

利用協同傳輸設計有效多重速率媒體存取控制協定

陳柏岳

逢甲大學
資訊工程學系

江庭輝

逢甲大學
資訊工程學系

邱清鴻

逢甲大學
資訊處

陳青文

逢甲大學
資訊工程學系

afa0728@gmail.com jerry43082001@gmail.com qhqin@fcu.edu.tw chingwen@fcu.edu.tw

摘要

多重速率的無線網路行動節點會因為環境或是傳輸成功率等因子選擇不同的傳輸速率進行資料傳輸，然而由於低速傳輸對佔用通道的時間較長會導致整體網路效能趨近於低速的情況，雖然透過公平性的方式可以讓高速與低速的傳輸對佔用相同的通道時間，然而這樣的調整會讓低速的傳輸對更不容易取得通道的使用權，因此，當一條多跳躍路徑中一旦存在低速傳輸的連結，則整條路徑的傳輸效率也會受到很大的影響。因此，本論文針對這個問題，提出了利用協同傳輸的機制，我們結合了轉傳機制與虛擬多重天線的觀念，利用鄰近節點的輔助讓節點的傳輸速率增加。傳送端會先搜尋可以高速轉傳的鄰近節點，將封包以高速轉傳給接收端。若沒有可使用的轉傳節點，則使用虛擬多重天線的機制，讓鄰近的節點共同發送同步訊號以增大傳輸功率以提升傳輸效能。我們分析了不同情況發生的機率，同時針對協同傳輸可能造成的碰撞問題，也提出了改進的方法。根據模擬的結果，我們的方法可以大幅減少低速傳輸對所佔的比例，並因而縮減路徑上點對點的傳輸延遲。而整體網路的效能也因為低速傳輸對的減少而提升。

關鍵詞：多重資料傳輸速率、公平性、多重跳躍路徑輸出量、協同傳輸

1. 介紹

無線網路是由一群行動節點所組成的分散式網路系統，例如筆電或是個人數位助理所組成。在此種網路中，不需要基礎建設也無集中式管理，節點間能彼此通訊或協助轉傳封包。

無線隨意網路裡通常使用 IEEE 802.11 a/b/g/n 等傳輸協定，速率會隨著接收訊號的強度而有所不同。最早多重傳輸速率選擇的方法為 ARF(auto rate fallback)[1]，ARF 依據連續傳輸成功與否來做為提高或降低傳輸速率的依據。後來有人提出 RBAR(receiver based auto rate)[2]演算法，它是利用接收端收到 RTS 的訊號雜訊比值 SNR(Signal to Noise Rate)來測量通道狀況，再由接收端選擇適當的速率並告知傳送端。當通道雜訊變大或是訊號強度下降時，接收端收到的訊號雜訊比值也會跟著下降，此時傳送端就只能使用較低的傳輸速率，以克服訊號強度太小、或通道雜訊偏高所帶來的影響。

節點傳輸資料前，必須先與週遭節點競爭通道，競爭到通道才能傳輸資料。當競爭通道的機會

是相同時，使用低速傳輸的節點佔用通道時間長，造成通道大多處於低速傳輸的狀態，因而導致網路吞吐量下降。

在過去研究中，為了避免低速傳輸節點佔用通道時間過長，提出了公平性的議題[3]。主要的方向就是調整各個不同傳輸速率的節點的機會，讓使用通道的機率與佔用時間成反比以達到公平[4]，然而在這樣的條件下卻造成低速傳輸的節點效能變的更差，甚至有可能造成低速傳輸的節點因為優先權太低更不容易傳輸資料。

而在多重跳躍網路的環境下，傳送端到接收端的傳輸路徑即使大部分節點都是高速傳輸，只要其中有一節點以低速傳輸，封包的傳輸延遲時間就會受到低速節點的影響而拉長。如果降低了這個節點的傳輸機會，則此節點不但會更難取得通道使用權，對整條路徑傳輸延遲的影響更為嚴重。

因此在媒體傳輸層使用公平調節的方法只是讓各個資料傳輸速率的節點使用通道的時間期望值相同，但並未真正去改善低速節點的傳輸速率。而且對整條傳輸路徑而言，低速傳輸節點的存在會造成傳輸延遲時間變長。因此我們提出協同傳輸的方法，來改善低速傳輸節點在網路中所佔的比例，當傳送端無法以高速傳輸資料時就會透過中繼節點轉傳，讓封包以高速轉傳給接收端。如果傳送端與接收端間不存在中繼節點，則使用數個節點同步發送訊號以加大訊號功率，如此一來傳送端就能以高速傳輸將封包傳送給接收端。我們所提的方法能有效的減少網路中以低速傳輸封包的節點數量，以避免在路徑裡由低速傳輸節點所造成的傳輸延遲，同時能改善整體網路的效能。

2. 相關研究

2.1 多重速率選擇改善效能之相關研究

過去對於傳輸速率的選擇方法最早提出的是 ARF (auto rate fallback) [1] 演算法，ARF 根據連續訊號的傳輸成功與否來當成提高或降低傳輸速率的依據。在文獻 [5-6] 則是對 ARF 提出改進的版本，這些演算法都是從傳送端來選擇傳輸的速率。而 RBAR (receiver based auto rate) [2] 則利用收到的 RTS 訊號來測量通道的狀況，由接收端選擇適當的速率並且通知傳送端。上述的演算法主要都是透過調整資料傳輸訊號的速率之研究，而 FAR [7] 則是嘗試調整控制訊號的速率來提升整體效能。

2.2 調整佔用通道時間分配之相關研究

公平性問題 (fairness problem) [3] 在 2003 年由 Heusse 等人提出，作者發現在同一個網路環境中，若有多種不同的傳輸速率，則整體的效能會趨近於較低傳輸速率所帶來的效能。這是因為傳輸速率較低的節點佔用通道的時間較長，因而造成一種不公平的情況，使得整體的效能降低。為了解決公平性的問題，Saito 等人在 [8] 嘗試利用分配較小的 Backoff Time 給擁有較高傳輸速率的節點，以緩和不公平的情況。Qiao 與 Shin 提出 PMAC (priority-based fair MAC) [9] 使用權重的公平機制希望最佳化通道的使用率。在 [10]，作者提出的演算法則是讓每個基地台去選用相近的 contention window，如此一來就可以公平的分配通道佔有時間，並且將吞吐量提升到最大。

2.3 協同通訊技術之相關研究

無線電頻譜的限制以及通道的減損為無線通訊設計的兩大挑戰。雖然 MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) 的天線系統可以分別透過多路傳輸 (Multiplexing) 以及分集增益 (Diversity Gain) 來改善無線通訊的通道容量及可靠度，但是要讓一個小型的行動終端裝載多天線設備是很困難的。另一種替代方案則是採用協同通訊 (Cooperative Communication) 的技術 [11-13]，藉由讓行動節點間分享其資訊並且協同傳輸則如同虛擬天線陣列 (Virtual Antenna Array)。因此，行動節點則能夠不必裝載天線而亦能夠達到分集所帶來的好處。協同通訊的主要優點為：1) 在時變性通道上能夠增加通訊的可靠度；2) 增加資料傳輸速率與降低通訊延遲；3) 減少傳輸功率、降低干擾發生的機率以及改善空間頻譜重用度；4) 增大傳輸範圍以及延展網路覆蓋率。

大部份現存的協同通訊的研究大多都是在於實體層或是媒體存取層的研究，鮮少考慮到網路傳輸層以及橫跨網路傳輸層與媒體存取層的跨層協定設計。在實體層中主要的研究在於如何有效的避免干擾而同時又能夠提高分集增益。而在媒體存取控制層則在於如何讓協同通訊的訊框能夠正確無誤的被發送同時又能夠選擇一個好的協同轉傳節點 (Cooperative Relay Node) 進行協同通訊。

3. 協同傳輸機制

為了解決多重速率下效能降低的問題，我們使用協同傳輸的做法來減少低速傳輸的連結數量。以下分為兩種情況來討論，一、在傳送端附近找到可高速轉傳的鄰居節點；二、當找不到可轉傳的節點時，利用虛擬多節點傳輸單一訊號機制 VMISO (Virtual Multiple-Input-Single-Output Transmission) 來提高傳輸資料的速率。在介紹我們的方法之前，我們先分析傳輸速率與傳輸範圍的關係。

3.1 範圍分析

在這裡我們套用實際的數值來作說明。雖然節

點發送功率或天線增益不同時，能夠傳輸的距離也會不同，但也是按照一定的比例作增減。我們設定當節點 1Mbps 的傳輸範圍為 200 公尺，那其餘資料傳輸速率相對的傳送距離則分別為 119 公尺 (2Mbps)、71 公尺 (5.5Mbps)、63 公尺 (11Mbps)。當傳輸距離大於 71 公尺時節點就只能以較低速率 (2Mbps、1Mbps) 來傳輸資料。此時傳輸將占用通道過久導致效能降低。當這種情況增多，則整體網路效能就會趨近於低速的速率。因此在本論文中我們採用兩種協同傳輸的來改善這個問題，分別為 1) Relay Transmission：傳送端找尋能幫忙以高速轉傳資料的鄰居節點，此節點我們稱為中繼節點，中繼節點再以高速傳輸將資料傳送給接收端。雖然經過一次轉傳，但實際上總傳輸時間是比較少的，而且也不會占用通道太多的時間。2) VMISO Transmission：傳送端會與鄰居節點同時發送資料以提升訊號強度，讓接收方收到的訊號強度能達到高速傳輸的門檻值，傳送端便可使用高速傳輸傳送資料。在這裡我們假設協同傳輸裡的同步機制是可以達成的，在過去研究裡 [14,15] 如何同步傳輸是另外一個研究的議題，我們不在這裡做進一步的討論。以下我們針對這兩種做法做詳細的描述。

1) Relay Transmission：當傳送端無法以高速 (11、5.5Mbps) 傳輸將資料傳送給接收端時，傳送端會找尋能幫忙以高速轉傳資料的中繼節點。此鄰居節點需位於傳送端與接收端高速傳輸範圍相交區域內。

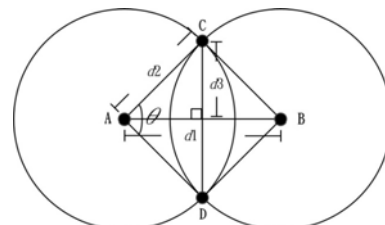


圖 1 高速傳輸速率涵蓋範圍相交圖

我們先分析在這相交範圍內存在一節點的機率。其計算方式如下，如圖 1 所示，假設空間中有節點 A 與節點 B，節點 A 與 B 位於高速傳輸的邊界外一點點而無法使用高速傳輸，此時兩者高速傳輸範圍的相交部分最大。以節點 A、B 為圓心並以 5.5Mbps 傳輸距離為半徑畫圓，其中假設 5.5Mbps 的傳輸距離為 d_2 。節點 A、B 間的距離可以透過測量訊號強度的方式得知，假設其距離為 d_1 。兩圓相交點為點 C、D，點 C 到以節點 A、B 為直線的距

離為 d_3 ，因此 $d_3 = \sqrt{d_2^2 - \left(\frac{d_1}{2}\right)^2}$ 。接著計算出 $\angle CAB$ 所對應的扇形面積，首先求得 θ 角度，如公式 (1) 所示。利用 θ 算出 $\angle CAD$ 、 $\angle CBD$ 所對應的扇形面積，接著再扣除以 A、B、C、D 為頂點的菱形面積即可獲得兩圓相交的面積 $A_{\text{intersect}}$ ，如公式 (2) 所示。

$$\theta = 2 \times \cos^{-1} \frac{d_1}{2 \times d_2} \quad (1)$$

$$A_{intersect} = 2 \times d_2^2 \times \pi \times \frac{\theta}{360} - d_1 \times d_3 \quad (2)$$

在計算出傳送端與接收端間高速傳輸範圍相交面積後，乘上傳送端傳輸範圍內節點密度 D 即可得到該區域存在節點的個數，如公式(3)所示。

$$P = D \times A_{intersect} \quad (3)$$

透過 Matlab 來分析傳送端與接收端高速傳輸範圍內存在一中繼節點的可能情況。我們假設網路大小為 1000x1000 平方公尺、節點數量為 50~300 個、兩節點間的傳輸距離為 72 公尺到 141 公尺，分析出來的結果如圖 2 所示，從圖 2 中我們可以看出大多數的情形中繼節點存在機率都小於 1。

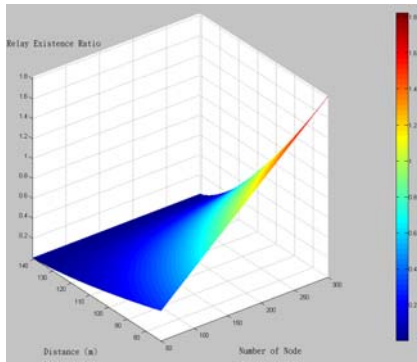


圖 2 中繼節點存在機率分析圖

根據上述分析的結果，我們可以發現使用 Relay Transmission 的方式並不容易在相交的範圍內找到中繼節點，如果相交的範圍不夠大，或是節點的密度不夠高，那可以幫助轉傳得中繼節點存在機會就很小。為了克服這一點，我們使用了以下的方法 VMISO Transmission 協同傳輸來解決這種沒有中繼節點可做轉傳的情況。

(2) VMISO Transmission: 當傳送端無法以高速傳輸資料給接收端，而中繼節點存在機率又小。此時我們可以透過虛擬 MISO (Multiple-Input-Single-Output) 的機制來提升接收訊號強度的 SNR 值。傳送方以鄰居節點做為虛擬天線，先將資料以高速傳送給鄰居節點，接著傳送端會與鄰居節點同時發送訊號，以提升接收訊號強度的 SNR 值，讓接收訊號 SNR 值達到高速傳輸門檻，而此協同傳輸方式我們稱之為 VMISO Transmission。

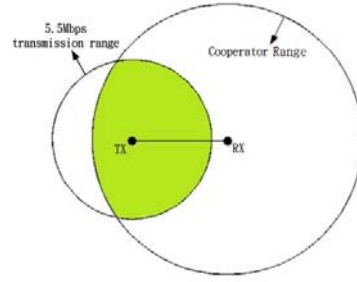


圖 3 Cooperator 位置示意圖

為了讓接收方訊號強度達到高速傳輸的門檻值，我們必須選擇可用的鄰居節點來做 VMISO 傳輸，此節點稱為 Cooperator。如在圖 3 中，傳送方 TX 想要傳送資料給接收方 RX。為了讓接收方 RX 的訊號強度達到高速傳輸的門檻，以接收方 RX 為中心我們可以畫出一個圓，在這圓範圍內的節點都可以增加接收端的訊號強度達到高速的門檻值，然而，此鄰居節點仍要在傳送端的高速範圍內，因此鄰居節點需位於傳送端的高速範圍與此圓的相交範圍內才是可用的鄰居節點，如圖 3 的綠色範圍所示。而此範圍的計算方式如下：首先鄰居節點可以利用偵測方式取得傳送端發送到接收端的 RTS 訊號強度 P_{T-R} 。經過計算，訊號強度 $(P_{5.5}) / \text{雜訊}$ (N_0) = 3.96，其中 N_0 為 1。將訊號強度 $P_{5.5}$ 帶入公式 (4)，我們可以計算出 Cooperator 在距離接收端 $d_{coop-5.5}$ 範圍內，都能將接收端的訊號功率提升到足夠以做高速傳輸 VMISO。因此，當鄰居節點與接收端間的距離小於 $d_{coop-5.5}$ 且在傳送端的高速傳輸範圍內就可以成為 Cooperator。

$$d_{coop-5.5} = \sqrt{\frac{P_t g_t g_r (\frac{\lambda}{4\pi})^2}{P_{5.5} - P_{T-R}}} \quad (4)$$

因此根據前述的例子，當兩節點距離為 85 公尺時，經過 Matlab 計算使用 VMISO 機制傳送方可以選擇的涵蓋範圍為 11928.0 平方公尺(如圖 3 所示之綠色面積的部分)。超過使用中繼節點的涵蓋面積 4532.4 平方公尺許多。因此使用 VMISO 的機會遠大於使用中繼節點轉傳。

然而，使用 VMISO 機制必須考慮可能增加的干擾範圍。由於使用 Cooperator 節點共同傳輸資料，則干擾範圍勢必會隨著訊號強度的加總而增大。因此需要估算干擾包含的面積來避免可能的碰撞情況發生。如圖 4 所示，我們假設傳送方 TX 座標為(0, 0)、傳送方與 Cooperator 之間的距離為 d ，因此 Cooperator 的座標為(- d , 0)。假設 P_t 表示發送端發送的訊號強度，若 P_r 為最遠的干擾範圍訊號強度，而 n 表示訊號衰退的係數，我們會得到公式(5)為干擾範圍坐標(x, y)的關係式，並將此式對 x 積分得到面積的公式(6)。其中 x' 與 x'' 為干擾範圍的邊界。可將 $y=0$ 帶入(5)求得。

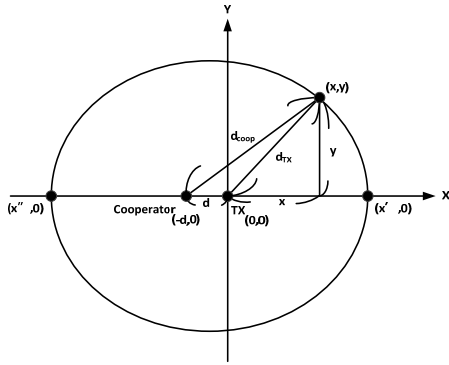


圖 4 VMISO Transmission 協同傳輸面積計算圖

$$P_r = P_t \left(\frac{\lambda}{4\pi r \sqrt{x^2 + y^2}} \right)^n g_t g_r + P_t \left(\frac{\lambda}{4\pi r \sqrt{(x+d)^2 + y^2}} \right)^n g_t g_r \quad (5)$$

$$Area = 2 \int_{-x}^x \sqrt{\frac{4\sqrt{\beta^2 P_t^2 + \beta P_{avg} P_t d^2 - P_{avg}^2 d^2 y^2 + P_{avg} d^2 - 4P_{avg} y^2 + 4\beta P_t}}{2} - \frac{d}{2}} dx \quad (6)$$

where $\beta = \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^n g_t g_r$, $n = 2$

3.2 避免碰撞的機制

透過上面的分析我們得知 VMISO 訊號傳輸範圍會超出 RTS、CTS 訊框傳輸範圍，所以當有一個在傳輸的節點位於 RTS、CTS 傳輸範圍外但卻位於 VMISO Transmission 影響範圍內時，就有可能發生訊號傳輸碰撞。為了避免這種情況，要作協同傳輸的傳送端鄰居節點會去監聽是否有節點正在傳送訊號，當鄰居節點監聽到傳送中的訊號時，鄰居節點便可以偵測自己收到傳送節點的訊號強度並以此判斷如果傳送中的節點接收到 VMISO 傳輸所發送的訊號是否會發生碰撞。鄰居節點可透過公式(5)可以得到傳送中的節點與鄰居節點間的距離 r ，但無法得知該節點的位置。因此我們在分析傳送端使用 VMISO 發送訊號是否會跟傳送中的節點發生碰撞時，我們便以最差情況 (worst case) 來分析，訊號強度隨著距離的增加而下降，因此當傳送中的節點離傳送端越近所受的影響也越大，所以當傳送中的節點最接近 RTS 訊框傳輸範圍時即為 worst case，如圖 5 中兩個 worst case 情況。接著我們便依據此 case 來做分析。

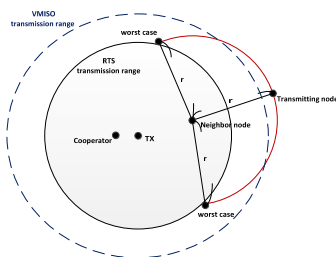


圖 4 VMISO Transmission 碰撞分析圖

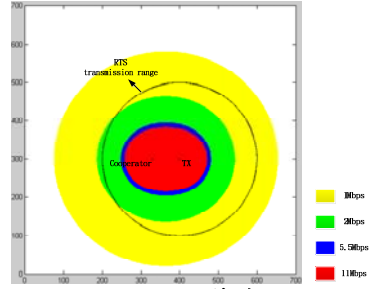


圖 5 VMISO 涵蓋範圍分析圖

當最差情況(worst case)發生時，也就是正在傳輸的節點位在 TX 節點的 RTS 範圍邊界上，然而由於這個位置已經在 TX 偵測範圍之外，因此根據 Matlab 的分析其收到的訊號強度最多只會從 1Mbps 增強到 2Mbps 的差異而已，如圖 6 所示。因此為了讓鄰居節點在可能發生碰撞時通知 TX 節點不可進行 VMISO，傳送的節點與正在接收的節點也必須將自己使用的傳輸速率、收到的強度與其雜訊值放入 Data 與 CTS 中。當鄰居節點監聽到傳送中的節點所發送的 RTS/CTS/Data 訊框時，透過計算來得知在最壞情況下即將進行的 VMISO 與目前的傳輸是否會發生碰撞。以下我們討論當可能的碰撞發生在傳送中節點的傳送端與接收端的兩種情況。

當可能發生的碰撞為傳送端時，發生碰撞的機會只有在傳送端接收 ACK 的時候。若是接收端，則發生碰撞則是在接收 Data 的時候。當透過接收 RTS 或是 CTS，鄰居節點可以知道可能發生的碰撞的節點為傳送端或接收端。若發生碰撞的點為傳送端時，由於 ACK 的傳送是透過低速方式進行，因此鄰居節點可以參考其收到的傳送端訊號的訊號強度、與其傳過來的收到的訊號強度與雜訊值來判斷該傳輸點的雜訊加上協同傳輸後可能增加的干擾訊號是否會發生碰撞。另外，若發生碰撞的點為接收端時，則鄰居節點根據其收到接收端的訊號強度，與其透過 CTS 傳過來的資料傳輸速率、收到的訊號強度與其雜訊值來判斷是否會發生碰撞。當碰撞可能發生時，鄰居節點在發出 Fail 封包通知欲進行 VMISO 的 TX 節點前，會計算自己若發送訊號該傳輸節點是否會造成碰撞，若不會，則發送訊號通知 TX 停止 VMISO 的動作。若會表示自己發出的訊號有可能亦會造成碰撞，則鄰居節點就不會通知。

3.3 協同傳輸方法

(1) Relay Transmission: 當傳送端欲傳送資料給接收端時，傳送端會先發送 RTS 訊框，接收端在收到 RTS 訊框後便會回傳 CTS 訊框，當 CTS 訊框的 SNR 值小於高速傳輸門檻值而且中繼節點存在機率大於等於 1 時，傳送端便會使用 Relay Transmission 協同傳輸方式。傳送端會先發送 RTR(Request To Relay)訊框尋找中繼節點，中繼節點在接收到訊框後便會回傳 CTR (Confirm To Relay) 告知傳送端，但為了避免多個中繼節點在回傳 CTR 訊框時發生碰撞，每個可用的中繼節點會先倒數一

段隨機時間，倒數完畢時才回傳 CTR，在找到第一個中繼節點後，其他節點就不再回傳 CTR。傳送端便會將資料以高速傳送給中繼節點，中繼節點再以高速傳送給接收端，如圖 7 所示。

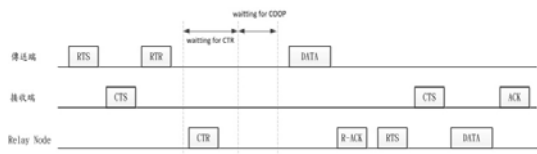


圖 6 Relay Transmission

(2) VMISO Transmission: 當傳送端欲傳送資料時，傳送端會先發送 RTS 訊框，接收端在收到 RTS 訊框後便會回傳 CTS 訊框，當 CTS 訊框的 SNR 值小於高速傳輸門檻值，且中繼節點存在機率小於 1 時，傳送端便會使用 VMISO Transmission 協同傳輸。傳送端會先發送 RTC (Request To Cooperative) 訊框尋找一鄰居節點做為 Cooperator，Cooperator 在接收到訊框後便會先等待鄰居節點回報是否會發生碰撞，接著再回傳 COOP (Cooperative) 訊框告知傳送端，但為了避免 Cooperator 在回傳 COOP 訊框時發生碰撞，Cooperator 會先倒數一段隨機時間，才回傳 COOP。然後傳送端以高速傳送資料給其第一個收到的 Cooperator，接著再同步與 Cooperator 發送資料給接收端，以提升訊號強度，讓接收訊號 SNR 值達到高速傳輸門檻值，如圖 8 所示。其中當傳送端發出 RTC 時，如果此時收到鄰居節點的 Fail 時，則 VMISO 協同傳輸就停止。

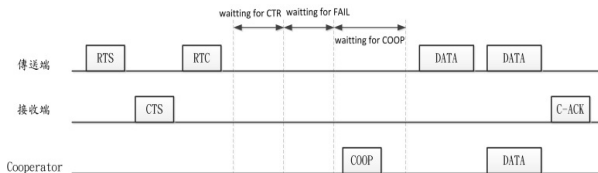


圖 7 VMISO Transmission

4. 模擬結果與分析

4.1 模擬環境

在模擬實驗裡我們使用 NS2 (Network Simulation 2) 所產生的網路拓撲及節點移動行為來模擬我們的方法，比較對手有以 RTS 來測量通道狀況選擇速率的 RBAR[2]、透過傳送端、接收端環境干擾雜訊選擇合適通道競爭時間的 EARC[16]、透過中繼節點轉傳來提升傳輸速率的 Slimani's Scheme[17]及公平性的 PISD[18]。

模擬時間為 20 秒，路由層使用 AODV 協定。另外，模擬使用四種傳輸速率，分別是 1 Mbps、2 Mbps、5.5 Mbps 和 11 Mbps，而控制訊號則是使用 IEEE 802.11 規定的基本傳輸速率 1 Mbps 發送。我們實驗環境的節點數量設為 200 及 400 個節點兩種，分別代表一般的環境及節點密集的環境。相關模擬參數設定如下表 1 所示

表 1 模擬環境參數設定

參數名稱	參數設定
模擬時間	20 秒
節點數量	200, 400
無線網路標準	IEEE 802.11b
資料傳輸速率	1 Mbps、2 Mbps、5.5 Mbps 以及 11 Mbps
基本傳輸速率	1 Mbps
有效傳輸範圍	200 m
封包長度	1024 Bytes
封包產生率	0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5Mbps
路由層協定	AODV

4.2 End to End Performance

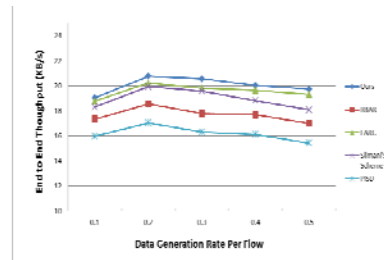


圖 9 End to End Performance (200 nodes)

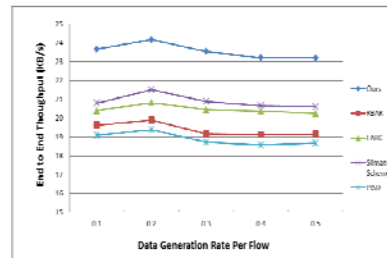


圖 10 End to End Performance (400 nodes)

根據模擬結果(圖 9,10)，我們的方法在 End to End 的效能高於其他比較的方法，因為我們提出的方法透過鄰居節點的幫忙來提升傳輸速率，如此一來就可以改善低速傳輸對對傳輸路徑的影響，隨著鄰居節點數量越多就越容易找到合適的鄰居節點來幫忙提升傳輸速率。但是節點密度不夠大時，路徑上不容易找到可轉傳或是可使用 VMISO 的鄰居節點，因此提升效果並不明顯，但是一旦節點密度增多，我們方法在效能上的改進就相當顯著。因此在節點數量為 400 個時我們的方法則有明顯的效能提升。

4.3 End to End Delay

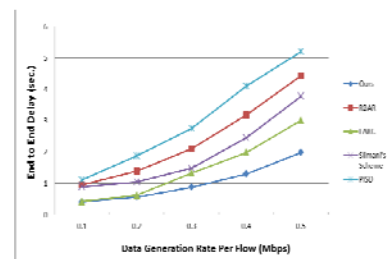


圖 11 End to End Delay (200 nodes)

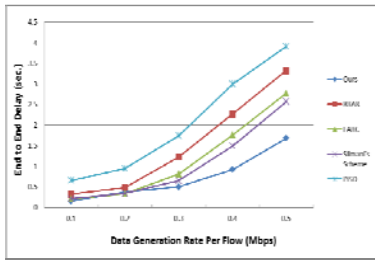


圖 12 End to End Delay (400 nodes)

相對於其他的方法，我們的方法因高速傳輸對增加，縮減了來源端到接收端的 End to End 傳輸延遲時間。而由於在 PISD 裡低速傳輸對較不容易競爭到通道，因此封包在傳輸的過程中會因低速傳輸對的影響，導致封包傳輸延遲時間變長，因此 PISD 的方法在傳輸延遲上有著較差的結果(如圖 11,12)。

4.4 Ratio of Transmission Rate

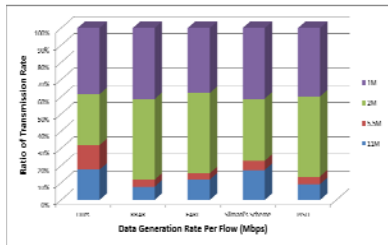


圖 13 Ratio of Transmission Rate (200 nodes)

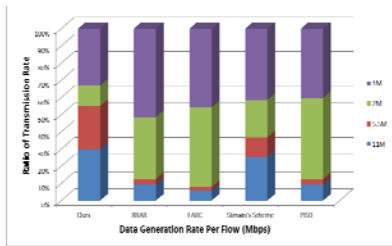


圖 14 Ratio of Transmission Rate (400 nodes)

在節點密度高的情況下，協同傳輸的方法可以有效的改善低速傳輸對所佔的比例。而我們的方法除了透過中繼節點轉傳來提升速率外，還可以透過其它鄰居節點同時發送訊號來提升接收訊號強度，以達到高速傳輸門檻值，因此我們的方法比其他的在比例上改善的更多(如圖 13,14)。

5. 結論

在多重速率的多重跳躍網路環境下，當低速傳輸使用通道傳輸資料時，會造成其佔用通道時間較久，導致整體網路效能會呈現低速的傳輸。

因此我們提出協同傳輸的方法，來改善低速節點在網路中所佔的比例，當傳送端無法以高速傳輸資料時就會透過中繼節點轉傳，讓封包轉傳給接收端，如果傳送端與接收端間不存在中繼節點，我們則使用數個節點同步發送訊號以加大訊號功率，如此一來傳送端就能以高速傳輸將資料傳送給接收端。我們所提的方法能有效的減少網路中以低速傳輸封包的節點數量，以提升整體網路的效能與改善

封包傳輸延遲時間。根據模擬的結果，我們的方法可以大幅減少低速傳輸對所佔的比例，並因而縮減路徑上點對點的傳輸延遲。而整體網路的效能也因為低速傳輸對的減少而提升。

參考文獻

- [1] A. Kamerman and L. Monteban, "WaveLAN-II A High-Performance Wireless LAN for the Unlicensed Band," Bell Labs Tech. J., pp.118-133, Feb. 1997.
- [2] G. Holland, N. Vaidya and P. Bahl, "A Rate-Adaptive MAC Protocol for Multi-hop Wireless Networks," Proceedings of ACM MOBICOM, Jul. 2001.
- [3] M. Heusse, F. Rousseu, G. Berger-Sabbatel and A. Duda, "Performance anomaly of IEEE 802.11b," Proceedings of IEEE INFOCOM, Vol. 2, pp.836-843, Mar. 2003.
- [4] Y. Le, L. Ma, W. Cheng, X. Cheng, and B. Chen, "Maximizing Throughput When Achieving Time Fairness in Multi-Rate Wireless LANs," Proceedings of IEEE INFOCOM, pp. 2911-2915, Mar. 2012.
- [5] J. Pavon and S. Choi, "Link Adaptation Strategy for IEEE 802.11 WLAN via Received Signal Strength Measurement," Proceedings of IEEE ICC, May 2003.
- [6] P. Chevillat, J. Jelitto, A. Noll Barrerto, H.L. Truong, "A Dynamic Link Adaptation Algorithm for IEEE 802.11a Wireless LANs," Proceedings of IEEE ICC, May 2003.
- [7] Z. Li, A. Das, A.K. Gupta, S. Nandi, "Full Auto Rate MAC Protocol for Wireless Ad hoc Networks," IEEE Communications, Vol. 152, No. 3, Jun. 2005.
- [8] K. Saitoh, Y. Inoue, A. Liuka, M. Morikura, "An effective data transfer method by integrating priority control into multi-rate mechanisms for IEEE 802.11 wireless LANs," Proceedings of IEEE VTC 2002, Vol. 1, pp.55-59, May 2002.
- [9] D. Qiao, S. Choi, K.G. Shin, "Goodput Analysis and Link Adaptation for IEEE 802.11a Wireless LANs," IEEE Transactions in Mobile Computing, pp.278-292, Jan. 2002.
- [10] Y. Le, L. Ma, W. Cheng, X. Cheng, and B. Chen, "Maximizing Throughput When Achieving Time Fairness in Multi-Rate Wireless LANs," Proceedings of IEEE INFOCOM, pp. 2911-2915, Mar. 2012.
- [11] Q. Guan, F. R. Yu, S. Jiang, V. C. M. Leung, "Capacity-Optimized Topology Control for MANETs with Cooperative Communications," IEEE Transactions on Wireless Communications, Vol. 10, No. 7, pp. 2162-2170, Jul. 2011.
- [12] G. A. Ropokis, A. A. Rontogiannis, K. Berberidis, "BER Performance Analysis of Cooperative DaF Relay Networks and a New Optimal DaF Strategy," IEEE Transactions on Wireless Communications, Vol. 10, No. 4, pp. 1044-1049, Apr. 2011.
- [13] H. Mehrpouyan, S. D. Blostein, "Bounds and Algorithms for Multiple Frequency Offset Estimation in Cooperative Networks," IEEE Transactions on Wireless Communications, Vol. 10, No. 4, pp. 1300-1311, Apr. 2011.
- [14] H. Shan, H. T. Cheng, and W. Zhuang, "Cross-Layer Cooperative MAC Protocol in Distributed Wireless Networks," IEEE Transactions on Wireless Communications, Vol. 10, No. 8, pp. 2603-2615, Aug. 2011.
- [15] H. Mehrpouyan, S. D. Blostein, "Bounds and Algorithms for Multiple Frequency Offset Estimation in Cooperative Networks," IEEE Transactions on Wireless Communications, Vol. 10, No. 4, pp. 1300-1311, Apr. 2011.
- [16] Ting-Yu Lin, Ching-Yi Tsai and Kun-Ru Wu, "EARC: Enhanced Adaptation of Link Rate and Contention Window for IEEE 802.11 Multi-Rate Wireless Networks," IEEE Transactions on Communications, Sep. 2012.
- [17] H. Slimani, B. Escriing, R. Dhaou and A. Beylot, "Cooperative MAC protocol with distributed relay selection and physical rate adaptation," IEEE Consumer Communications and Networking Conference, Jan.2013.
- [18] Ying Jian, Ming Zhang and Shigang Chen, "Achieving MAC-Layer Fairness in CSMA/CA Networks," IEEE/ACM Transactions on Networking, Oct. 2011.