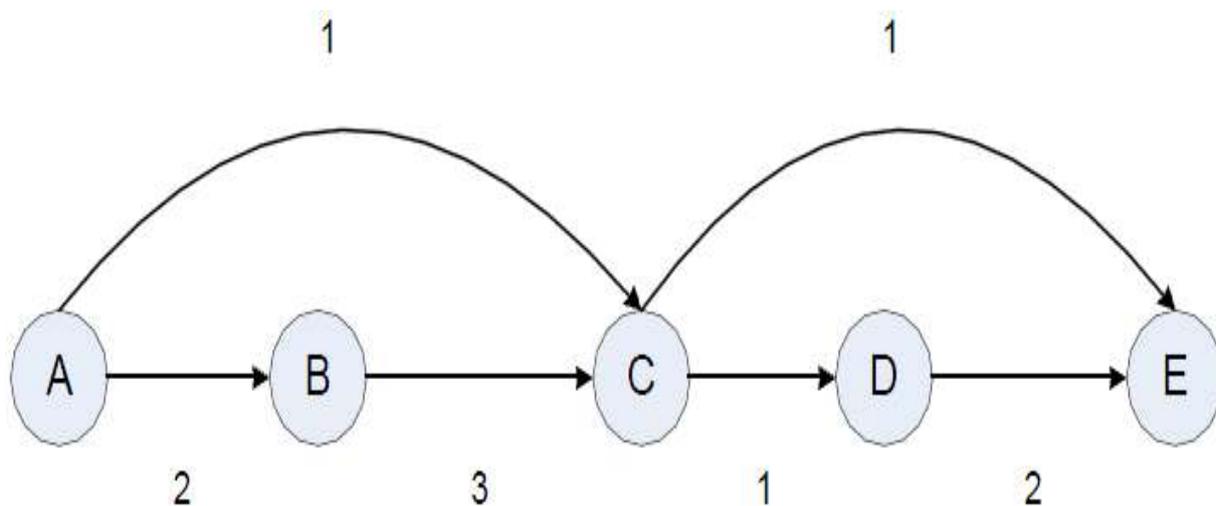
在 GradPC 演算法，基本通道為預設的功率(沒有電源控制在此媒介)，透過這媒介找到路徑通常比較短，而且網路連接度比其他做電源控制較高。定義 Neighbor Table(set)  $N_{base}$  為基本通道所建立。 $n$  為  $N_{base}$  附近節點數目，參數  $n$  可藉由 HELLO MESSAGE 得知。圖(g)為整個 GradPC 程序的流程圖。



圖(g)

定義  $P_i^i$  為無線  $i$  調整過的功率。當要調整電源時，我們根據 ns-2 設定把功率從 1mW 到 100mW，因此，電源調整的單位為 10mW 一個單位。演算法(j1)，演算法(j2)是描述媒介調整功率。

Default DSR 可以適合 GradPC 在 single channel，然而在 multi-channel 卻不適合，因為在 multi-channel 選擇到路徑不一定是最短的，較長路徑能夠提供更多 spatial diversity(多樣分散)，圖(h)解釋為什麼要選擇較長路徑。



圖(h)

路徑 A-C-E 需要 3 個節點，但路徑 A-B-C-D-E 使用不同通道進行傳輸，所它反而能夠提供更高 end-to-end throughput，雖然它需要 5 個節點，相對於 Default DSR 選擇最短徑，GradPC 選到的不一定是最短路徑，因為長的路徑也許能提供更多 spatial reuse。因此在本篇報告，我們提出了一個新的 MDSR 演算法基於 DSR 改變而成。

在 DSR 演算法，當一個傳送端要傳送封包到接收端，如果在傳送端沒有路徑在 route cache 裡，傳送端會廣播 ROUTE REQUEST(RREQ)封包到附近節點，收到

RREQ 的節點，如果不是接收端，將會把自己的標記在 route record 裡，然後再廣 ROUTE REQUESE(RREQ)，直到接收端收到 RREQ，會回傳 ROUTE REPLY(RREP)到傳送端告知路徑。為了增加 channel diversity 路徑，我們修改了 RREQ 和 RREP 格式如表(i)，ChanRecord 代表路徑上使用過的頻道。定義  $CH_{pre\_hop}$  是前一個節點。在我們的 MDSR，傳算端會廣撥 RREQ 和 RREQM，附近節點接收到後，執行演算法(k)，如果不是接收端，加入在 route record，在廣撥 RREQ 和 RREQM，直到找到接收端，回送 RREP 和 RREPM。所以傳送端會得到兩條的路徑。一條是具有 channel diversity 的路徑，另一條是最短路徑。選擇其中之一條路徑傳送資料。

#### STRUCTURE OF THE RREQM MESSAGES

Field	Initial value	Meanings
seqNum	seq.number at S	Sequence number
srcAddr	S	The source address
dstAddr	D	The destination address
hopCount	1	The number of hops
pathRecord	{S}	The list of node records on the path
chanRecord	{ $Chan_{id}$ }	The list of channel used on the path

#### STRUCTURE OF THE RREPM MESSAGES

Field	Meanings
seqNum	Sequence number
hopCount	The number of hops
pathRecord	The list of node records on the path
chanRecord	The list of channel used on the path

表(i)

---

**Algorithm** Establish neighbor table using base channel: estimation of parameter  $n$

---

```
1:  $P_t \leftarrow P_{tr}$  // set default transmit power
2:  $n \leftarrow 0$ 
3: Send message(HELLO) periodically over base channel using transmit power  $P_t$ 
4: while (HELLO received) and (!Timeout) do
5:   Add node's ID to neighbor table  $N_{base}$ 
6:    $n \leftarrow n + 1$ 
7: end while
```

---

### 演算法(j1)

---

**Algorithm** GradPC procedure: power adaptation N-base policy for respective radio interface at each node

---

```
1:  $I \leftarrow$  Number of interfaces
2:  $i \leftarrow 1$  // interface index
3:  $a_1 \leftarrow n$  //  $n$  obtained from Algorithm 1
4: while  $i \leq I$  do
5:    $P_t^i \leftarrow P(a_i)$  // power adjustment function for radio  $i$  to connect to  $a_i$  neighbors
6:   if  $a_i \geq e$  then
7:      $i = i + 1$ 
8:      $a_i \leftarrow \lceil \log(a_{i-1}) \rceil$ 
9:   else
10:     $i = i + 1$ 
11:     $a_i \leftarrow a_{i-1}$ 
12:   end if
13: end while
```

---

### 演算法(j2)

---

**Algorithm** Executed when any node receives a route request packet

---

```
1: if (SeqNum, SrcAddr) is found in node's list then
2:   discard it and exit
3: end if
4: if dstAddr matches the node's address then
5:   send (RREP or RREPM) // a copy of this route in route reply packet
6:   exit
7: end if
8:  $i \leftarrow f_I(\text{Channel}_{pre\_hop} - 1)$  //  $f_I$  is circulation function
9:  $\text{hopCount} \leftarrow \text{hopCount} + 1$ 
10:  $\text{PathRecord} \leftarrow \text{PathRecord} \cup \{S\}$ 
11: if RREQ then
12:   send RREQ by base channel
13: end if
14: send RREQM by channel  $i$ 
```

---

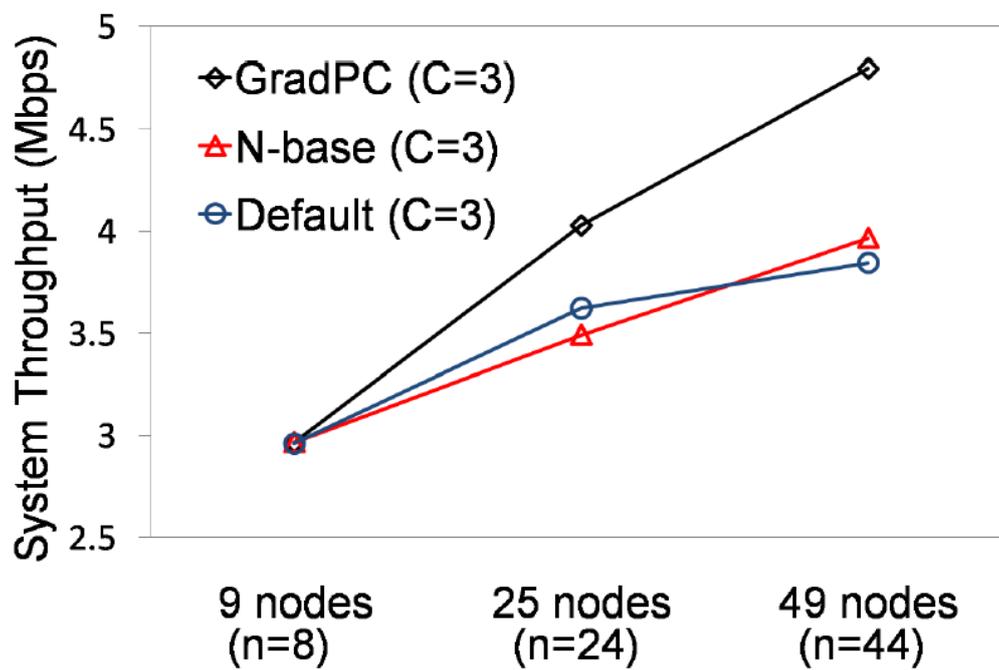
### 演算法(k)

## 五、模擬結果

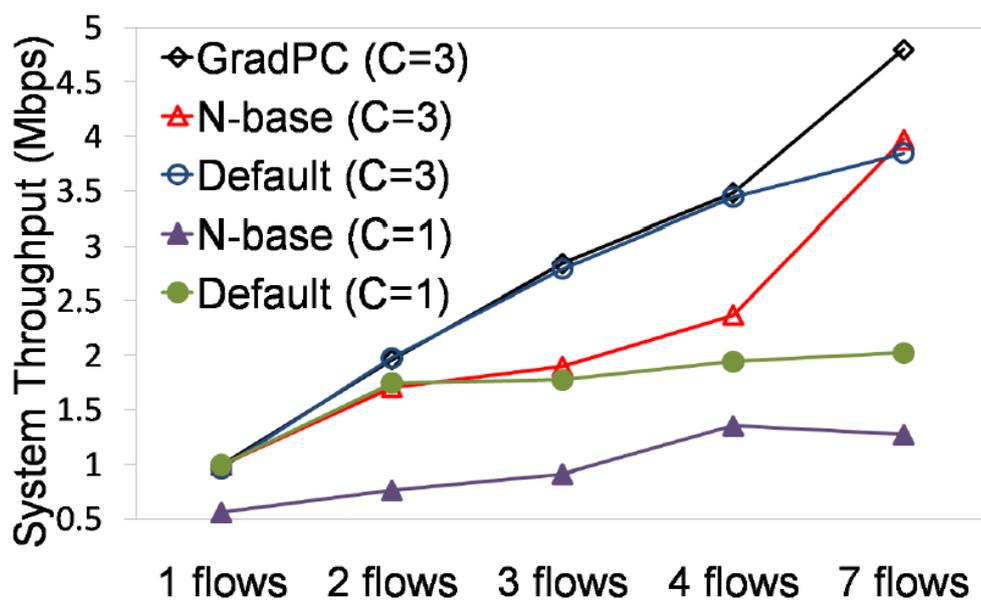
在這個章節，我們修改 ns-2，因為在原本的 ns-2 沒有支援 multi-channel multi-radio 環境。我們使用 3 個正交的 channel 在 IEEE802.11b，並且在每個節點加上 3 個媒介。同樣 ns-2 參數表(d)和網路環境圖(e1)、圖(e2)在 multi-channel multi-radio 環境。我們觀察到 multi-hop flows 圖(e2)：GradPC、N-base、Default 在 3 個媒介配置正交頻率。Default 意指使用預設的功率在 3 個媒介上，N-base 是 3 個媒介使用同樣功率連接到  $\log(n)$  鄰居，但是在原本的 DSR routing protocol 不適合在 multi-channel multi-interface 環境，為了求得公平模擬數據結果，我們採用 MDSR 為 Default 和 N-base 路由演算法。

圖(L1)是 multi-hop traffic flows 的系統吞吐量，我們觀察到 GradPC 在壅塞網路表現最佳。為了更清楚解釋在 multi-hop traffic 表現，統計一個數據圖(L2)為 multi-hop flows 增加影響到系統吞吐量，從這個數據圖表，當  $C=1$ (通道數目)，沒有功率控制在 multi-hop traffic 表現比較好，當  $C=3$  時(multi-hop 環境)，N-base 並沒有一直比 Default 差。假設網路環境非常壅塞，N-base 會比 Default 還好。根據這個觀察到現象，我們必需要同時考慮路徑長短和媒介使用率，我們的 GradPC 在各項目都是表現最好的。

考慮 GradPC 選擇到兩條路徑，RREP 選擇到 Route A、RREPm 則是 Route B。表(m)為 Route A 和 Route B hop count 資訊，雖然 Route B hop count 數目比 Route A 多，但由於考慮到 channel diversity，所以 end-to-end throughput 比較好。表(n)是 3 個方法 GradPC、Default、N-base 的 hop count 資訊，GradPC 使用較長的路徑，因考慮到 channel diversity，所以比其他的演算法表現更好。



圖(L1)



圖(L2)

TWO ROUTE HOPE HOP COUNT IN A 49-NODE GRID NETWORK

	Route A	Route B
Total hops	14	28
Avg. end-to-end throughput	3.932Mbps	4.821

表(m)

HOP COUNT STATISTICS IN A 49-NODE GRID NETWORK

	GradPC	N-base	Default
Total hops	28	42	14
Avg. hops	4	6	2

表(n)

## 六、系統實作

為了實作多通道環境，我們採用一般的桌上型電腦，並安裝多張無線網路界面卡(PCI 介面和 PCMCIA 介面，採用 Atheros 晶片組，皆支援 802.11 b/g)，Atheros 有公開 Linux 驅動程式原始碼，因此我們可以自由修改驅動程式。由於目前的作業系統對於多通道、多介面卡的配置大部分支援度都很差，我們這裡採用 Linux 作業系統，並且修改無線網卡的驅動程式(madwifi, Multiband Atheros Driver for Wireless Fidelity)以及 Linux 系統核心的部份，使其運作方式與我們計畫所研究的運作方式相符。在量測部份，我們使用 Linux 上的測量網路效能之軟體(如：Netperf、Ttcp)，路由則是參考標準的 DSR 程式，再修改成與計畫研究相符的模式。



圖(o1) 無線網路界面卡，左:PCI 介面，右:PCMCIA 介面及轉接卡

在進行這個計畫的實作前，我們先在室內進行小規模的測試，我們首先使用 3、5、7 台電腦來測量單一 flow 的網路效能，所有無線網路界面卡皆切換到 adhoc 模式，並且利用 routing protocol 來建立一個鍊狀的連線，再使用測量網路效能的軟體來得到整體網路效能。



圖(o2) 實測環境

```
[root@localhost ~]# route -n
Kernel IP routing table
Destination      Gateway
192.168.2.3      0.0.0.0
192.168.2.5      0.0.0.0
```



```
[root@localhost ~]# route -n
Kernel IP routing table
Destination      Gateway
192.168.2.5      192.168.2.4
192.168.2.4      0.0.0.0
```

```
[root@localhost ~]# route -n
Kernel IP routing table
Destination      Gateway
192.168.2.3      192.168.2.4
192.168.2.4      0.0.0.0
```

圖(o3) 鍊狀網路拓樸之路由示意圖

```

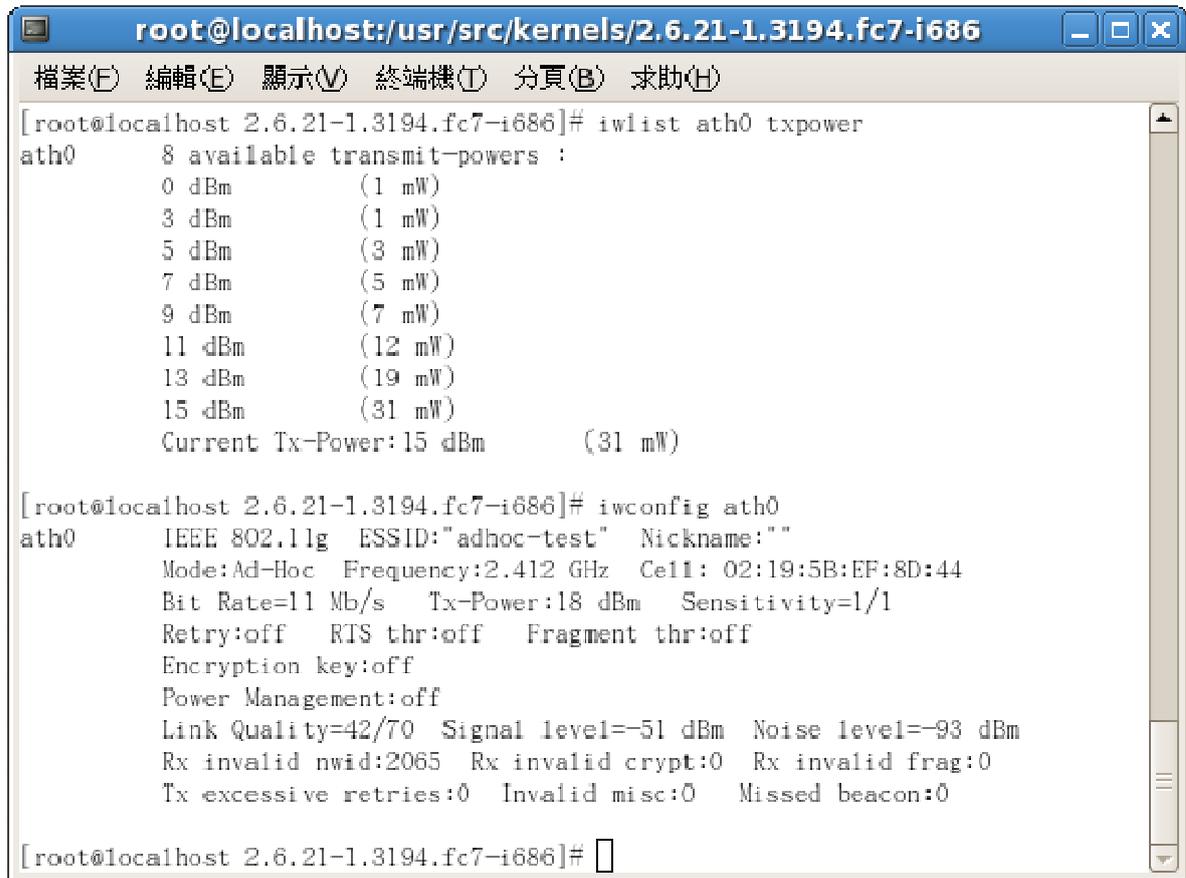
root@localhost:/usr/src/kernels/2.6.21-1.3194.fc7-i686
檔案(F) 編輯(E) 顯示(V) 終端機(T) 分頁(B) 求助(H)
send_tcp_stream: send_socket obtained...
recv_response: received a 256 byte response
remote listen done.
About to start a timer for 10 seconds.
netperf: caught SIGINT
[root@localhost 2.6.21-1.3194.fc7-i686]# netperf -H 192.168.0.5 -D
TCP STREAM TEST from 0.0.0.0 (0.0.0.0) port 0 AF_INET to 192.168.0.5 (192.168.0.5) port 0 AF_INET : demo
Interim result: 27.47 10^6bits/s over 1.33 seconds
Interim result: 22.83 10^6bits/s over 1.20 seconds
Interim result: 25.76 10^6bits/s over 1.05 seconds
Interim result: 24.29 10^6bits/s over 1.06 seconds
Interim result: 24.26 10^6bits/s over 1.05 seconds
Interim result: 26.78 10^6bits/s over 1.06 seconds
Interim result: 23.33 10^6bits/s over 1.15 seconds
Interim result: 21.33 10^6bits/s over 1.09 seconds
Recv  Send  Send
Socket Socket Message Elapsed
Size Size Size Time Throughput
bytes bytes bytes secs. 10^6bits/sec

87380 16384 16384 10.08 23.86
[root@localhost 2.6.21-1.3194.fc7-i686]#
  
```

圖(o4) 網路效能測量結果

為了維持我們想要的網路拓樸，我們還有額外設定防火牆規則，如此一來我們可以自行控制電腦建立連線之後的整體網路拓樸。從上面的示意圖可以看出，電腦3必需要經由電腦4才可以連到電腦5，沒有辦法建立3到5的直接連線。建立整個網路拓樸之後，再開始測量整個網路的效能。經由該實驗，我們可以順

利得到兩台電腦間的網路效能，接下來開始規劃實作此計畫所研究的規模。此外，我們可以透過驅動程式直接對無線網路介面卡設定其傳送功率，針對不同的網卡，設定不同的傳送功率，如此就可以得到我們想要的漸進功率控制(GradPC)。



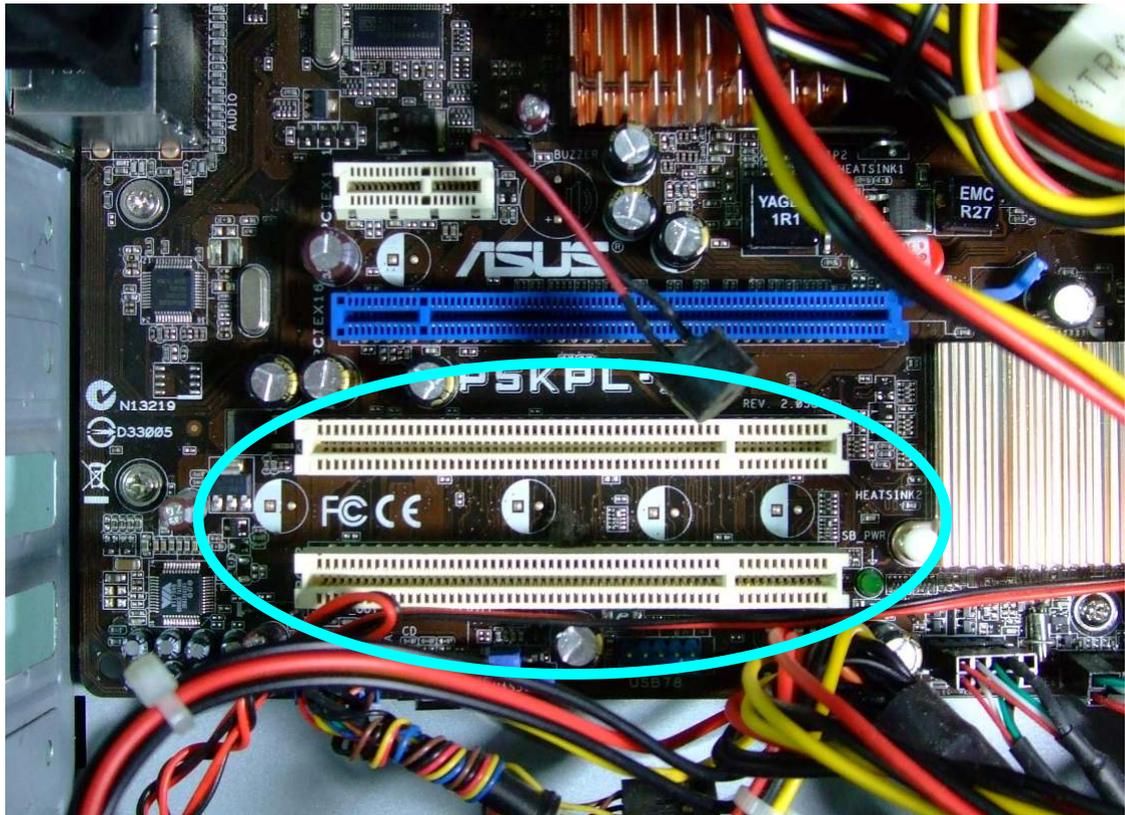
```
root@localhost:/usr/src/kernels/2.6.21-1.3194.fc7-i686
檔案(F) 編輯(E) 顯示(V) 終端機(T) 分頁(B) 求助(H)
[root@localhost 2.6.21-1.3194.fc7-i686]# iwlist ath0 txpower
ath0      8 available transmit-powers :
          0 dBm      (1 mW)
          3 dBm      (1 mW)
          5 dBm      (3 mW)
          7 dBm      (5 mW)
          9 dBm      (7 mW)
          11 dBm     (12 mW)
          13 dBm     (19 mW)
          15 dBm     (31 mW)
          Current Tx-Power: 15 dBm      (31 mW)

[root@localhost 2.6.21-1.3194.fc7-i686]# iwconfig ath0
ath0      IEEE 802.11g  ESSID:"adhoc-test"  Nickname:""
          Mode:Ad-Hoc  Frequency:2.412 GHz  Cell: 02:19:5B:EF:8D:44
          Bit Rate=11 Mb/s  Tx-Power:18 dBm  Sensitivity=1/1
          Retry:off  RTS thr:off  Fragment thr:off
          Encryption key:off
          Power Management:off
          Link Quality=42/70  Signal level=-51 dBm  Noise level=-93 dBm
          Rx invalid nwid:2065  Rx invalid crypt:0  Rx invalid frag:0
          Tx excessive retries:0  Invalid misc:0  Missed beacon:0

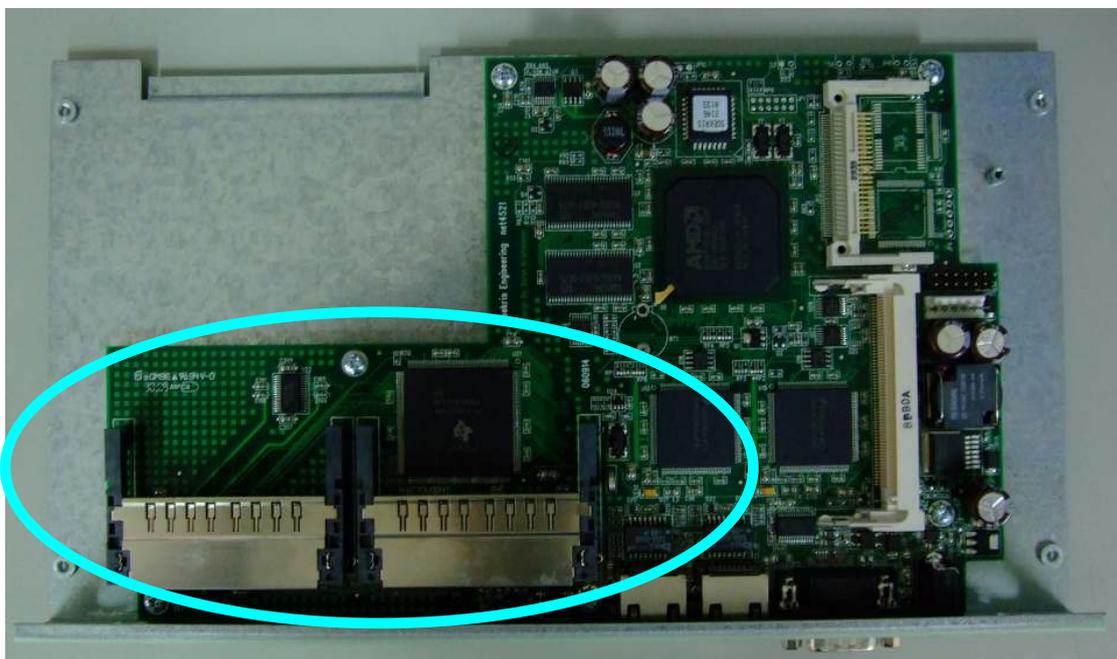
[root@localhost 2.6.21-1.3194.fc7-i686]#
```

圖(o5) 傳送功率

先前的模擬環境，我們在 node 數最少的環境(3x3，共 9 node)使用了 25 個 node，在 node 數最多(7x7，共 49 node)的環境中使用多達 81 個 node。這是因為我們要让靠近邊緣的 node 與接近中心位置的 node 有相同的環境，因此在最外圍的地方再額外配置一排 node。可是在我們的實作中，我們現階段無法一次使用如此大量的電腦，在尋找適當的場地(220mx220m)時也遇到一點困難，再加上一般桌上型電腦由於體積較大，在配置時所需線材也較多，因此較不適合大量部屬。於是我們研究使用較小的裝置，如：筆電、迷你型主機、嵌入式系統…等。其優點是尺寸較小、重量輕，適合大量部屬，也可以放在天花板上。可是缺點是這些裝置的擴充槽較少，我們最多只能使用兩張無線網路介面卡，無法跟模擬環境(3 張無線網路介面卡)相符。



圖(o6) 迷你型主機只有兩個 PCI 插槽



圖(o7) 嵌入式板子只有兩個 PCMCIA 插槽

考量到電腦的硬體限制，我們未來規劃去修改我們的演算法，使該演算法在無線網路介面卡數量較少時，也可以達到一樣的效果。

## 七、計畫成果與自評

在本篇的報告，我們研究了 power 和 channel 參數變化的影響，並且提出 GradPC 演算法處理 route 和 channel selection 的問題。採用 N-base protocol 為我們調整功率規則，然而可能有其他更適合的方法可以取代 N-base protocol。並且使用多張媒介卡片在實際上成本費用高，在行動裝置上是很困難配置的，因此，如何使用 GradPC 在單一個媒介在不同的通道是未來努力的目標。模擬結果顯示出 GradPC 比其他演算法表現更好，除了減少功率降低干擾因素，考慮 route 和 channel，GradPC 能夠帶來更短 route 和更好 spatial diversity。

## 八、參考文獻

- [1] A. Akella, G. Judd, S. Seshan, and P. Steenkiste. Self Management in Chaotic Wireless Deployments. In *Proc. ACM MobiCom*, 2005.
- [2] D. M. Blough, M. Leoncini, G. Resta, and P. Santi. Topology Control with Better Radio Models: Implications for Energy and Multi-hop Interference. In *Proc. ACM MSWiM*, 2005.
- [3] D. M. Blough, M. Leoncini, G. Resta, and P. Santi. The k-Neighbors Approach to Interference Bounded and Symmetric Topology Control in Ad Hoc Networks. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 5(9):1267–1282, 2006.
- [4] B. Bollob'as. *Random Graphs*. Academic Press, Orlando, FL, 1985.
- [5] M. Burkhart, P. Rickenbach, R. Wattenhofer, and A. Zollinger. Does Topology Control Reduce Interference? In *Proc. ACM MobiHoc*, 2004.
- [6] F. Cali, M. Conti, and E. Gregori. Dynamic Tuning of the IEEE 802.11 Protocol to Achieve a Theoretical Throughput Limit. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 8(6):785–799, December 2000.
- [7] J. del Prado Pavon and S. Choi. Link Adaptation Strategy for IEEE 802.11 WLAN via Received Signal Strength Measurement. In *Proc. IEEE ICC*, 2003.

- [8] X. Guo, S. Roy, and W. S. Conner. Spatial Reuse in Wireless Ad-hoc Networks. In *Proc. IEEE VTC*, 2003.
- [9] P. Gupta and P. R. Kumar. Critical Power for Asymptotic Connectivity in Wireless Networks. *Stochastic Analysis, Control, Optimization and Applications*, 1998.
- [10] P. Gupta and P. R. Kumar. The Capacity of Wireless Networks. *IEEE Transactions on Information Theory*, 46(2), March, 2000.
- [11] E. S. Jung and N. H. Vaidya. A Power Control MAC Protocol for Ad Hoc Networks. In *Proc. ACM MobiCom*, 2002..
- [12] J T.-S. Kim, H. Lim, and J. C. Hou. Improving Spatial Reuse through Tuning Transmit Power, Carrier Sense Threshold, and Data Rate in Multihop Wireless Networks. In *Proc. ACM MobiCom*, September 2006.
- [13] P. Kyasanur and N. H. Vaidya. Routing and Interface Assignment in Multi-channel Multi-interface Wireless Networks. In *Proc. IEEE WCNC*, March 2005.
- [14] J. Li, C. Blake, D. S. J. De Couto, H. I. Lee, and R. Morris. Capacity of Ad Hoc Wireless Networks. In *Proc. ACM MobiCom*, July 2001.
- [15] N. Li and J. C. Hou. Topology Control in Heterogeneous Wireless Networks: Problems and Solutions. In *Proc. IEEE INFOCOM*, 2004.
- [16] T.-Y. Lin and J. C. Hou. Interplay of Spatial Reuse and SINR-determined Data Rates in CSMA/CA-based, Multi-hop, Multi-rate Wireless Networks. In *Proc. IEEE INFOCOM*, 2007.
- [17] J. P. Monks, V. Bharghavan, and W. W. Hwu. A Power Controlled Multiple Access Protocol for Wireless Packet Networks. In *Proc. IEEE INFOCOM*, 2001.
- [18] A. Muqattash and M. Krunz. Power Controlled Dual Channel (PCDC) Medium Access Protocol for Wireless Ad Hoc Networks. In *Proc. IEEE INFOCOM*, 2003.
- [19] A. Muqattash and M. Krunz. A Single-channel Solution for Transmission Power Control in Wireless Ad Hoc Networks. In *Proc. ACM MobiHoc*, May 2004.
- [20] P. C. Ng and S. C. Liew. Throughput analysis of IEEE802.11 multi-hop ad hoc networks. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 15(2), April, 2007.

- [21] R. Ramanathan and R. Rosales-Hain. Topology Control of Multihop Wireless Networks using Transmit Power Adjustment. In *Proc. IEEE INFOCOM*, 2000..
- [22] P. Santi. Topology Control in Wireless Ad Hoc and Sensor Networks. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 37(2):164–194, June, 2005.
- [23] Y.-C. Tseng, S.-L. Wu, C.-Y. Lin, and J.-P. Sheu. A Multi-channel MAC Protocol with Power Control for Multi-hop Mobile Ad Hoc Networks. In *Proc. IEEE Int'l Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS)*, pages 419–424, 2001.
- [24] F. Xue and P. R. Kumar. The Number of Neighbors Needed for Connectivity of Wireless Networks. *Wireless Networks*, 10:169–181, 2004.
- [25] X. Yang and N. Vaidya. On Physical Carrier Sensing in Wireless Ad Hoc Networks. In *Proc. IEEE INFOCOM*, April 2006.