

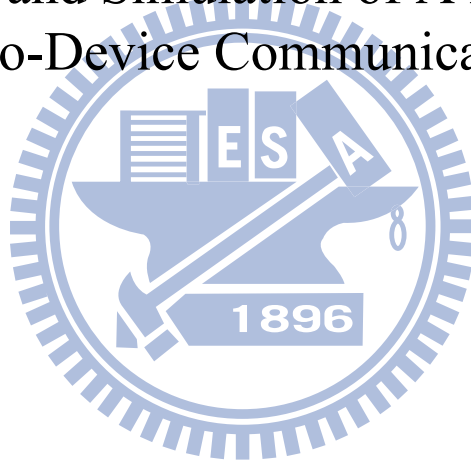
國立交通大學

電信工程研究所

碩士論文

分散式裝置對裝置通訊系統之設計與模擬

Design and Simulation of A Distributed  
Device-to-Device Communication System



研究生：謝昕峰

指導教授：黃家齊 博士

中華民國一零三年八月

分散式裝置對裝置通訊系統之設計與模擬

Design and Simulation of A Distributed Device-to-Device  
Communication System

研究生：謝昕峰

Student： Hsin-Feng Hsieh

指導教授：黃家齊 博士

Advisor： Chia-Chi Huang



A Thesis  
Submitted to Institute of Communications Engineering  
College of Electrical Engineering  
National Chiao Tung University  
in partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of  
Master  
In  
Communications Engineering

August 2014

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國一零三年八月

# 分散式裝置對裝置通訊系統之設計與模擬

學生：謝昕峰

指導教授：黃家齊博士

國立交通大學電信工程研究所 碩士班

## 摘 要

近年來，因為資料量快速地提升，無線網路面臨到越來越多通訊量。基地台的附載量越來越多，為了減輕基地台的負擔，裝置對裝置通訊技術是一種有效的方法。此通訊技術能讓使用者需經過基地台直接進行通訊，同時又能與 LTE-A 網路架構共存。本論文以美國高通公司所提出的 FlashLinQ 的架構為基礎，我們根據此架構重新設計此系統，從同儕發現、連接帳號選取、優先權設定、連結排程、功率控制到最後的資料傳輸階段，我們修改其架構並提出新的方法，使整個系統的效能得到提升。

# Design and Simulation of A Distributed Device-to-Device Communication System

Student: Hsin-Feng Hsieh

Advisor: Chia-Chi Huang

Institute of Communications Engineering  
National Chiao Tung University

## ABSTRACT

Recently, wireless networks encounter more and more traffic volume due to the rapid increase in the amounts of user data. There are more and more traffic loads on a base station accordingly. In order to alleviate the burden of the base station, device-to-device(D2D) communication technology emerges as an efficient way to offload the data traffic. D2D communication technologies, which enable users to communicate directly without through base stations, can coexist with LTE-Advanced networks. This thesis is based on the basic structure of the FlashLinQ first proposed by Qualcomm. We redesign it on the aspects from peer discovery, link-ID selection, priority setting, link scheduling, to data transfer. New methods are proposed to achieve better system performance.

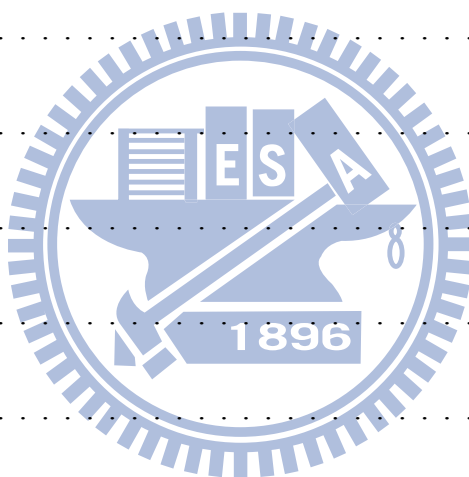
# 誌 謝

非常感謝指導教授黃家齊老師這兩年來的教導，在研究的過程中給予我很大的幫助與意見。此外，感謝焯翰以及峻楹學長在課業以及研究上的幫助與指教，給予我很多做研究的想法。還有實驗室的同學學璟、駿逸、孟剛、佳樂，一起討論課業和研究上的問題。此外，也感謝學弟庭豐、銘謙、昨默、詠文、武璋，總是帶給實驗室歡樂的氣氛。感謝我的父母，提供我一個良好的家庭環境，能在求學階段專心學習。最後，感謝維亞，不斷地給予鼓勵與支持，讓我能有動力繼續完成研究。

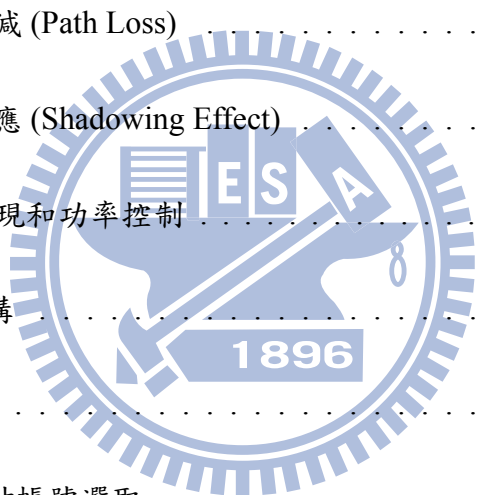


# 目 錄

中文摘要	I
英文摘要	II
誌謝	III
目錄	IV
表目錄	VII
圖目錄	VIII
演算法目錄	XI
第 1 章 介紹	1
1.1 背景	1
1.2 集中式裝置對裝置通訊	1
1.3 分散式裝置對裝置通訊	2
1.4 研究動機	2
第 2 章 FlashLinQ	3
2.1 FlashLinQ 簡介	3
2.2 FlashLinQ 架構	3



2.3	自動發現	4
2.4	連接管理	4
2.5	連接排程	6
第 3 章	系統架構	9
3.1	環境與假設	9
3.2	使用者的位置分布	9
3.3	通道效應	10
3.3.1	路徑衰減 (Path Loss)	10
3.3.2	遮蔽效應 (Shadowing Effect)	10
第 4 章	分散式同儕發現和功率控制	12
4.1	Superframe 架構	12
4.2	同步	13
4.3	同儕發現與連結帳號選取	13
4.4	優先權設定	18
4.5	連結排程	19
4.6	功率控制	22
4.6.1	功率調整	25
第 5 章	模擬	26
5.1	模擬參數	26
5.2	模擬方法	27



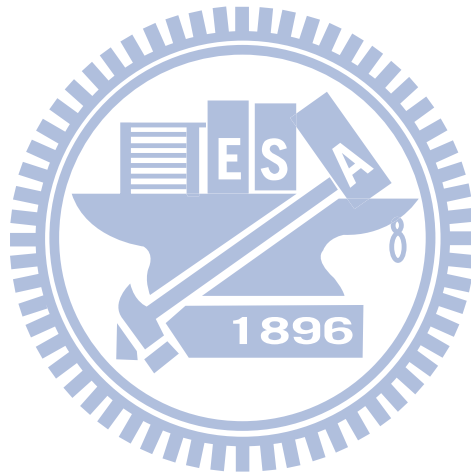
5.2.1	同儕發現 . . . . .	27
5.2.2	優先權設定 . . . . .	28
5.2.3	功率控制 . . . . .	29
5.2.4	連結排程 . . . . .	29
5.3	模擬結果 . . . . .	31
第 6 章	結論 . . . . .	37
參考文獻	. . . . .	38





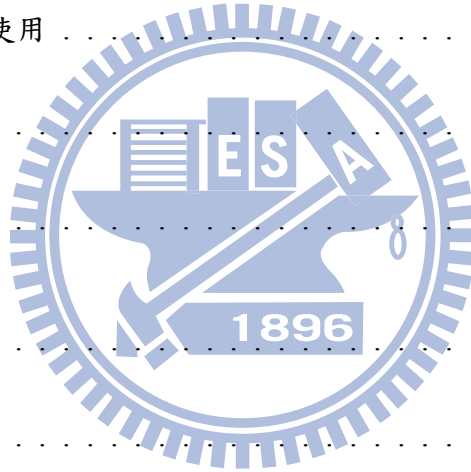
# 表 目 錄

5.1 參數設定 ..... 26



# 圖 目 錄

2.1	FlashLinQ 的 Superframe	4
2.2	通訊通道架構	4
2.3	連接帳號重複使用	5
2.4	連接排程架構	6
2.5	連接排程範例	7
4.1	superframe	12
4.2	通訊通道架構	13
4.3	同儕發現與連結帳號選取架構	14
4.4	新加入的傳送端流程圖	15
4.5	已成功建立連結的傳送端流程圖	15
4.6	尚未建立連結的接收端流程圖	16
4.7	已建立連結成功的接收端流程圖	16
4.8	重複使用連結帳號範例	17
4.9	優先權設定的示意圖	18



4.10	傳送端與接收端流程圖	19
4.11	連結排程區塊示意圖	19
4.12	傳送與接收區塊示意圖	20
4.13	連結排程中傳送端與接收端流程圖	20
4.14	連結排程範例	21
4.15	接收區塊範例	21
4.16	完整連結排程與功率控制結構	22
4.17	傳送端在連結排程與功率控制的流程圖	23
4.18	接收端在連結排程與功率控制的流程圖	24
5.1	同儕發現模擬流程圖	27
5.2	優先權設定的流程圖	28
5.3	功率控制的流程圖	29
5.4	連結排程的流程圖	30
5.5	不同選取帳號方式之連結數量變化 (50 個連結帳號)	32
5.6	不同選取帳號方式之連結數量變化 (100 個連結帳號)	32
5.7	在無優先權設定情況下成功傳輸率之 SIR 變化 (500 對連結)	33
5.8	在優先權設定情況下成功傳輸率之 SIR 變化 (500 對連結)	33
5.9	在無優先權設定情況下成功傳輸率之 SIR 變化 (500 對連結)	34
5.10	在優先權設定情況下成功傳輸率之 SIR 變化 (500 對連結)	34
5.11	在無優先權設定情況下成功傳輸率之連結數量變化	35

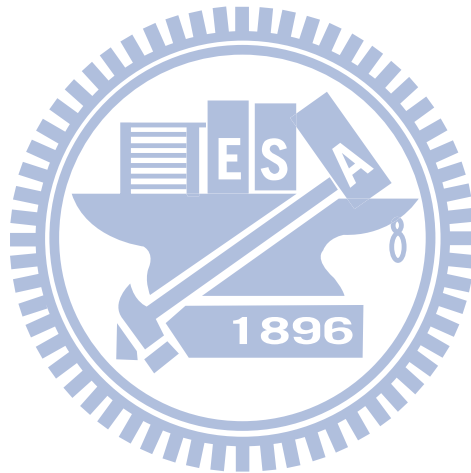


5.12 在優先權設定情況下成功傳輸率之連結數量變化 . . . . .	35
5.13 在無優先權設定情況下成功傳輸率之連結數量變化 . . . . .	36
5.14 在優先權設定情況下成功傳輸率之連結數量變化 . . . . .	36



# 演算法目錄

1	To calculate and adjust power for its D2D link . . . . .	25
---	--	----



# 第一章 介紹

## 1.1 背景

近年來，因為資料量快速的提升，無線網路面對到越來越多的資料量。資料量往往會影響整個無線通訊系統的效能。為符合國際電信聯盟 (International Telecommunication Union, ITU) 所提出的第四代行動通訊標準，第三代合作夥伴計畫 (3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project, 3GPP) 提出了前瞻長期發展 (Long Term Evolution-Advanced, LTE-A)。裝置對裝置 (Device-to-device, D2D) 通訊技術能使裝置直接進行通訊不需要經過任何媒介，例如：基地台、無線存取點。同時，裝置對裝置的通訊技術也能與現有的行動網路共存。裝置對裝置的通訊方式又可以區分為兩大類：一種是集中式，另一種為分散式。

## 1.2 集中式裝置對裝置通訊

集中式裝置對裝置通訊通常是操作在執照頻段，而這些裝置對裝置的使用者需要被基地台或無線存取點所控制。集中式裝置對裝置通訊的技術又可以被細分為兩種不同的模式：支撐式 (Underlay mode) 和覆蓋式 (Overlay mode)。

操作在支撐模式下的裝置對裝置的使用者與蜂巢式的使用者分享同樣的資源，兩者使用同樣的資源進行通訊因而造成嚴重的干擾，不過這卻是較有效率提升整個系統容量的一種方式。為了減緩或消除干擾，基地台可以透過功率控制、資源分配之類的

方式讓兩者之間的干擾變小。

操作在覆蓋模式下的裝置對裝置的使用者透過基地台的資源分配，利用蜂巢式用戶沒有使用的或者可被重複使用的資源進行通訊，或是特地保留一段資源專門提供給裝置對裝置的使用者。因此，兩種不同類型的使用者並不會互相造成干擾。

### 1.3 分散式裝置對裝置通訊

分散式裝置對裝置通訊通常是操作在免執照的頻段，同時並沒有設備主動去控制分散式裝置對裝置通訊的使用者，因此需要一些協定或機制去控制這些使用者避免彼此嚴重干擾的問題。傳統的藍芽 (Bluetooth) 以及 Wi-Fi 都是屬於這種通訊方式。以 Wi-Fi 為例，通訊範圍短、避免碰撞的機制，都還有改進的空間。為了改善傳統裝置對裝置的系統，高通 (Qualcomm) 在 2006 年提出了一項新的通訊技術，他們把這項技術稱為 FlashLinQ。這項技術使裝置能夠自動找到自己想要的夥伴無須透過基地台的協助，而搜尋範圍可達一公里，同時能夠量測裝置的傳輸功率，進而執行更可靠的避免碰撞機制。

### 1.4 研究動機

由於目前有關於裝置對裝置通訊的研究 [1] [2] [3]，大部分的研究著重於功率控制、資源分配、干擾消除等等，這些研究議題都忽略掉一個裝置對裝置通訊中最重要的一步驟，裝置之間如何發現彼此，以及發現後如何建立連結。我們覺得這個步驟是非常重要的，裝置之間如何不透過基地台的協助，找到將要進行通訊的夥伴。FlashLinQ 提供了一個完整的架構與程序，從同儕發現、連結管理、連接排程到最後的資料傳輸。因此，我們的研究工作是以 FlashLinQ 的架構為基礎，從中修改一部分的架構，並提出一個新的方法進而達到更好的系統效能。

## 第二章 FlashLinQ

### 2.1 FlashLinQ 簡介

FlashLinQ(FLQ) [4][5] 以正交分頻多工 (Orthogonal frequency-division multiplexing, OFDM) 為基礎的同步的系統，使得每個裝置能發現彼此、通道分配、連接排程、功率控制。

### 2.2 FlashLinQ 架構

FLQ 系統式設計在 5MHz 的頻寬，使用 2.586GHz 載波，以正交分頻多工為基礎的同步結構。所有裝置必須先透過蜂巢式網路的幫助進行同步。一個基本的 FLQ 的架構包含三個部份：(1) 同步 (Synchronization)、(2) 發現 (Discovery) 和標記 (Paging)、(3) 資料傳輸 (Data transfer)。

發現時槽 (Discovery slot) 被切割分為多數個小時槽，頻率上也被切割為許多平行的單頻通道 (Single tone channel)，在同儕發現週期中，發現通道資源 (Discovery channel resource) 被分為許多同儕發現資源 (Peer discovery resource)。

在通訊通道 (Traffic Channel, TCCH) 架構中包含了四個部分：(1) 連接排程 (Connection scheduling)、(2) 速率排程 (Rate scheduling)、(3) 資料區段傳輸 (Data segment transfer)、(4) 確認 (Acknowledge)。



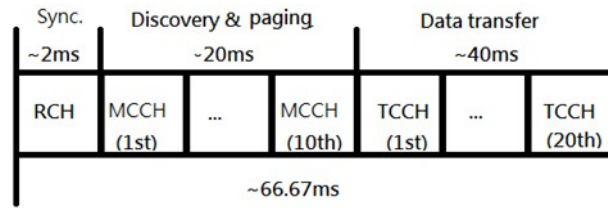


圖 2.1: FlashLinQ 的 Superframe

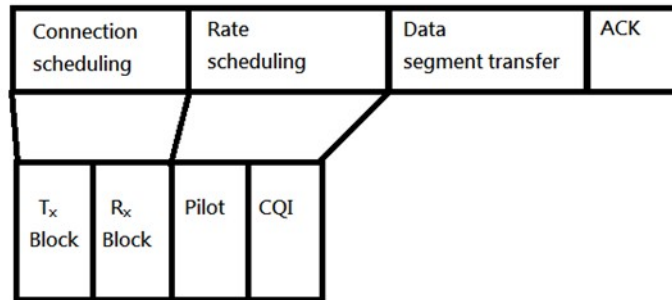


圖 2.2: 通訊通道架構

## 2.3 自動發現

在此階段 FLQ 提出了兩個假設：(1) 使用者是依序加入這個網路，FLQ 忽略同時有兩個以上的使用者加入到網路中，並且進行選擇同儕發現資源、(2) FLQ 在此不考慮雜訊的影響。

每個裝置自行選擇一個同儕發現資源進行傳送發現訊號 (Discovery signal)，之後監看剩下的同儕發現資源以及接收其他裝置送出的發現訊號。

## 2.4 連接管理

在連接管理階段，為了確保每個連結都可以得到一個地理位置上獨立的連接帳號 (Connection Identifier, CID)。連接帳號的產生根據觀察鄰近的連結功率訊號大小而定，最後每個不同連接帳號被隨機對應到優先權順序，而這個優先權順序幫助系統進行連

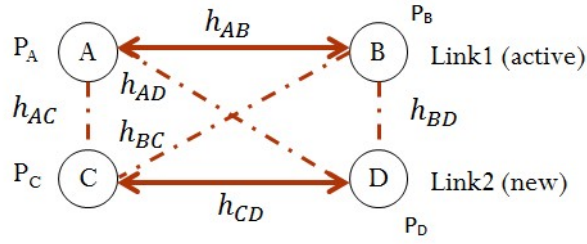


圖 2.3: 連接帳號重複使用

接管理的動作。FLQ 提出了一個選擇連接帳號的方式，讓鄰近的連結不會使用到相同的連接帳號。

假設連結 C-D 要使用與連結 A-B 相同的連接帳號，他們兩個連結必須在不同區域。

$$\min \left( \frac{P_B |h_{AB}|^2}{P_C |h_{AC}|^2}, \frac{P_B |h_{AB}|^2}{P_D |h_{AD}|^2} \right) > SIR_{threshold} \quad (2.1)$$

$$\min \left( \frac{P_A |h_{AB}|^2}{P_C |h_{BC}|^2}, \frac{P_A |h_{AB}|^2}{P_D |h_{BD}|^2} \right) > SIR_{threshold} \quad (2.2)$$

$$\min \left( \frac{P_D |h_{CD}|^2}{P_A |h_{AC}|^2}, \frac{P_D |h_{CD}|^2}{P_B |h_{BC}|^2} \right) > SIR_{threshold} \quad (2.3)$$

$$\min \left( \frac{P_C |h_{CD}|^2}{P_A |h_{AD}|^2}, \frac{P_C |h_{CD}|^2}{P_B |h_{BD}|^2} \right) > SIR_{threshold} \quad (2.4)$$

式子 (2.1) 到 (2.4) 用來確保他們彼此不會對對方造成太嚴重的干擾，同時也確定這兩個連結是距離彼此非常遠的。如果這些條件都符合，則這兩個連結將可以使用同樣的連接帳號。為了讓連接帳號選擇的方法可以執行，FLQ 將在標記階段內的連接帳號資源分成數個彼此正交的子資源。透過已啟動的連結 A-B 各自傳送直接功率 (Direct power) 與反向功率 (Inverse power echo) 讓新加入的連結 C-D 知道此連接帳號已被使用，同時，透過直接功率與反向功率，使用者 C 與使用者 D 可以得知是否滿足以上的條件，

最後決定是否使用該連接帳號。在我們的研究中，同樣使用這種方式讓每個裝置得以量測到訊號功率與干擾功率的比值，我們將在 4.3 詳細說明。

## 2.5 連接排程

在進行資料傳輸以前，所有已建立好連結的裝置需要先進行連接排程，確認彼此在資料傳輸階段不會產生嚴重的干擾。傳送端與接收端分別在傳送區塊 ( $T_x$  block) 傳送直接功率以及在接收區塊 ( $R_x$  block) 傳送反向功率訊號。透過這種方式彼此可以計算出訊號功率與干擾功率比值，在不會對優先權較高的連結造成過多干擾以及自己能夠成功接收資料的情況下，此連結將能夠在資料傳輸階段進行傳輸。

而傳送與接收區塊上的編號對應每個連結的優先權順序，每個連結都在自己的區塊上傳送功率訊號。在排程的過程中，每個連結需要考量兩個決定：(1) 接收讓步 ( $R_x$  yielding)、(2) 傳送讓步 ( $T_x$  yielding)。

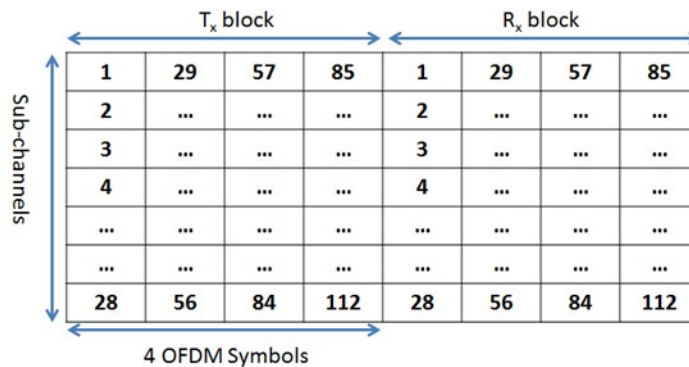


圖 2.4: 連接排程架構

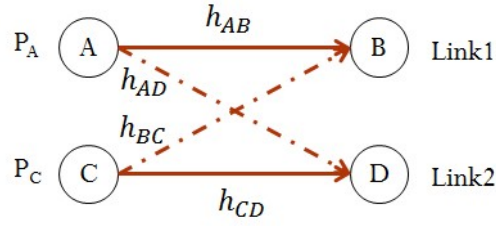


圖 2.5: 連接排程範例

$$\frac{P_C |h_{CD}|^2}{P_A |h_{AD}|^2} > \gamma_{threshold} \quad (2.5)$$

(1) 連結 C-D 接收讓步：使用者 A 和使用者 C 傳送一個直接功率 ( $P_A$  and  $P_C$ ) 分別用在傳送區塊上的第一個區塊和第二個區塊。使用者 D 可以透過在區塊上的功率大小計算出訊號功率與干擾功率比值的大小。假如計算出的訊號功率與干擾功率比值滿足 (2.5)

表示使用者 D 能夠接收到使用者 C 所傳的資料，之後使用者 D 會在接收區塊上的第二個區塊傳送反向功率訊號，反之則代表因為干擾嚴重無法成功接收，使用者 D 則會放棄接收，也不會在接收區塊上傳送任何訊號，此情況的發生則稱為接收讓步。

(2) 連結 C-D 傳送讓步：使用者 B 會傳送一個反向功率訊號  $\frac{K}{P_A |h_{AB}|^2}$  ( $K$  為已定義的系統常數、 $P_A$  為 A 的傳送功率、 $h_{AB}$  為 AB 使用者間的通道增益) 在接收區塊上，這個反向功率訊號能使較低優先權順序的連結量測訊號功率與干擾功率比值，得知自己是否會干擾到優先權較高的連結。使用者 C 在接收區塊收到使用者 B 傳送的反向功率訊號  $\frac{K |h_{BC}|^2}{P_A |h_{AB}|^2} = \gamma$ ，使用者 C 即可估測得連結 A-B 的訊號功率與干擾功率比值。

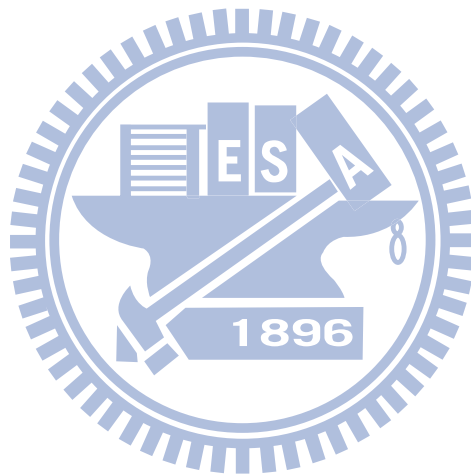
$$\left[ \gamma \cdot \frac{P_C}{K} \right]^{-1} = \frac{P_A |h_{AB}|^2}{P_C |h_{BC}|^2} \quad (2.6)$$

假設估測的訊號功率與干擾功率比值滿足 (2.7)

$$\left[ \gamma \cdot \frac{P_C}{K} \right]^{-1} < \gamma_{TH} \quad (2.7)$$

代表使用者 C 的傳送功率太大會對連結 A-B 造成干擾，使用者 C 就必須放棄傳

輸，而這種情形則稱為傳送讓步，反之，使用者 C 就可進行傳輸。最後，根據傳送與接收的讓步發生與否，每個連結可以自行決定是否進行傳輸。



## 第三章 系統架構

### 3.1 環境與假設

我們考慮的只有裝置對裝置的使用者均勻分布在一個室外的區域，使用者在通訊進行前皆須透過蜂巢式網路的幫助進行同步的動作，使用者們依序加入網路，因此我們在此不考慮兩個以上的使用者剛好精確地同時加入網路。我們所定義的一個架構的時間是非常短的，因此，我們假設在這麼短的時間內只會有一個使用者加入。此外因為人行走的速度是較緩慢的，所以我們把使用者視為固定的。

為了方便分析整個系統，我們還有三個額外的假設：(1) 在我們所定義的一個架構時間內，每個傳送端只會與一個接收端形成連結。(2) 形成連結的兩個使用者是非常靠近彼此的。(3) 只要訊號功率與干擾功率加雜訊功率的比值 (Signal to Interference plus Noise Ratio, SINR) 大於我們事前所定義的門檻，我們就認定接收器總是可以成功接收資料。

### 3.2 使用者的位置分布

我們的模擬過程中，我們分兩階段模擬，第一階段模擬同儕發現，第二階段為模擬連結排程。在同儕發現的模擬中，我們並沒有假設每個將形成一對的傳送端與接收端是非常靠近彼此的，因此我們先將傳送端均勻分布在區域內，之後將接收端一樣均勻地分布在區域內，最後隨機挑取任一傳送端與接收端設定為一對。

在連結排程的模擬中，因為我們假設形成連結的傳送端與接收端是非常靠近彼此的，於是我們先將傳送端均勻地分布在區域內，之後根據我們隨機變數產生的角度與距離，將相對應的接收端放在該傳送端附近。兩者之間最遠的距離不會超過區域邊長的十分之一。

### 3.3 通道效應

在我們的研究工作中，只考慮傳送端的傳輸功率經過路徑與環境衰減，最後在接端所收到的功率。而最主要的原因為路徑衰減以及遮蔽效應。

#### 3.3.1 路徑衰減 (Path Loss)

最常見的通道效應就是路徑衰減，而其中最簡單的就是只考慮傳送端與接收端的視距 (Line of sight, LOS) 在一個空曠的環境，沒有任何障礙物在兩者的路徑上。可以將接收到的功率表示為：


$$P_r = P_t \left[ \frac{\sqrt{G}\lambda}{4\pi d} \right]^2 \quad (3.1)$$

$P_t$  為傳送端傳送功率、 $G$  為傳送端與接收端的天線乘積、 $\lambda$  為波長、 $d$  為傳送端與接收端兩者的距離。

一般而言，簡化過後的路徑衰減模組可以表示為：

$$P_r = P_t K \left[ \frac{1}{d} \right]^\alpha \quad (3.2)$$

$K$  是常數、 $\alpha$  為路徑衰減指數， $2 \leq \alpha \leq 6$ 。

#### 3.3.2 遮蔽效應 (Shadowing Effect)

遮蔽效應指的是傳送訊號功率因為路徑上的障礙物所造成的衰減，通常是因為傳送功率被障礙物吸收、反射、折射、散射所導致接收到的功率下降，而這種現象稱為遮蔽

效應。將路徑衰減與遮蔽效應結合可表示為：

$$\frac{P_r}{P_t} = K \left[ \frac{1}{d} \right]^\alpha \psi \quad (3.3)$$

將(3.3)以 dB 表示：

$$\frac{P_r}{P_t}(dB) = 10\log_{10}K - 10\alpha\log_{10}d + \psi_{dB} \quad (3.4)$$

$\psi_{dB} = N(0, \sigma_{\psi_{dB}}^2)$  在同樣離傳送端距離為  $d$  的接收端所收到的功率而有不同，而接收功率的不同有著一個對數常態分佈，這種現象則稱為對數常態遮蔽效應。





## 第四章 分散式同儕發現和功率控制

### 4.1 Superframe 架構

我們沿用 FLQ 的 superframe 架構，將時間長度訂為 66.67 毫秒，superframe 包含了 (1) 同步 (Synchronization)、(2) 連結帳號選取 (Link-ID Selection) 和同儕發現 (Peer Discovery)、(3) 優先權設定 (Priority Setting)、(4) 通訊階段 (Traffic)。

在同步過程中，每個裝置透過蜂巢式網路的幫助進行同步的動作。連結帳號選取則是為了避免鄰近的連結使用相同的連結帳號。同儕發現階段用來讓裝置進行找尋欲通訊的裝置，如有找到該裝置則進行連結。優先權設定讓系統給予每個連結一個優先權的順序，優先權的順序分配根據每個連結的通訊品質決定，而優先權能幫助我們進行下一步的連結排程。通訊階段又細分為連結排程 (Link Scheduling) 與資料傳輸階段 (Data Transfer)

連結排程用來決定在一個區域範圍內有多少連結能夠在不互相造成嚴重干擾情況

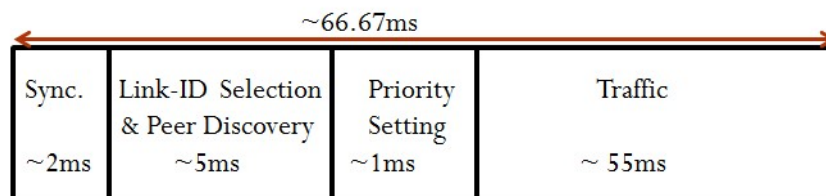


圖 4.1: superframe

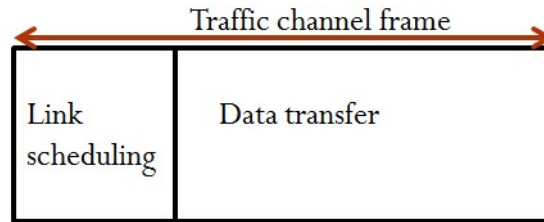


圖 4.2: 通訊通道架構

下同時進行通訊的動作，而在此階段允許進行通訊的連結會在之後的資料傳輸階段進行通訊。在資料傳輸階段，所有允許進行通訊的連結會使用全部的頻譜資源同時進行通訊。

## 4.2 同步

每個欲進行通訊的裝置皆須透過蜂巢式網路的幫助進行同步的動作。詳細如何同步我們並不在此部分細究。

## 4.3 同儕發現與連結帳號選取

在同儕發現與連結帳號選取階段，我們將它切割成 5 個不同的大區塊，將它們各自分為第一連結帳號區塊 ( $1^{st}$  Link-ID Block)、傳送發現區塊 ( $T_x$  Discovery Block)、接收發現區塊 ( $R_x$  Discovery Block)、第二連結帳號區塊 ( $2^{nd}$  Link-ID Block)、第三連結帳號區塊 ( $3^{rd}$  Link-ID Block)。第一和第二連結帳號區塊皆被分為 10 個重複子區塊，而這些重複子區塊用來做跳頻的動作，為了讓接收端量測到更準確的訊號功率與干擾功率的比值 (Signal to interference, SIR)。而每個區塊皆在時間與頻率上做切割，切割後的小資源區塊上面的編號對應不同的連結帳號，詳細架構如圖 4.3，每個連結的傳送端與接收端在這些連結帳號區塊內傳送功率訊號，為了讓其他裝置量測訊號功率與干擾功率比值以及知道該連結帳號已被使用。在傳送發現區塊和接收發現區塊傳送端與接收端分別

傳送控制資訊 (發現訊號和確認訊號)，透過控制資訊發現彼此。

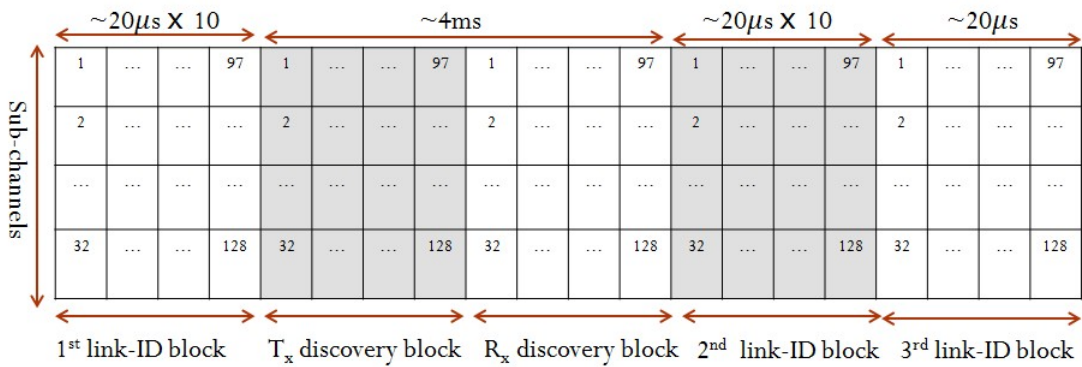


圖 4.3: 同儕發現與連結帳號選取架構

第一連結帳號區塊讓已成功建立連結的接收端傳送反向功率訊號，透過在相對應的連結帳號區塊上的功率訊號，可以使新加入欲建立連結的傳送端知道該連結帳號已被使用。新加入的傳送端在傳送發現區塊內傳送發現訊號找尋自己欲通訊的對象。接收端如果在傳送發現區塊收到發現訊號，之後回傳一個確認訊號在接收發現區塊告知傳輸端。第二連結區塊讓新加入的接收端傳送反向功率訊號在相對應的連結帳號區塊上。第三連結帳號區塊讓已成功建立連結的傳送端傳送允許訊號，透過這個允許訊號讓新加入的連結知道是否能使用同樣的連結帳號。

針對一個新加入的傳送端，首先，它必須先去監看第一連結帳號區塊，從中找尋一個尚未被使用或者可被重複使用的連結帳號，如果該連結帳號可以使用，在傳送發現區塊時，它將會傳送一個發現訊號在相對的連結帳號的區塊上，接著在接收發現區塊接收確認訊號，如果成功接收到接收端回傳的確認訊號，最後在第三連結帳號區塊接收允許訊號，如果有接收到允許訊號，則表示連結建立成功。

針對一個已成功建立連結的傳送端，它必須先監看第二連結帳號區塊，根據在此區塊收到的功率大小判斷該連結帳號是否能被重複使用，如果該連結帳號可以被重複使用，它將會在第三連結帳號區塊上，傳送一個允許訊號在相對應的連結帳號區塊上。

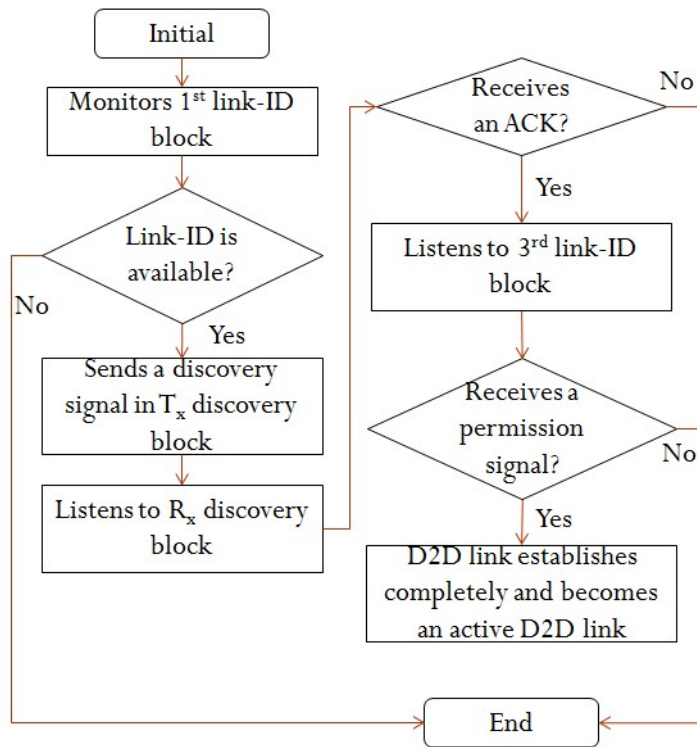


圖 4.4: 新加入的傳送端流程圖

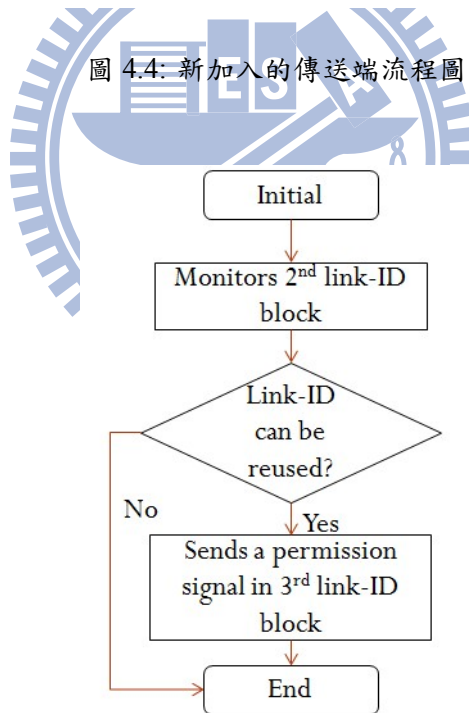


圖 4.5: 已成功建立連結的傳送端流程圖

尚未建立連結的接收端器，不斷地聽取傳送發現區塊上的發現訊號，如有接收到發現訊號則回傳確認訊號在接收發現區塊內相對應的連結帳號區塊上，之後在第二連結帳號區塊上傳送反向功率訊號，最後在第三連結帳號區塊上接收允許訊號，如有收

到允許訊號，表示該連結建立成功。

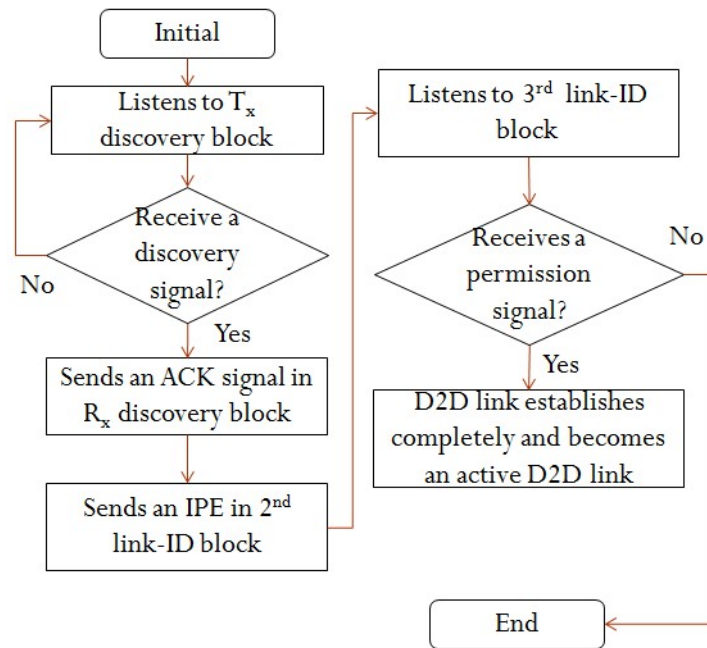


圖 4.6: 尚未建立連結的接收端流程圖

最後已建立連結成功的接收端，唯一要做的事，就是在第一連結帳號區塊上，傳送反向功率訊號在相對應的連結帳號區塊上。

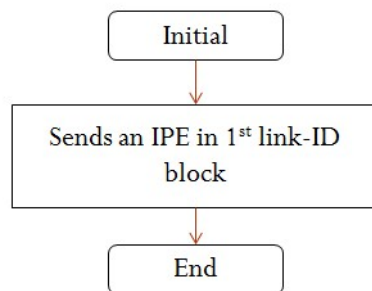


圖 4.7: 已建立連結成功的接收端流程圖

接下來我們討論一個連結帳號將被兩個連結所重複使用的例子，如下圖所示，連結一 (Link1) 視為已成功建立連結，連結二 (Link2) 則是新加入的連結欲使用跟連結一同樣的連結帳號。在此我們只考慮單向傳輸。

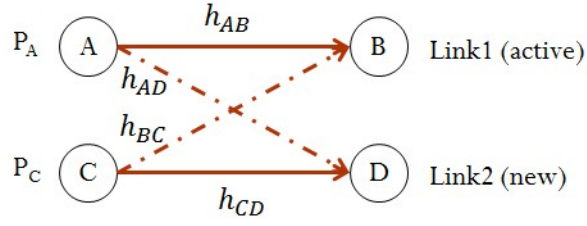


圖 4.8: 重複使用連結帳號範例

$$\min \left( \frac{P_A h_{AB}}{P_C h_{BC}}, \frac{P_C h_{CD}}{P_A h_{AD}} \right) \geq SIR_{threshold} \quad (4.1)$$

假設連結一和連結二能夠使用相同的連結帳號，他們必須符合 (4.1) 式子的要求。

(4.1) 式子的物理意義是使用者 C 不會干擾到使用者 B，同時，使用者 A 不會干擾到使用者 D。

為了讓兩個連結彼此知道是否會干擾到對方的接收端，使用者 B 會先在第一連結帳號區塊內相對應的區塊上傳送反向功率訊號  $\frac{K}{P_A h_{AB}}$  (K 為已定義的系統常數、 $P_A$  為 A 的傳送功率、 $h_{AB}$  為 AB 使用者間的通道增益)，以此反向功率告知此連結帳號已被使用，以及能夠讓其他使用者量測訊號功率與干擾功率比值。

使用者 C 在該連結帳號區塊上所接收到使用者 B 傳送的功率訊號  $\frac{K h_{BC}}{P_A h_{AB}} = \gamma$ ，使用者 C 透過  $\left[ \frac{\gamma P_C}{K} \right]^{-1} = \frac{P_A h_{AB}}{P_C h_{BC}}$  即可估測出訊號功率與干擾功率比值，進而得知是否會干擾到使用者 B。

同樣地，使用者 D 在第二連結帳號區塊內相對應的區塊上傳送反向功率訊號  $\frac{K}{P_C h_{CD}}$ ，用此告知已建立連結成功的連結一，該連結帳號會被重複使用，使用者 A 透過該連結帳號區塊上所接收到使用者 D 傳送的功率訊號，即可估測出訊號功率與干擾功率比值，如果判定為不會干擾使用者 D，將會在第三連結帳號區塊上，傳送允許訊號在相對應的連結區塊上。

最後，使用者 C 和使用者 D 透過第三連結帳號區塊上的允許訊號，得知是否能使

用該連結帳號，如果接收到允許訊號，同時也代表連結二的成功建立。

## 4.4 優先權設定

為了配合之後的連結排程，我們指派不同的優先權順序給每個連結，而擁有較高訊號功率與干擾功率比值的連結，將會得到較高的優先權。為了讓每個連結知道自己的優先權順序，他們必須得到每個連結的訊號功率與干擾功率比值的資訊，透過訊號功率與干擾功率比值的大小排序，每個連結將會得到一個優先權順序。

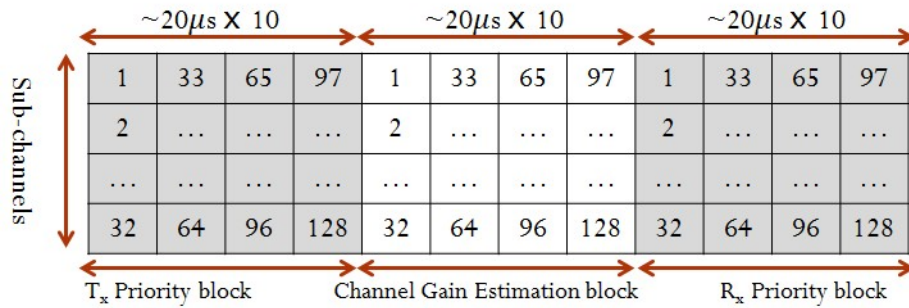


圖 4.9: 優先權設定的示意圖

傳送優先權區塊 ( $T_x$  Priority Block)：每個成功建立連結的傳送端，在此階段皆傳送一樣的單位功率訊號  $P_{unit}$ ，而接收端在此階段透過量測每個小區塊上的功率訊號，估計得出自己連結的訊號功率與干擾功率比值大小  $\frac{P_{unit}h_{ii}}{\sum_{j=1, j \neq i}^N P_{unit}h_{ji}}$

通道增益估計區塊 (Channel Gain Estimation)：每個接收端在此階段傳送相同的單位功率訊號，而傳送端透過在不同小區塊上接收到的功率訊號  $P_{unit}h_{ij}$ ，即可估計出每個接收器與自己之間的通道增益  $h_{ij}$ 。

接收優先權區塊 ( $R_x$  Priority Block)：每個接收端在此階段傳送一個代表自己訊號功率與干擾功率比值大小的功率訊號  $K \cdot P_{SIR_i}$  在相對應連結帳號的小區塊上，而傳送端在每個不同區塊上所接收到的功率訊號大小  $K \cdot P_{SIR_i}h_{ij}$ ，透過這種方式傳送端可以得到自己連結的訊號功率與干擾功率比值大小，同時也可以估得其他每個連結的訊號

功率與干擾功率比值大小，如此一來，就能透過訊號功率與干擾功率比值的排序，最終得到自己連結的優先權順序。

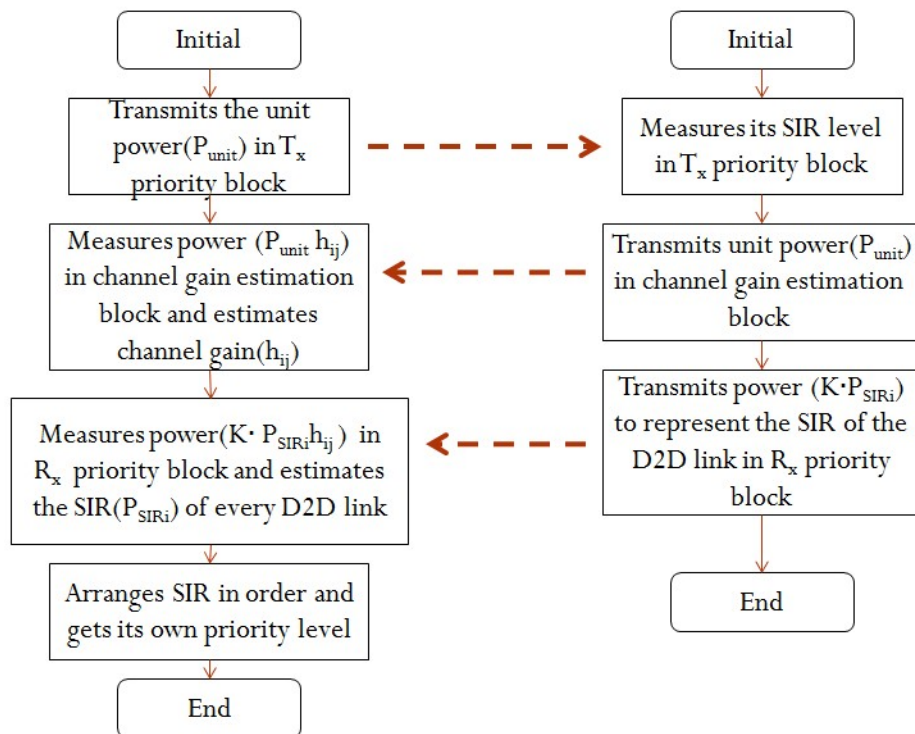


圖 4.10: 傳送端與接收端流程圖

## 4.5 連結排程

連結排程區塊 (Link Scheduling Block) 包含了傳送區塊 ( $T_x$  Block) 和接收區塊 ( $R_x$  Block)。這兩個區塊上的編號對應每個連結的優先權的順序。連結排程幫助每個連結決定是否能同時進入資料傳輸階段。

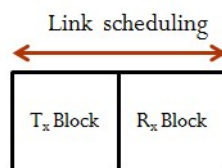


圖 4.11: 連結排程區塊示意圖



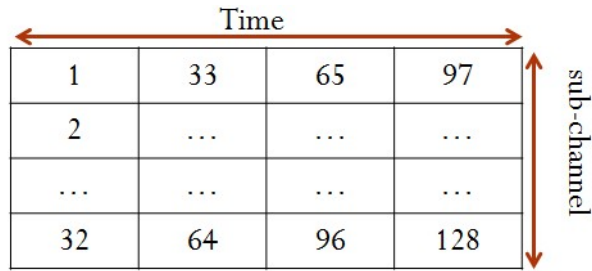


圖 4.12: 傳送與接收區塊示意圖

在傳送區塊，每個連結的傳送端傳送一個最大功率的訊號。而接收端在此區塊計算每個連結的干擾功率大小，透過事先定義好的訊號功率與干擾功率比值門檻，每個連結可以知道自己能夠容忍多少個連結同時進行傳輸。

在接收區塊，每個連結的接收端根據自己可以容忍連結數量的多寡，在對應的區塊上傳送容忍訊號。最後傳送端透過接收區塊上的容忍訊號分布，即可得知自己是否能進入資料傳輸階段。

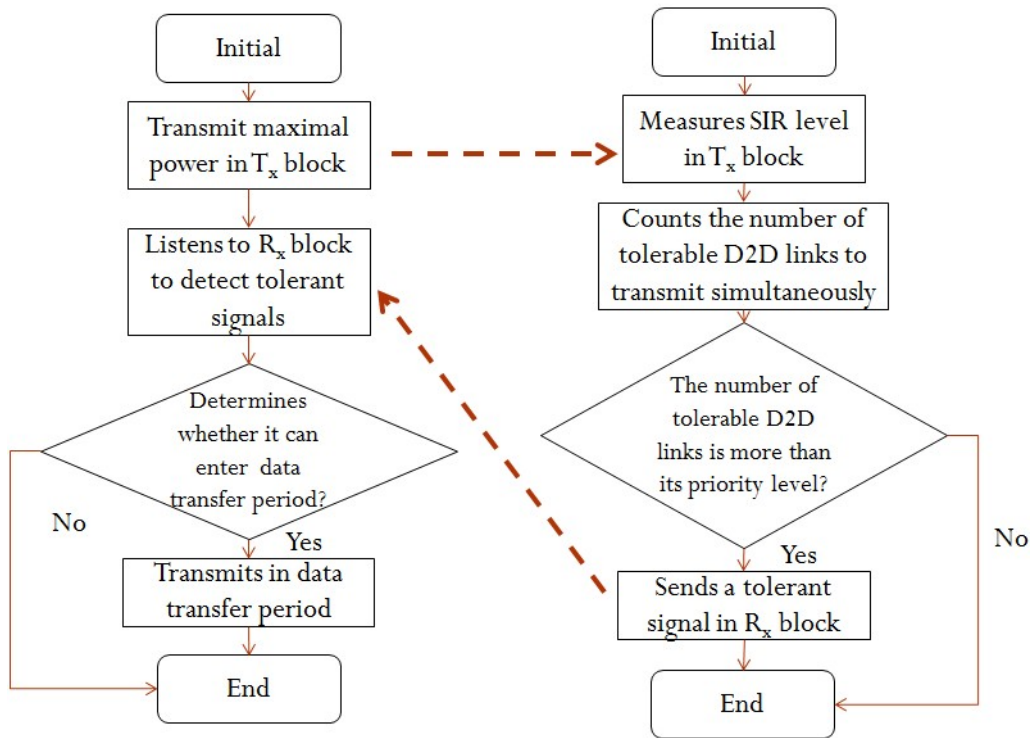


圖 4.13: 連結排程中傳送端與接收端流程圖

每個傳送端在傳送區塊用最大的功率進行傳輸，接收端量測每個小區塊上的功率訊號，分別計算出自己能夠容忍同時傳輸的連結數目。如果發現能夠容忍同時傳輸的連結數目比自己的優先權順序還要多，則會在接收區塊上傳送一個容忍訊號。反之，如果能夠容忍同時傳輸的連結數目比自己的優先權順序少，則不傳送容忍訊號。

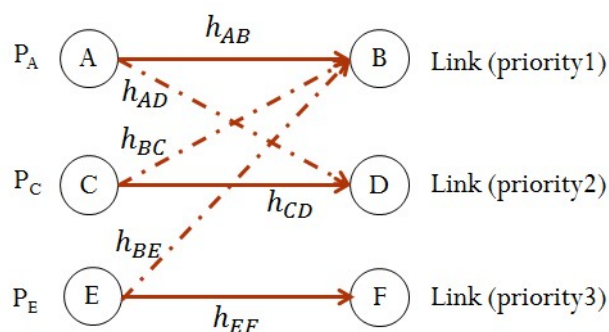


圖 4.14: 連結排程範例

假設連結 A-B 為優先權順序為 1 的連結，連結 C-D 為優先權順序為 2 的連結，以此類推。如果連結 A-B 發現自己能夠容忍 32 個連結同時進行傳輸，使用者 B 將會在接收區塊上編號為 33 個小區塊上，傳送一個容忍訊號。同樣地，連結 C-D 如果經過計算得知能容忍 7 個連結同時進行傳輸，使用者 D 則會在接收區塊上編號為 8 的小區塊上傳送一個容忍訊號。最後，根據每個接收端在接收區塊上傳送的容忍訊號的位置，每個傳送端將可以得知自己是否能進行傳輸在最後的資料傳輸階段。

1	33 1 <sup>st</sup>	65	97
...	...	...	...
8 2 <sup>nd</sup>	...	...	...
32	64	96	128

←————— Rx block —————→

圖 4.15: 接收區塊範例

如果最後發現第一小區塊到第七小區塊上面結沒有任何容忍訊號，即表示連結優先權順序 1 到 7 的連結可以進入到最後的資料傳輸階段。

## 4.6 功率控制

為了提高能夠同時傳輸的連結數量，我們在連結排程區塊後額外加入了兩個區塊，而這兩個區塊的功能是用來做功率控制。

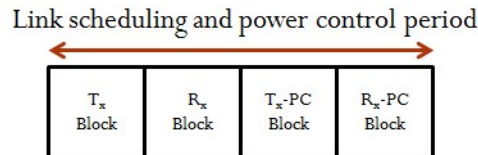


圖 4.16: 完整連結排程與功率控制結構

同樣地，傳送區塊的功用並沒有改變，每個連結的傳送端一樣在此用最大的功率傳送訊號，而接收端一樣在此計算干擾功率估計自身能容忍的連結數量。

接收區塊在此與之前的功用並不相同，每個接收端計算出自身能容忍的連結數量後，根據能容忍的連結數量的干擾功率總和，調整自己的所需要的傳送功率大小，最後在接收區塊傳送一個調整後的功率訊號，而傳送端在此區塊上所相對應的量測得到的功率訊號大小，即是該連結所需要符合訊號功率與干擾功率比值門檻大小的功率。

在傳送功率控制區塊 ( $T_x$ -PC Block)，每個連結的傳送端根據在接收區塊上所量測得到的功率訊號大小，傳送已調整過後的功率訊號大小。

在接收功率控制區塊 ( $R_x$ -PC Block)，每個連結的接收端重新計算自己能夠容忍連結同時傳輸的數量。與連結排程時的接收區塊一樣，每個接收器根據自己計算的容忍連結同時傳輸的數量，在相對應的小區塊上，傳送容忍訊號。而傳送端根據接收功率控制區塊上的容忍訊號分布，得知自己是否能進入資料傳輸階段。

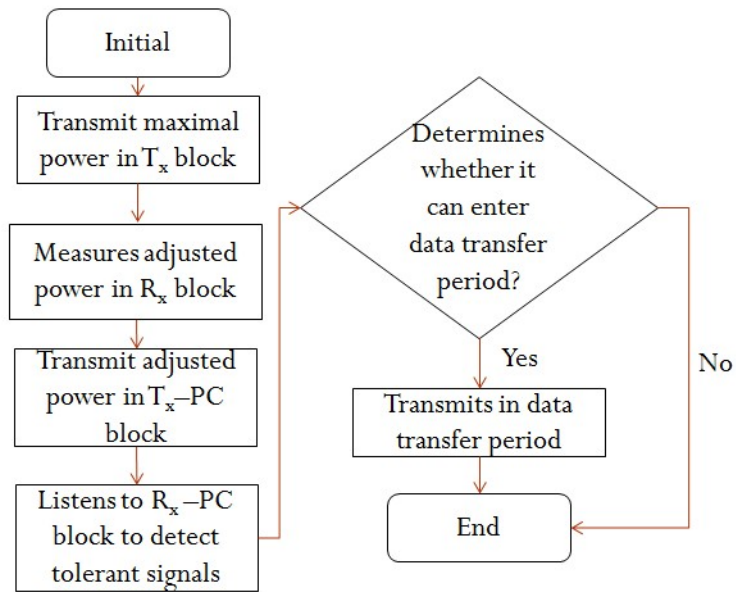


圖 4.17: 傳送端在連結排程與功率控制的流程圖

每個連結的傳送端先用最大的功率進行傳送訊號在傳送區塊，隨後量測接收區塊上相對應的功率大小，之後進行調整功率大小，用調整過的功率傳送訊號在傳送功率控制區塊，最後根據接收功率控制區塊上的容忍訊號，得知自己是否能進入最後的資料傳輸階段。

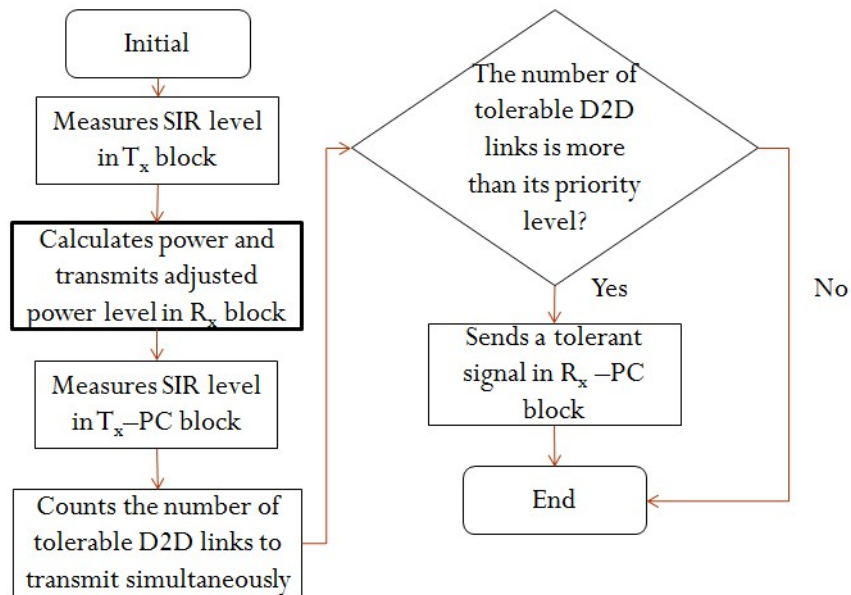


圖 4.18: 接收端在連結排程與功率控制的流程圖

每個連結的接收端先在傳送區塊量測自己的訊號功率與干擾功率比值大小，透過量測得知能夠容忍多少連結同時傳輸。之後，根據自己所能夠容忍的連結所造成的干擾功率大小，進而計算得到所需要的功率訊號大小。計算完後，用計算出的功率訊號大小在接收區塊上傳送訊號。詳細如何調整功率大小，我們之後進行描述。在傳送功率控制區塊重新計算自己能夠容忍連結數量的多寡，同樣地，如果能夠容忍的連結數目大於自己的優先權順序，則傳送容忍訊號在接收功率空區塊上相對應的小區塊。

### 4.6.1 功率調整

---

**演算法 1** To calculate and adjust power for its D2D link

---

**for** each D2D link with priority  $i \in [1, N]$  **do**

Consider from 1<sup>st</sup> to  $j^{th}$  links are allowed to access

Calculate interference  $\sum_{m=1, m \neq i}^j P_m h_{mi}$

$$P_{ieexact} = \frac{SIR_{threshold} \times \sum_{m=1, m \neq i}^j P_m h_{mi}}{h_{ii}}$$

$$P_{iad} = \frac{(P_{i0} - P_{ieexact})}{2} + P_{ieexact}$$

**if**  $i > j$  **then**

$$P_{i0} = P_{i0}$$

**else**

$$P_{i0} = P_{iad}$$

**end if**

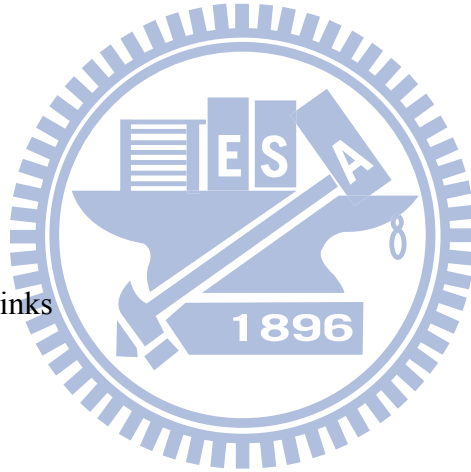
**end for**

$N$  is the number of all links

$P_{i0}$  is original power

$P_{iad}$  is adjusted power

---



針對每個優先權順序為  $i$  的接收器，假設能夠容忍第 1 到第  $j$  個連結同時進行傳輸，他將先計算出在能夠容忍的連結數目下所造成的干擾大小是多少。根據干擾功率的總和，他可計算出剛好符合訊號功率與干擾功率比值門檻大小的功率，最後，把自己原始功率扣除剛好符合門檻的功率除以 2，最後再加上剛好符合門檻的功率，把此當作調整過後的功率，最後用此功率，傳送訊號告知自己連結的傳送端。

## 第五章 模擬

### 5.1 模擬參數

表 5.1: 參數設定

PARAMETER	Value
Area	$100 \cdot 100(m^2)$
Max transmit power	500(mw)
Noise power	-112(dBm)
Discovery threshold $SIR_{DIS}$	5dB
Link-ID reuse threshold $SIR_{LID}$	20dB
Link scheduling threshold $SIR_{LS}$	5dB
Path Loss factor	4
Shadow fading: Lognormal	st. dev: 8 dB

## 5.2 模擬方法

我們的模擬總共分為兩部分，第一部分為同儕發現的模擬，第二部分為連結排程、功率控制、優先權設定的模擬。

### 5.2.1 同儕發現

在同儕發現的模擬中，我們不考慮一對裝置對裝置的使用者是彼此互相靠近的。我們均勻地將傳輸器與接收器分布在一個正方形的區域內，之後隨機挑取一個傳輸器與接收器視為一對。最後根據我們的假設，每一對使用者是依序加入網路，忽略同時有兩個以上的一起加入網路。

發現率定義為： $Discovery\ ratio \equiv \frac{\text{The number of link successful establishment}}{\text{The number of D2D pairs}}$

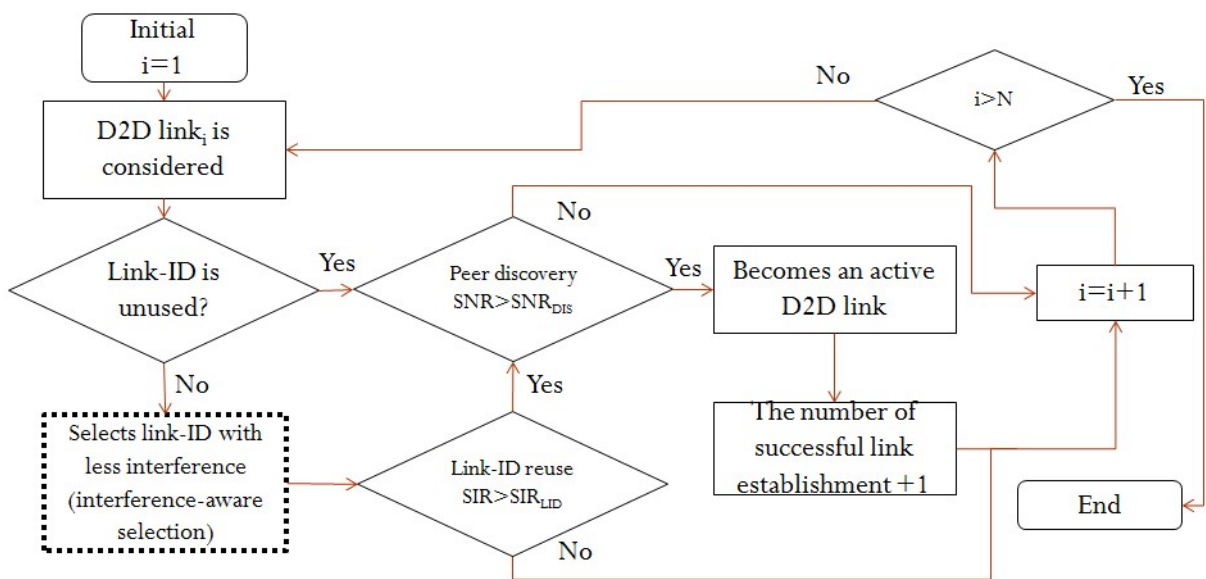


圖 5.1: 同儕發現模擬流程圖

使用者依序加入，加入後先選擇一個干擾較小的連結帳號，如果該連結帳號是沒有被使用的，則該使用者只須考慮訊號功率與雜訊功率比值是否大於我們所定的門檻，



如果符合門檻則形成連結並且成功發現連結數量加 1。假設選到的連結帳號已有被使用，該新加入的使用者須要先考慮訊號功率與干擾功率比值是否大於我們所定的門檻，如果符合則在考慮訊號功率與雜訊功率比值是否也符合，如果兩個門檻皆滿足，成功發現連結數量加 1。最後把每個使用者都加入後，結算成功發現連結數量除以模擬的總數量得到成功發現率。而在此我們用了兩種模擬方式：(1) 隨機選取連結帳號、(2) 找尋干擾較小的連結帳號。圖 5.1 虛線框所表示是否有用此方法模擬。

### 5.2.2 優先權設定

在最後的連結排程模擬中，我們考慮兩種情況：(1) 每個連結先經過優先權設定，將每個連結被模擬順序根據優先權順序(定義為  $i$ )、(2) 每個連結沒有經過優先權設定，每個連結被模擬的順序根據當初隨機決定的連結帳號(定義為  $i$ )。

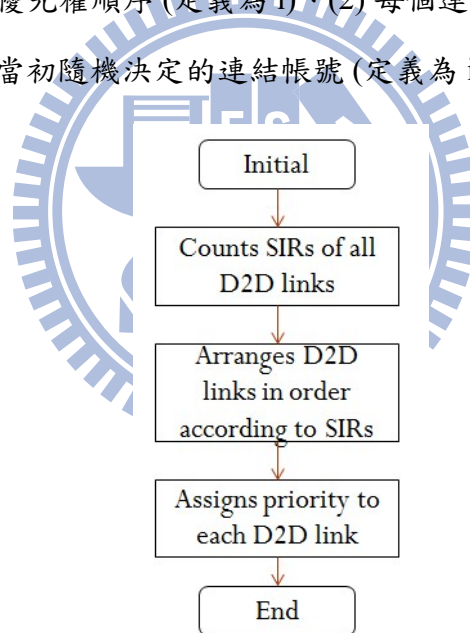


圖 5.2: 優先權設定的流程圖

我們計算出每個連結的訊號功率與干擾功率比值大小，根據每個訊號功率與干擾功率比值的大小作排序，最後給予每個連結一個優先權順序。

### 5.2.3 功率控制

功率控制在之後的連結排程，我們也模擬兩種情況：(1) 先做過功率控制，調整每個符合訊號功率與干擾功率比值門檻連結的功率、(2) 沒有事先調整功率，直接進行連結排程。

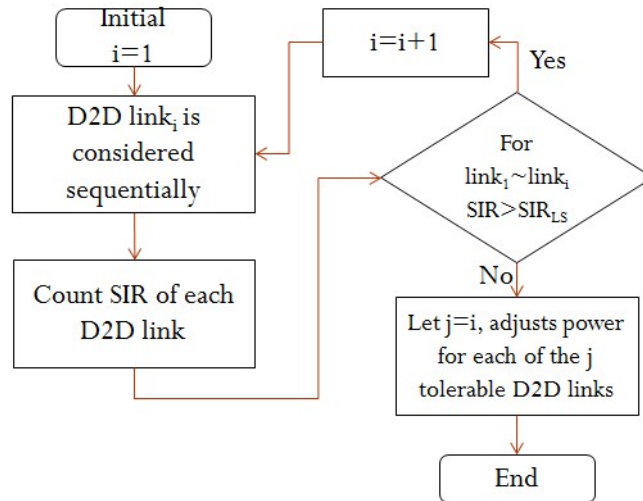


圖 5.3: 功率控制的流程圖

### 5.2.4 連結排程

我們假設形成連結的傳輸器與接收器非常靠近彼此，傳輸器均勻地分布在區域內，形成連結的傳輸器與接收器的距離為一個隨機變數  $\text{Uniform}(0, \frac{a}{10})$ ，其中  $a$  為區域邊長，以及角度也為一個隨機變數  $\text{Uniform}(0, 2\pi)$ ，最後接收器根據以上的分布放置在對應的傳輸器周圍。

$$\text{成功傳輸率定義為：} \text{Successful transmission ratio} \equiv \frac{\text{The number of tolerable D2D links}}{\text{The number of all D2D links}}$$

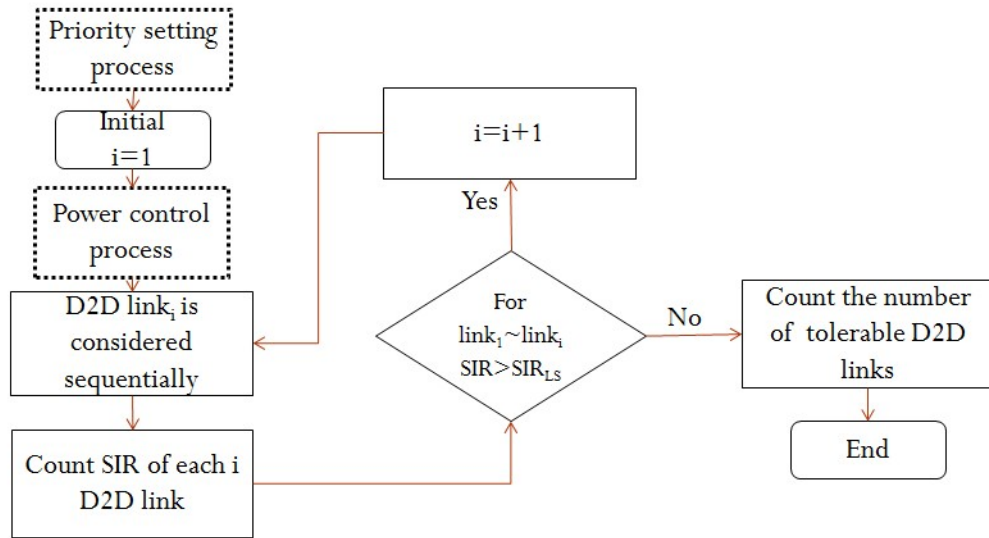


圖 5.4: 連結排程的流程圖

圖 5.4 虛線框所表示是否有做優先權設定以及功率控制的差別。



### 5.3 模擬結果

由圖 5.5 以及圖 5.6 可以發現連結帳號多寡會影響了使用者成功建立連結的數量，此外我們所提出的選取帳號的方式確實提升了使用者連結的數量，而隨機選取連結帳號的方式不論使用者以及連結帳號的多寡，似乎都沒有太大的改變，一直維持二到三成的成功分配連結帳號的使用率。而我們的方法雖然讓使用者的數量增加，不過，當網路壅塞的時候，似乎成功建立連結的比例會下降，與隨機選取連結帳號的機制效果差不多。

由圖 5.7 以及圖 5.8 我們發現優先權設定的重要性，在尚未進行功率控制的情況下，有事先進行優先權設定的連結在同樣是 5dB 的門檻下，提升了將近 40% 對連結數量。此外，可以發現單獨優先權設定方法大幅提升了成功進行連結傳輸的數量，

圖 5.9 和圖 5.10 雖然有做功率控制，不過可以發現單純只有功率控制在 SIR 值提高的狀況下，成功連結數量迅速地往下掉，而有優先權設定的情況下再做功率控制，連結數量因 SIR 值的提高顯得趨緩許多。由此可知，不單只有功率控制能有效地提升連結數量，針對我們的方法優先權的設定也是舉足輕重的關鍵所在。

圖 5.11 到圖 5.14 更可以發現優先權設定的重要性，在有優先權設定的情況下，連結數量的多寡對成功率的影響不大，反之，在無優先權設定的情況下，連結數量的增加，成功率隨之降低。而透過功率控制也可將成功率提升，但單獨功率控制的機制效果有限，如再配合優先權設定的機制，的確可以大幅地提升成功率。

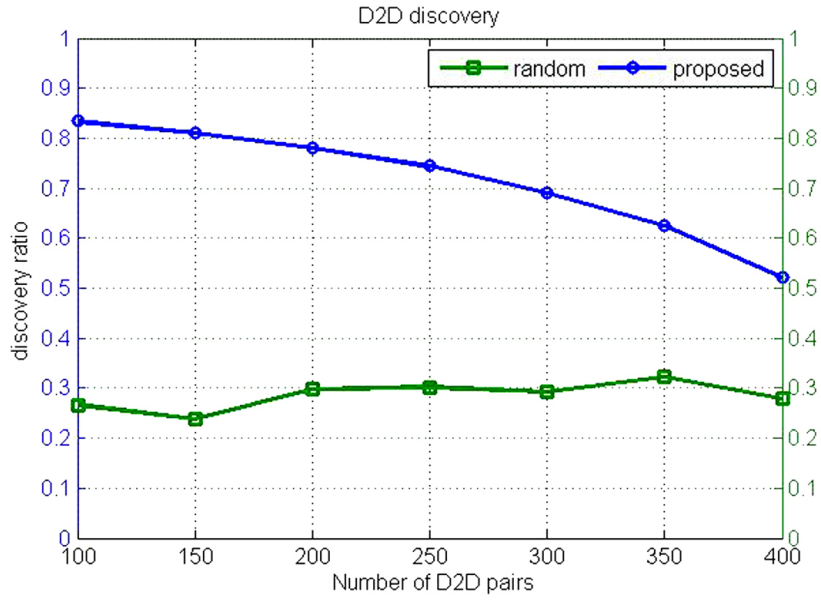


圖 5.5: 不同選取帳號方式之連結數量變化 (50 個連結帳號)

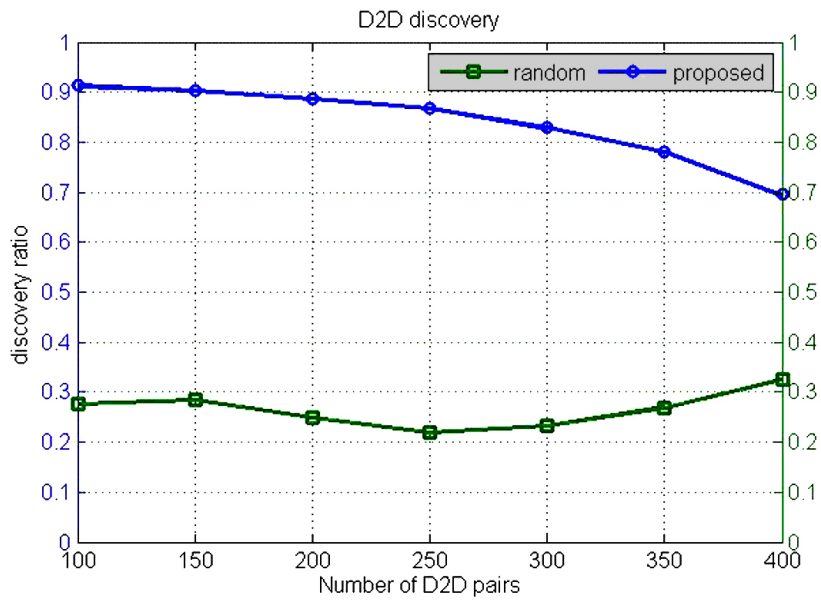


圖 5.6: 不同選取帳號方式之連結數量變化 (100 個連結帳號)

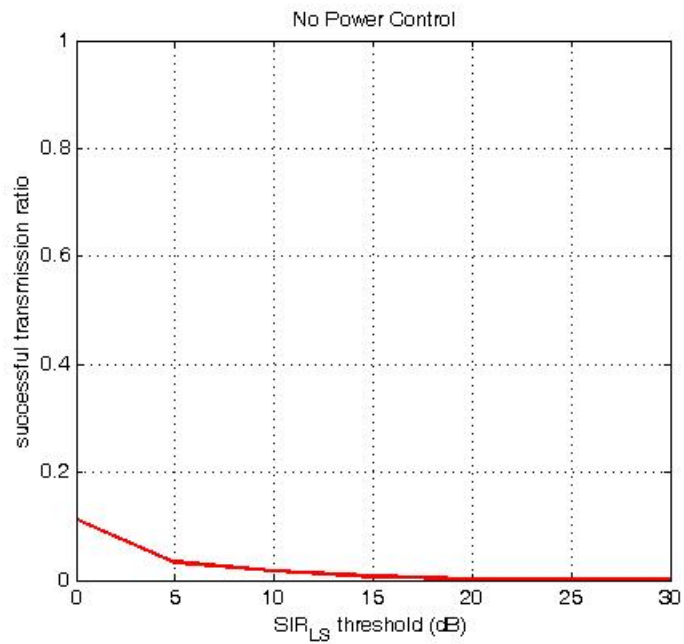


圖 5.7: 在無優先權設定情況下成功傳輸率之 SIR 變化 (500 對連結)

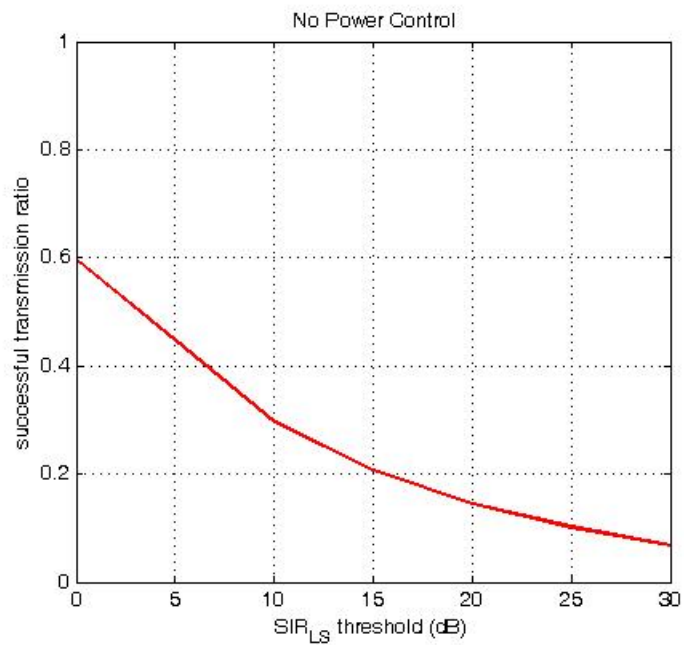


圖 5.8: 在優先權設定情況下成功傳輸率之 SIR 變化 (500 對連結)

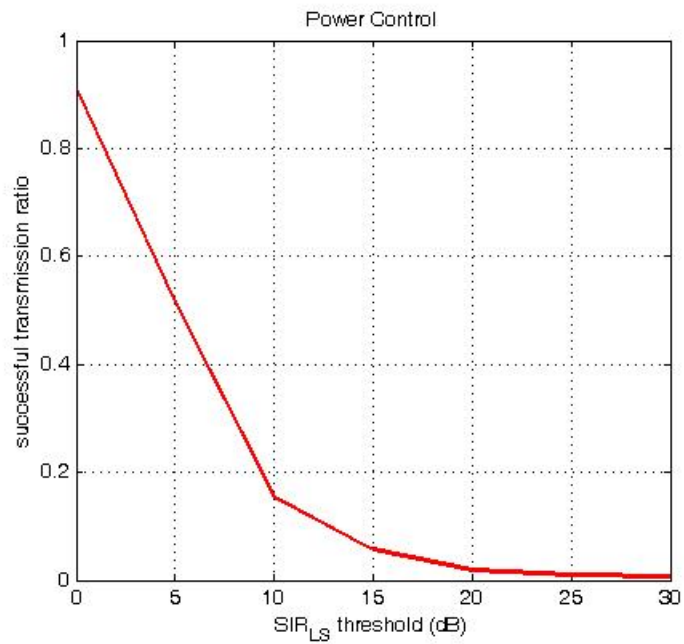


圖 5.9: 在無優先權設定情況下成功傳輸率之 SIR 變化 (500 對連結)

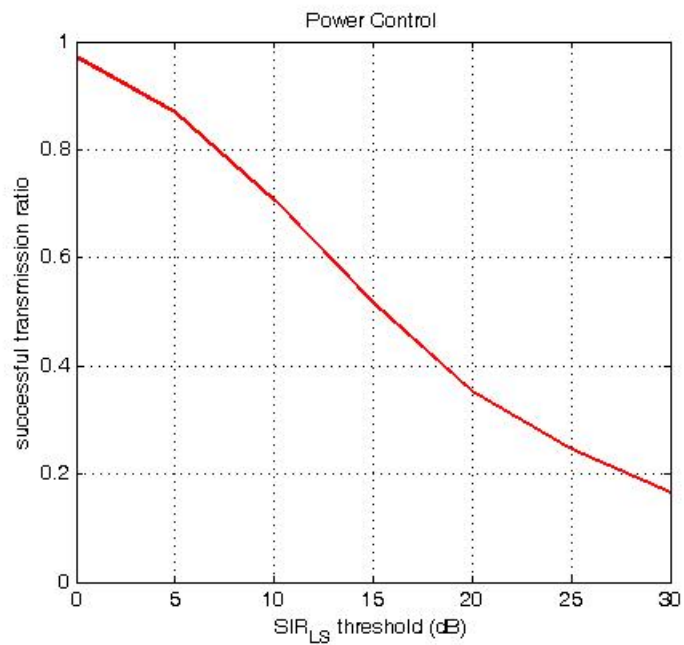


圖 5.10: 在優先權設定情況下成功傳輸率之 SIR 變化 (500 對連結)

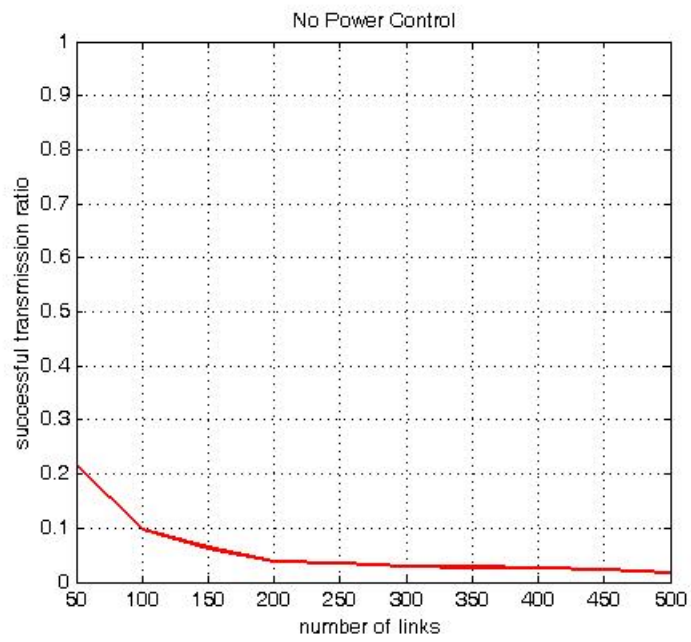


圖 5.11: 在無優先權設定情況下成功傳輸率之連結數量變化

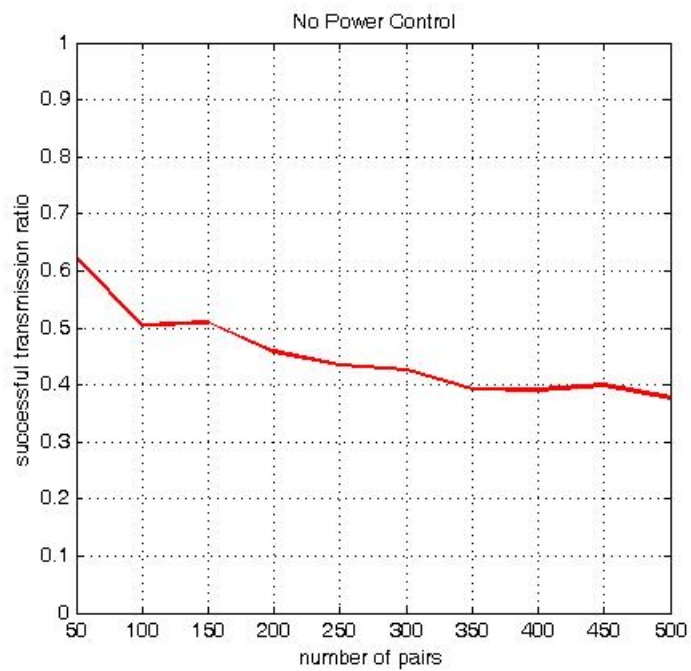


圖 5.12: 在優先權設定情況下成功傳輸率之連結數量變化



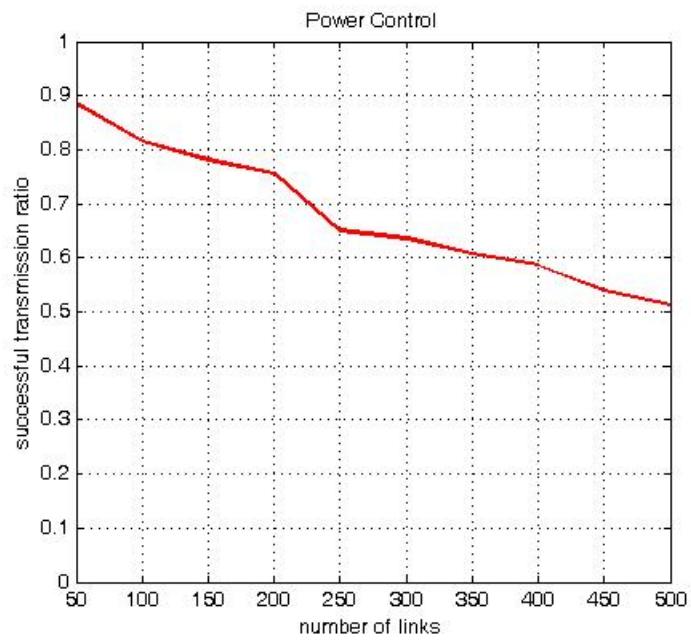


圖 5.13: 在無優先權設定情況下成功傳輸率之連結數量變化

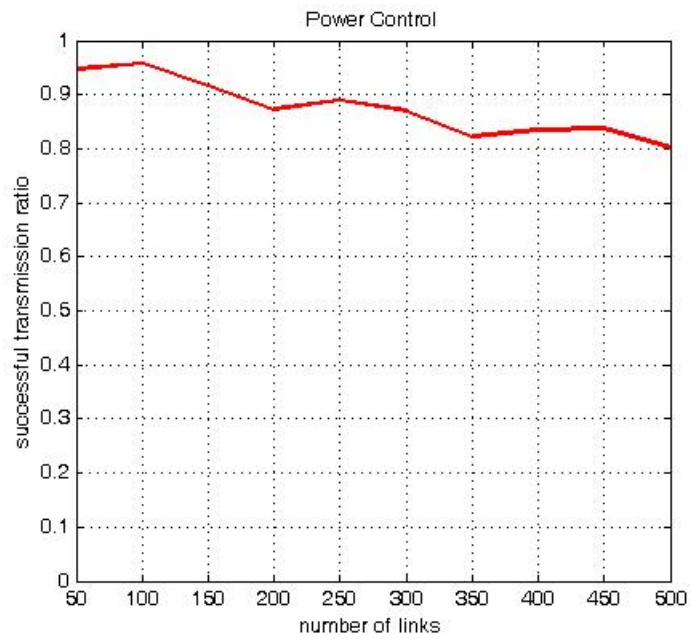


圖 5.14: 在優先權設定情況下成功傳輸率之連結數量變化

## 第六章 結論

這篇論文中，我們根據 FLQ 的架構為基礎，修改並重新設計，以及提出新的方法達到更加的系統效能。其中，我們與 FLQ 最大的不同在於優先權設定以及連結排程；FLQ 是根據每個連結的優先權的順序決定那些連結必須受到保護，不被較低優先權的連結所影響，但是，為了公平起見，給每個連結的優先權指派是一個隨機的亂數產生。而我們優先權設定，是根據每個連結在量測後所得到的訊號功率與干擾功率的比值，我們將區域內的每個連結的通訊狀況好壞指派不同的優先權，而根據我們的模擬結果發現，我們所提出優先權設定的效果是比較好的。而連結排程，FLQ 在此似乎只考慮兩個連結的情況，而我們考慮的多個連結的狀況，而這是比較實際的，不應該只單獨考慮兩兩連結間是否會互相造成干擾，而是要將全部的連結一起考慮進行連結排程，這樣的才能真的確保進入資料傳輸階段大部分的連結真的不會造成彼此嚴重的干擾。但是從同儕發現階段開始，裝置透過量測傳送功率訊號，得知該連結帳號是否能使用或者重複使用，這種方式區分開了遠近不同連結的所屬區域，使得我們的架構能重複被利用，而不單只能容納架構下所定義的連結數量。在進入連結排程階段前的優先權設定，從我們的模擬中，可以發現他扮演了一個舉足輕重的腳色，此方法簡單卻很可靠，在不需要較為複雜的功率控制機制下，就能將成功連結數量有大幅度的提升。功率控制的方法，簡單卻也能有效將連結數量向上提升，單獨的功率控制以及優先權設定都有一定的成效，而將兩者結合針對我們的架構能有顯著改善的效果。

## 参 考 文 献

- [1] P. Jänis, V. Koivunen, R. Cássio, J. Korhonen, K. Doppler, and K. Hugl, "Interference-aware resource allocation for device-to-device radio underlying cellular networks," *IEEE Vehicular Technology Conf.*, pp. 1-5, Apr. 2009.
- [2] P. Jänis, C.-H. Yu, K. Doppler, C. Ribeiro, C. Wijting, K. Hugl, O. Tirkkonen, and V. Koivunen, "Device-to-Device Communication Underlying Cellular Communications Systems," *International J. Commun., Network Syst. Sciences*, vol. 2, no. 3, June. 2009.
- [3] S. Xu, H. Wang, T. Chen, Q. Huang, and T. Peng, "Effective interference cancellation scheme for device-to-device communication underlying cellular networks," in *Proc. IEEE VTC Fall*, Sep. 2010..
- [4] X. Wu, S. Tavildar, S. Shakkottai, T. Richardson, J. Li, R. Laroia, and A. Jovicic, "Flash-LinQ: A synchronous distributed scheduler for peer-to-peer ad hoc networks," *IEEE Proc. 48th Ann. Allerton Conf. Comm., Control, and Computing*, pp. 514-521, Sep. 2010.
- [5] F. Baccelli, N. Khude, R. Laroia, J. Li, T. Richardson, S. Shakkottai, S. Tavildar, and X. Wu, "On the design of device-to-device autonomous discovery," *IEEE COMSNETS*, pp. 1-9, Jan. 2012.
- [6] L. Lei, Z. Zhong, C. Lin, and X. Shen, "Operator controlled device-to-device communications in LTE-advanced networks," *IEEE Wireless Commun.*, vol. 19, no. 3, pp. 96-104, June. 2012.

- [7] M. Corson, R. Laroia, J. Li, V. Park, T. Richardson, and G. Tsirtsis, "Toward proximity-aware internetworking," *IEEE Wireless Commun.* ,vol. 17,no. 6, pp. 26-33 ,Dec. 2010.
- [8] K. Doppler, M.P. Rinne, P. Janis, C. Ribeiro, and K.Hugl, "Device-to-Device Communications; Functional Prospects for LTE-Advanced Networks," in*Proc. IEEE International Conference on Communications Workshops* ,pp. 1-6 ,Jun. 2009
- [9] K. Doppler, M. Rinne, C. Wijting, C. Ribeiro, and K. Hugl,"Device-to-Device Communication as an Underlay to LTE-Advanced Networks," *IEEE Commun. Magazine* , vol. 47, no. 12, pp. 42–49,Dec. 2009

