

# 在 LTE-Advanced 網路上以網路編碼為基礎的中繼通訊 HARQ 傳輸方法

## A Relay HARQ Communicate based on Network Coding in LTE-Advanced Network

李曜廷 劉建興

靜宜大學資訊工程學系

Yao-Ting Li, Jain-Shing Liu

Department of Computer Science & Information Engineering

Providence University

Email: opqyut2000@gmail.com

### 摘要

長期演進技術(Long Term Evolution, LTE)，為邁向第四代通訊技術(4G)的一種過渡版本，此為 3GPP 聯盟所制定的一個標準。在 LTE 裡，資料傳輸層面使用了 OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Access)的技術，將頻寬細分成彼此不會相互干擾的頻段，使基地台可以同時讓數個使用者進行資料的傳輸，並結合了 TDMA 的概念，將頻寬資源劃分為多個時間與頻率交織而成的格子，並給予一個專有名詞，稱作為資源區塊(Resource Blocks, RBs)。然而在固定頻寬上的 RBs 分配，我們結合了網路編碼(Network Coding, NC)的方式來節省 RBs 的數量，並將其節省的 RBs 分配給其它使用者進行傳輸，藉以提高網路吞吐量。在封包的傳輸層面，LTE 使用了混合式自動重傳請求(Hybrid Automatic Repeat reQuest, HARQ)的技術來降低封包傳輸的錯誤率，其概念是將代傳封包進行編碼與切割等技術後再進行傳送，可以大幅降低封包傳送失敗時而重新傳送的錯誤率。LTE 的訊框架構制定出 7 種不同的配置，每一個配置的上行(Uplink)、下行(Downlink)的子訊框位置與分配比例有所不同。本論文根據 LTE 的訊框架構提出了新創的方法，並安排了較佳的配置配對與子訊框 HARQ 的排程，並對使用者進行資源區塊的分配，此外還考慮了使用者之間的增益值而造成的訊雜比(Signal to Noise Ratio, SNR)，以及在不同訊號品質下使用 QPSK 與 16QAM 的調變技術產生的位元錯誤率(Bit Error Rate, BER)，最後模擬 SNR 值與配置排程所造成不同的網路吞吐量。

**關鍵字：**LTE-A、中繼節點、訊框架構、SNR、HARQ、資源區塊。

### 一、介紹

長期演進技術(LTE)在第三代合作夥伴計畫(3GPP)中已經達到成熟的階段，首次提出於 2008 年第四季 Release 8 版本的高速無線通訊標準，直至 2010 年才將 LTE 升級版(LTE-Advanced, LTE-A)正式定義為 4G。在無線網路環境中，使用者設備(User Equipment, UE)在演進節點(Evolved Node B,

eNB)或基地台的涵蓋範圍(Cell)內能夠保持良好的訊號品質，若移動至涵蓋範圍的網路邊緣(cell-edge)或是移出涵蓋範圍，將產生不良的訊號甚至發生連線中斷，為了改善在基地台(eNB)死角及超出涵蓋範圍的情形，在 LTE-Advanced(LTE-A)標準中 Release 10 的版本增添了具有中繼能力的中繼站(Relay Station, RS)，或稱為中繼節點(Relay Node, RN)。中繼節點(RN)布建於多種環境並協助基地台(Base Station, BS)改善因建築物遮蔽訊號的死角問題，且延伸訊號涵蓋範圍，亦可布建於大眾交通工具上服務多個行動裝置。

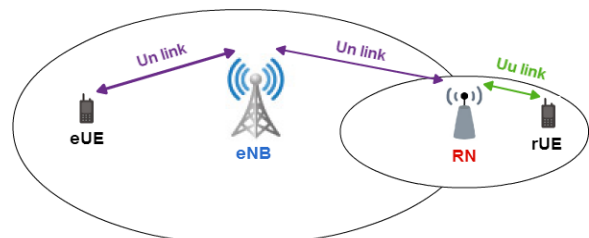


圖 1 使用者與通訊鏈路示意圖

如圖 1 所示，與 eNB 直接進行傳輸的使用者我們稱為 eUE，而中繼站(RN)的主要功能為協助演進節點(eNB)與增益值較小的使用者之間傳送資料，在此我們把需要中繼站進行代傳的使用者稱為 rUE。中繼站的優點不僅僅是布建成本低於基地台，可以提升系統的傳輸容量(Capacity Extension)，並且延伸了通訊的範圍(Coverage Extension)。另外，我們引用文獻[1]將基地台與服務範圍內的使用者之間的通訊稱為 Un-link，而中繼站與其服務的 rUE 之間的通訊稱為 Uu-link。

我們參考了文獻[5]、[9]中所介紹對於中繼站方面訊框架構的配置，以及使用 HARQ 的子訊框排程規則，但以上文獻只針對 Un-link 或 Uu-link 做個別通訊的排程。雖然在文獻[6]說明了使用 NC 並結合 Relay 排程上下行子訊框，但非在既有的訊框架構使用配置，且 Relay HARQ 的排程也不符合 Rel-10 TDD Relay 規則。本論文則提出了一種創新且符合規則的配對方法，我們結合 Un-link 及 Uu-link 使用了網路編碼的技術，不僅讓 Un-link 與 Uu-link 皆使用相同的 RB 傳送藉此節省資源的使

用,且 Un-link 與 Uu-link 封包的傳送與 ACK/NACK 也使用了相同的子訊框位置排程。

## 二、背景

在 LTE 系統中,雖然 downlink/uplink 分別使用 OFDMA/SC-FDMA 兩種不同的多工技術,不過在 frame 的架構上採用相同的規格。並支援兩種類型的訊號架構,分別為分頻雙工(FDD)以及分時雙工(TDD)。由於本論文所使用的是 TDD 雙工,以下只針對 TDD 模式進行說明。

### 2.1 LTE 訊框架構(Frame structure)

圖 2 為參考文獻[8],TDD 是多個訊框所組成的結構,一個訊框(Radio Frame)的長度為 10 ms,由兩個半訊框(Half Frame)構成,每個半訊框長度為 5 ms,而 Half Frame 由四個子訊框(subframe)及一個特殊子訊框(Special Subframe)組成,每個子訊框長度為 1 ms,一個子訊框又可分成兩個時槽(slot),每個時槽的長度為 0.5ms。特殊子訊框包含了下行導引時槽(Downlink Pilot Time Slot, DwPTS)、保護時間(Guard Period, GP)、上行導引時槽(Uplink Pilot Time Slot, UpPTS)三個部分,此三個部分在一個子訊框所佔的比例可以需求調整,但總長度最多為 1 ms。

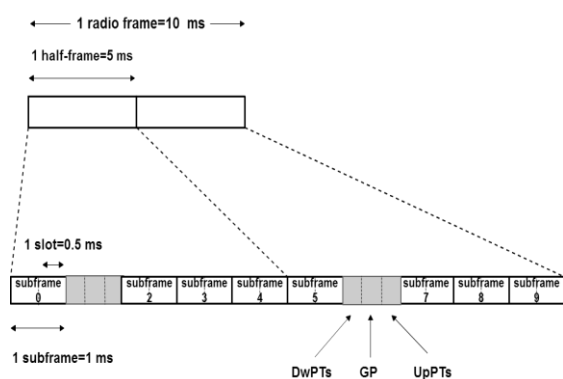


圖 2 LTE TDD 訊框結構[8]

針對上下行子訊框的比例不同,LTE TDD Release-8 系統中共定義了 7 種訊框配置結構,每種配置結構中的上下行子訊框比例均不同,可依實際需求進行較佳的資源分配。表 1 為 LTE 系統 TDD 訊框支援的上下行比例,在參考文獻中引用文獻[2]、[5],其中 D 表示下行子訊框,U 表示上行子訊框,S 表示包含了 DwPTS、GP 以及 UpPTS 特殊子訊框。在 5 ms 的為周期的情形下,特殊子訊框 UpPTS、子訊框編號 2 和子訊框編號 7 預留為上行傳輸。在 10 ms 的為周期的情形下,特殊子訊框 DwPTS 都存在於兩個 Half Frame 中,但是 GP 和 UpPTS 只存在於第一個 Half Frame 中,在第二個 Half Frame 中的 DwPTS 長度為 1 ms。而 UpPTS 和子訊框編號 2 預留為上行傳輸,子訊框編號 7 到子訊框編號 9 則預留為下行傳輸。

上下行配置	上下行切換週期	Subframe number(子訊框編號)									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	5ms	D	S	U	U	U	D	S	U	U	U
1	5ms	D	S	U	U	D	D	S	U	U	D
2	5ms	D	S	U	D	D	D	S	U	D	D
3	10ms	D	S	U	U	U	D	D	D	D	D
4	10ms	D	S	U	U	D	D	D	D	D	D
5	10ms	D	S	U	D	D	D	D	D	D	D
6	5ms	D	S	U	U	U	D	S	U	U	D

表 1 LTE 系統 TDD 訊框支援的上下行比例[5]

### 2.2 資源區塊(Resource Block)

圖 3 所示為依據 LTE Release 8 的規格,資料傳輸的最基本單位為資源區塊(Resource Block, RB),頻率上使用了 12 個子載波(Subcarrier),並根據循環前置(Cyclic Prefix, CP)的不同,可以分成一般循環前置(Normal CP)以及延伸循環前置(Extend CP)兩種。一般 CP 情形下的 RB 時間長度為 7 個 symbol,而延伸 CP 的時間長度則為 6 個 symbol。一個 RB 又可細分成數個調變單位,稱作為資源元件(Resource Element, RE),佔一個頻率上的子載波,每個 RE 依照調變技術不同可以表示為 2bit(QPSK)、4bit(16QAM)、6bit(64QAM)。

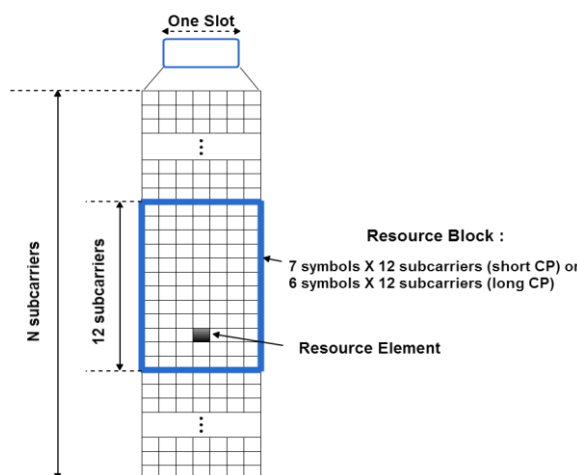


圖 3 LTE RB 與時槽關係示意圖

### 2.3 網路編碼(Network Coding)

網路編碼(Network Coding, NC)的技術可以解決傳輸重複與耗時的問題,它主要的編碼的方式在中繼節點中編譯多個資料或是訊號的內容成為一個 XOR 的訊號,當信號到另一個網路節點後,可進行解碼獲取原來的資訊,降低路徑來回的使用,傳輸上的規則是當接收到的訊息後進行線性和非線性的處理再做傳輸的動作,此技術可減少傳輸的次數,進而大幅提升通訊網路的效率與可靠性,使我們利用最大流量最小切割的原理(Max-flow Min-cut Theorem)證明網路編碼可以達到網路最大的信息流量,節省時間消耗並減少網路塞車的可能性。我們提出以網路編碼(Network Coding, NC)為基礎,降低網路傳輸負荷的可行方案。

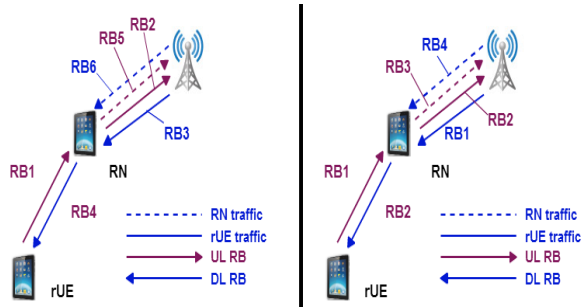


圖 4 無網路編碼與網路編碼[1]

如圖 4 引用於文獻[1]，以中繼站(RN)當作代轉節點接收 eNB 與 rUE 的封包並進行網路編碼後傳送，藉此降低資源區塊的需求。圖中左半部為沒有網路編碼的情形，rUE 的 traffic 為實線的部分，其藉由中繼站提供服務，因此需要使用 4 個 RBs，而虛線部分則為 RN 自己與基地台通訊，需要使用 2 個 RBs，所以在無網路編碼的情形下總共要分配 6 個 RBs 進行通訊。圖中右半部使用了網路編碼的技術，RN 同時接收 rUE 與 eNB 的 traffic，經由網路編碼後再同時傳送回去，此部分只需要使用兩個 RBs，再加上 RN 自己 traffic 所需的 2 個 RBs，總共使用了 4 個 RBs 即可完成通訊。由上述可知，rUE 經由網路編碼所需要的 RBs 為沒有使用網路編碼的一半。

## 2.4 混合式自動重傳請求(Hybrid Automatic Repeat reQuest)

HARQ 為一種結合了前饋式錯誤修正(Fee-forward Error Correction, FEC)與 ARQ 方法的技術，透過 ACK/NACK，決定封包是否要重新傳送。然而通道的傳輸品質與封包傳送的錯誤率息息相關，因此許多排程的研究會根據使用者與基地台之間的通道條件作為排程的依據。本論文依據[5]提出 HARQ 在 LTE 的訊框架構上，子訊框的位置進上行鏈路或者下行鏈路的分配。

## 三、研究方法與設計

在 TDD LTE-A 系統中加入了中繼站之後，傳輸數據多了一跳，讓原本的基地台-終端的通訊模式發生了變化。以兩跳為例子，增加中繼站服務的通訊模式變為基地台-中繼站-終端的方式。此時，需要分別在上行和下行資源中劃分一部分作為基地台-中繼站的通訊資源，即劃分出一部分子訊框用於基地台-中繼站的通訊，這些子訊框被稱為中繼子訊框(Un-link)，而中繼站與使用者設備的通訊我們就以 Uu-link 來表示。為了避免 Un-link 上行發送的同時 Uu-link 也在上行發送而對數據傳輸在成影響。本論文將設計合理的配置配對與子訊框位置排程，並且對中繼鏈路的 HARQ 傳輸時序進行定義，才能夠保證基地台、中繼站與使用者設備之間傳輸的可靠性。

## 3.1 子訊框 HARQ 規則

我們參考文獻[5]、[9]、[12]在此針對子訊框 HARQ 的規則進行說明。一個自基地台(eNB)至使用者(UE)的一個下行鏈路傳輸，搭配使用者須回傳的 ACK/NACK，及接下來的新傳輸/重傳，此一完整來回如圖 5 稱為下行 HARQ 程序。

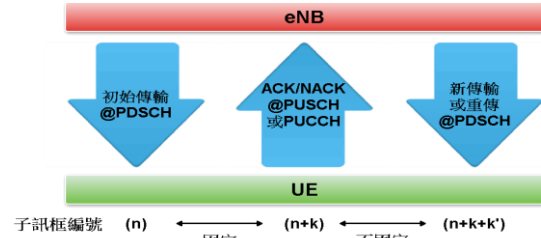


圖 5 下行 HARQ 示意圖[12]

上下行配置	子訊框編號 $n$									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	4	6				4	6			
1	7	6			4	7	6			4
2	7	6		4	8	7	6		4	8
3	4	11				7	6	6	4	4
4	12	11			8	7	7	6	4	4
5	12	11		9	8	7	6	5	4	13
6	7	7				7	7			5

表 2 下行傳輸與回傳 ACK/NACK 之子訊框關係表[12]

在下行鏈路的 HARQ 程序中，PDSCH 的初始傳輸與新傳輸/重傳關係屬於異步的，因此無法預測新傳輸/重傳的時間點，然而初始傳輸和在 PUSCH/PUSCH 回傳的 ACK/NACK 是屬於同步的，其關係依不同的上下行配置(UL/DL Configuration)定義如表 2。在表 2 中，其對應接收到 PDSCH 資料所在的子訊框編號  $n$ ，而 ACK/NACK 即會在子訊框編號  $n+k$  的位置回傳，雖然新傳輸/重傳所在的子訊框位置沒有固定，不過可以肯定的是其傳新數據/重傳必在子訊框編號  $n+k$  之後(4 毫秒以上)。我們沿用 2.1 子節的表 1 舉例來說，假設配置編號 1 在子訊框編號 4 接收數據，其表格對應的  $k$  值為 4，則 ACK/NACK 的回傳位置在子訊框編號 8 ( $4+4$ )。

自使用者至基地台的一個上行鏈路傳輸，搭配基地台須回傳的 ACK/NACK，以及新傳輸/重傳，如圖 6 即稱為上行 HARQ 程序。

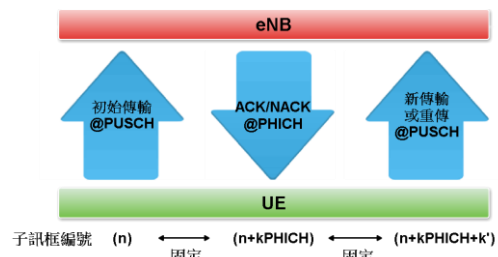


圖 6 上行 HARQ 示意圖[12]



上下行配置	接收到的 PUSCH 的子訊框 $n$										接收到 PHICH 回傳 ACK/NACK 的子訊框 $n+k_{PHICH}$									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0			4	7	6			4	7	6	4	6				4	6			
1			4	6				4	6			6			4		6			4
2			6					6						4					4	
3			6	6	6						4								4	4
4			6	6															4	4
5			6																4	
6			4	6	6			4	7		7					7	7			5

表 3 上行傳輸與回傳 ACK/NACK 之子訊框關係表[12]

在表 3 中，其對應的是接收到 PUSCH 數據所在的子訊框編號  $n$ ，而 ACK/NACK 即會在子訊框編號  $n+k_{PHICH}$  的位置進行回傳，而新傳輸/重傳所在的子訊框位置則是看表格右半部的  $k$  值，在子訊框編號  $n+k_{PHICH}+k$  的位置上傳新資料/重傳。還是沿用 2.1 子節表 1 舉例來說，假設基地台在配置編號 2 的子訊框編號 7 接收到使用者的數據，其 ACK/NACK 的位置為子訊框編號 3 (7+6)，之後對照表格右邊的子訊框編號 3，而新傳送/重傳的位置為子訊框編號 7 (3+4)。

### 3.2 結合網路編碼之訊框架構的配對與排程

本論文提出的方法，結合網路編碼的子訊框 HARQ 排程，且我們根據既有的訊框架構配置出多組配對。在 Relay 中 Un-link 及 Uu-link 的通訊，於訊框架構中的 7 種配置找出合適的配對，Un-link 及 Uu-link 的配置必須在相同的子訊框編號上下行相反，才能使用網路編碼於特定的子訊框編號將封包接收及廣播。而封包的傳送與 ACK/NACK 也須遵守 3.1 小節的 HARQ 規則。至於非 Relay 的情形中，只要遵守 HARQ 規則就可以了。

首先，我們採用不同的 UL-DL 配置與其相對應的子訊框編號進行配對，如果配置 X 的子訊框  $n$  為 D，就需找出配置 Y 的子訊框  $n$  為 U。由於文獻[5]中的規定，目前確定在 Rel-10 中子訊框上下行配置 0 和配置 5 不支援中繼傳輸，並依照 Rel-10 TDD Relay 所制定的規格中子訊框編號 0、1、5、6 不會被配置為中繼子訊框，因此其上行的子訊框為編號 2、3、7、8 而下行子訊框只剩下編號 4、9 可進行傳送。本論文參考表格 1 配對了多種組合方式，然而在此只解釋其中的一種配對組合。假設我們將 Un-link 使用了配置 1 進行傳送，而 Uu-link 使用配置 3 進行傳送，我們找到的配置 1 與配置 3 的子訊框編號 4、編號 7 以及編號 8 可以與配置 1 的上下行傳輸不會造成影響，如圖 7 所示，我們配置 RN 在子訊框編號 4 接收到 eNB 及 rUE 的數據後進行網路編碼，再將其編碼過的數據於子訊框編號 8 同時傳送回 eNB 和 rUE，而反饋訊息在下一個訊框的子訊框編號 4 進行，經判斷是否傳送成功，如需要重新傳送則在反饋訊息+4 進行重傳的動作。

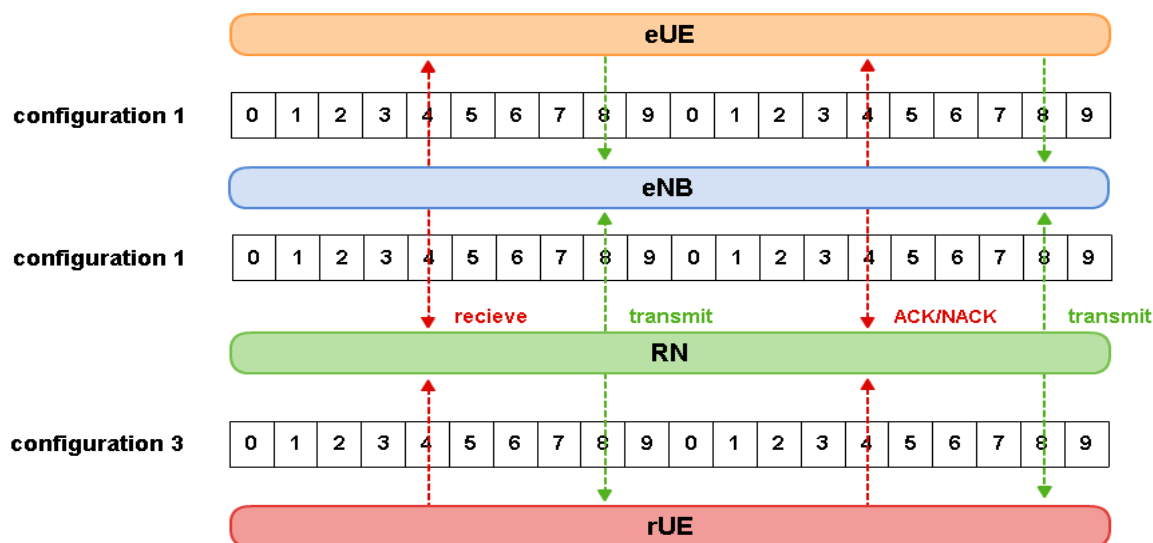


圖 7 結合 NC 的子訊框 HARQ 方法

一般情況下數據傳輸與相應的 ACK/NACK 反饋訊息的傳輸需要有足夠的處理時間進行解調、解碼及進行循環冗餘校驗(Cyclic Redundancy Check, CRC)等操作，之後才能確定應向發送端反饋 ACK 或者 NACK 訊息。我們參考文獻[5]、[9]，文獻將這個反饋延遲規定至少需要 4 ms，即在子訊框 n 接收數據後，在子訊框位置滿足大於等於 n+4 的子訊框位置進行反饋，然而 HARQ 的時序也必須要遵照這個原則，故我們在傳送與反饋也需安排了最少的延遲時間，以達到最佳的效能。另一方面，HARQ 時序的定義也應該考慮到反饋的延遲，即數據傳輸與其相應反饋訊息傳輸之間的間隔也不能太大，否則將導致傳輸的時延增大，繼而影響了傳輸的效能。

### 3.3 節點架構與位元錯誤率

本論文的網路模擬結構為一個基地台服務多個使用者並考慮使用者與基地台之間的增益值 (Gain)，如果使用者與基地台之間的增益值太小，增益值小的使用者將尋找一個距離最近且為 eNB 服務範圍內的使用者當作中繼站進行傳送。然而，需要中繼站服務的使用者(rUE)，我們採用網路編碼的技術，以節省其所需要的 RB 數量。最後再考慮各個使用者的增益值與雜訊後計算得出 SNR 值，再帶入不同的調變技術進行模擬。我們模擬了 QPSK 與 16QAM 兩種調變技術的位元錯誤率，圖 8 為我們使用 Matlab 平台中內建的模組，再帶入我們自訂的參數，產生出來的模擬結果。

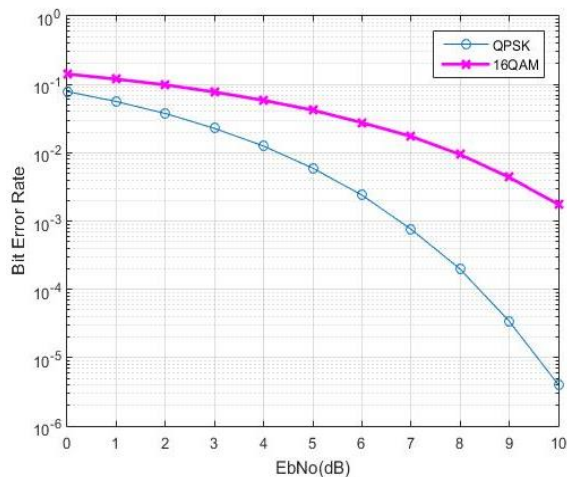


圖 8 QPSK 與 16QAM 的位元錯誤率

### 3.4 HARQ 封包傳送機率與事件

為了分析出在 LTE 環境下使用 HARQ 的網路效益，我們將計算 HARQ 封包各次傳送的成功機率，以架構模擬環境中 HARQ 封包的運作模型。當封包由 User 傳送到 eNB 端，封包經過解碼判斷資料為錯誤的時候，eNB 將會回傳 NACK 告知 User 進行封包的重傳動作，直至封包傳送成功或者超過重傳次數的上限而丟棄封包為止。每當 HARQ 重新傳送一次時，其封包的傳送失敗機率會比前次來

的低，為了呈現重新傳送的次數增加而傳送錯誤率會降低的特性，我們引用文獻[7]所提出的概念：一個傳送了 k 次的 HARQ 封包，它的傳送失敗的機率為第一次傳送封包的 k 次方。

### 四、實驗模擬與結果

我們根據 LTE 訊框模式的不同，在子訊框的位置進行上行與下行的分配，並針對 QPSK 與 16QAM 調變技術帶入不同的 SNR 值進行吞吐量的分析，不僅使用最少的 RB，且找出運作效能較佳的訊框配對。

#### 4.1 實驗參數

Number of users	20
Channel bandwidth	10
Total available RBs	50
Time of per round	100(second)
Configuration number	1, 3
Pathloss	2
SNR	[1 15]
Modulation	QPSK, 16QAM

表 4 實驗模擬參數

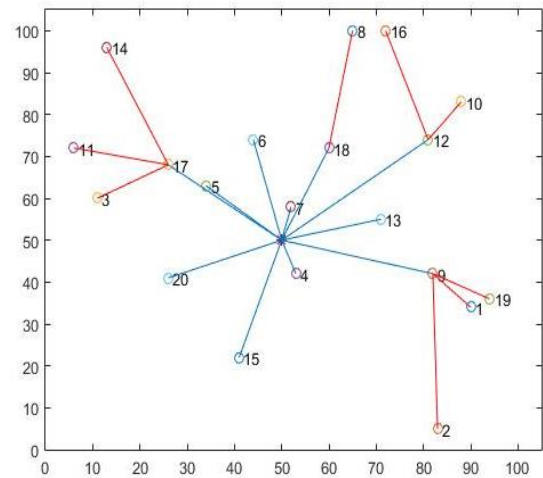


圖 9 拓模結構示意圖

本實驗的模擬參數總結於表 4 並使用 Matlab 當作模擬的平台，我們設定的網路拓模結構如圖 9 所示為一個基地台服務 20 個使用者，依照每個使用者的增益值不同，將增益值小的 rUE 配置一個傳送範圍內的使用者當作代轉節點進行服務。例如，圖 9 的使用者 2 號與 eNB 的訊號品質較差，因此使用者 2 號選擇了使用者 9 號進行通訊代轉服務。訊框架構的配置方面，基地台(eNB)對中繼站(RN)的通訊，以及基地台對 eUE 的通訊皆使用了配置編號 1，而需要中繼站對 rUE 的通訊則使用了配置編號 3。依照上述設定好的拓模結構且安排好訊框架構的上下行傳送排程，我們將每回合的傳輸

時間為 100 秒，並將 SNR 值整調為一致，而 HARQ 方面我們自定的重傳次數上限為 2 次，再計算了 QPSK 與 16QAM 調變技術以及使用 HARQ 重傳與沒使用 HARQ 的吞吐量分析。

## 4.2 實驗結果

本實驗的程式模擬結果如圖 10 所示我們可以觀察出三種結果。第一，當 SNR 值低於 4 的時候，由於位元的錯誤率太高，導致位元的傳輸量非常低。第二，在 QPSK 情況下且訊號品質較低時，使用 HARQ 比未使用 HARQ 的吞吐量多出了許多，然而訊號品質好的情形下，不需要 HARQ 也能達到與使用 HARQ 一樣的傳輸效益。舉例來說，當我們使用 QPSK 調變技術而 SNR 值小於 8 時，使用 HARQ 會比沒有使用 HARQ 的吞吐量明顯高出許多，而當 SNR 值大於 9 時，因為位元錯誤極低，所以就沒有使用 HARQ 的必要性了。第三，訊號品質較差的情況下，QPSK 會比 16QAM 所產生的效益還要好。但是在訊號品質較好的時候，由於 16QAM 對於一個資源元件所能代表的位元量比 QPSK 還要多，故採用 16QAM 的調變技術比 QPSK 的效益還要高。

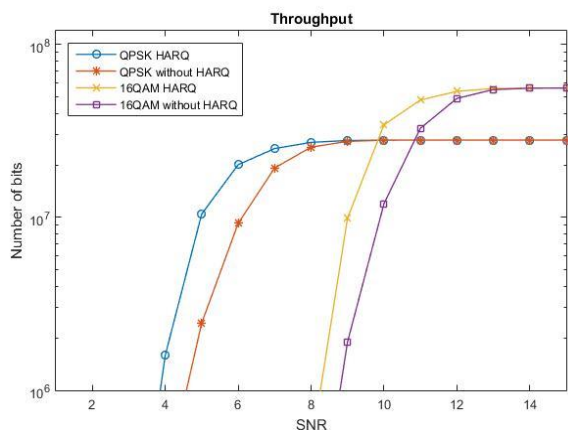


圖 10 不同 SNR 值的吞吐量模擬

## 4.3 訊框架構的配對與效益分析

本實驗另外針對配置不同做比較，為了分析不同配置所產生的效益，我們將訊號品質加強，讓封包傳成功率為 100% 並採用我們所找出五種配置的配對模擬上行鏈路的吞吐量。這些配對不僅符合我們所提出網路編碼的方法而且採用最小的延遲反饋，讓 rUE 在一個 frame 的長度中至少有兩組封包進行上行傳送與 ACK/NACK，對於各個使用者可以更公平分配封包的傳送。針對這五組配對的分析得出了表 5 的結果，假如不考慮 DL 與 UL 的比例分配，我們可以看出當 Un-link 使用配置編號 1 以及 Uu-link 使用配置編號 3 所產生的效益比其它四種明顯高出許多，這是因為配置編號 1 的上行子訊框較多且反饋的延遲時間較少。至於其它的配對方法，則可以依據用戶端的需求，決定要採取何種上下行比例的配置作為服務。

Un link	Uu link	UL Throughput (QPSK)	UL Throughput (16QAM)	SNR	Un link (DL : UL)	Uu link (DL : UL)
configuration 1	configuration 3	520kbps	1040kbps	15	1 : 1	2 : 1
configuration 3	configuration 1	428kbps	856kbps	15	2 : 1	1 : 1
configuration 2	configuration 3	336kbps	672kbps	15	3 : 1	2 : 1
configuration 2	configuration 4	336kbps	672kbps	15	3 : 1	7 : 2
configuration 4	configuration 2	336kbps	672kbps	15	7 : 2	3 : 1

表 5 訊框效益分析

在表 5 中有三組配對的吞吐量是一致的，這是因為本實驗只針對上行吞吐量進行模擬，如果將下行吞吐量也計算的話，會因為在不同配置中的上行與下行比例不同而有所差異。

## 五、結論

本研究主要的成果，在 LTE-A 中根據使用者的增益值，結合網路編碼與訊框架構的設計以節省資源區塊，且提出方法符合 Rel-10 TDD Relay 的規則並排程子訊框 HARQ 最小反饋時延。最後針對訊框架構下行及上行的傳輸情形下，計算其不同的配對模式所呈現的效益進行比較，還可依照使用者的需求，分配最合適的配對作為服務。

## 六、參考文獻

- [1] Abrardo, A.; Fodor, G.; Tola, B., "Network coding schemes for Device-to-Device communications based relaying for cellular coverage extension," Signal Processing Advances in Wireless CommunicationsI, IEEE, 2015.
- [2] Ting Zhou ; Jing Xu ; Zhenhong Li ; Haifeng Wang., "Adaptive TDD UL/DL slot utilization for cellular controlled D2D communications," IEEE ,Oct 2011.
- [3] Berardinelli, Gilberto. ; Sorensen, Troels B. ; Mogensen, P. ; Pajukoski, K., "Link Parameters Bundling across Multiple Component Carriers in LTE-A Uplink," IEEE, May 2010.
- [4] Kumar, R.; Tati, S.; de Mello, F.; Krishnamurthy, S.V.; La Porta, T., "Network Coding aware Rate Selection in multi-rate IEEE 802.11," Network Protocols, IEEE, Oct 2010.
- [5] Yifei Yuan.; Shuanshuan Wu.; Jin Yang.; Feng Bi.; Shuqiang Xia.; Guohong Li., "Relay backhaul subframe allocation in LTE-Advanced for TDD," Communications and Networking, IEEE, Aug 2010.
- [6] Qiong Huang.; Ming-jing Ni.; Lun Tang.; Rong Chai.; Qian-bin Chen., "Relay protocol improvement and frame structure design base on overhearing mechanism and physical network coding," Information Computing and Telecommunications, IEEE, Nov 2010.
- [7] Kyungkoo JUN, "packet Qos Aware acmc selection for 3G lte of Evolved packet system," IEICE Transactions on Communicaiton, vol. E91. B, no. 8, pp.2740-2743, Aug 2008.
- [8] Aidin Reyhanimasoleh, "Resource Allocation

in Uplink Long Term Evolution, "September 2013.

- [9] 吴栓栓, 杨瑾, 梁枫, 等. 一种时分双工系统的中继链路 harq 传输方法及装置:, CN 102377550 A[P]. 2012.
- [10] Yifei Yuan, "LTE-Advanced Relay Technology and Standardization, " Signals and Communication Technology, 2013.
- [11] Yonis, A. Z., M. F. L. Abdullah, and M. F. Ghanim. "LTE-FDD and LTE-TDD for cellular communications." Proc. Progress In Electromagnetics Research Symposium. 2012.
- [12] 陳建州(2013)。HARQ機制把關，TD-LTE數據傳輸更可靠。新通訊雜誌。民國105年5月20日，取自：  
[http://www.2cm.com.tw/technologyshow\\_content.asp?sn=1212270005](http://www.2cm.com.tw/technologyshow_content.asp?sn=1212270005)