

蜂巢式網路群播之 Device-to-Device 轉傳演算法

林芳昌
朝陽科技大學資訊管理系
助理教授
fclin@cyut.edu.tw

徐志瑋
朝陽科技大學資訊管理系
碩士班學生
s10014617@cyut.edu.tw

摘要

隨著行動通訊系統的蓬勃發展，行動設備快速的增加，頻譜資源的分配在近幾年成為一個重要的議題之一。在蜂巢式網路中，是透過群播(Multicast)的方式傳送資料，整個網路的速率會取決於較差的通道，導致傳送速率降低。如果讓這些需要相同資料的行動設備，彼此相互傳送資料，而不需再透過基地台傳送，這樣可以大幅降低基地台的負擔，也可以提升蜂巢式網路的速率，而此種通訊方式稱之為 Device-to-Device (D2D) 通訊。而許多研究都僅考慮單跳的中繼轉傳結構，事實上，多跳的中繼轉傳結構也是可以達到提高蜂巢式網路的速率。

本研究設計一演算法，並利用 JAVA 程式來實證多跳中繼轉傳結構的 D2D 通訊傳輸速率會高於傳統蜂巢式網路。

關鍵詞：蜂巢式網路、Device-to-Device (D2D) Communications、Multicast、行動通訊系統

Abstract

With the booming development of cellular network and the mobile device increase, the spectrum allocation in cellular networks became the most important issue in recent years. In the cellular network, transmits data by the multicast. The multicast rate is determined by the worst path, lead to lower transmission rate in cellular network. If these mobile devices need the same data that can send data to each other without via the base station, which can significantly reduce the burden on the base station and improve the transmission rate in cellular network. That is referred to as Device-to-Device communication. In most studies just considered single-hop relay transfer structure. In fact, the multi-hop relay transfer structure can improve the transmission rate in cellular network.

In this paper, we design an algorithm to

verify the transmission rate of D2D communication better than traditional cellular network. Then, use a JAVA program to show the multiple cooperative relay retransmission.

Keywords: Cellular Network, Device-to-Device (D2D) Communication, Multicast, Mobile Communication System

1. 前言

近年來，隨著行動通訊系統迅速發展，導致頻譜資源日趨缺乏[6]。在傳統的行動通訊系統中，是利用蜂巢式網路的結構所組成，行動裝置一定要透過基地台傳送資料[15][22]，這樣不僅造成基地台的負擔，也因為行動裝置與基地台的傳輸距離較長，而消耗更多的傳輸功率。然而，在發送端裝置與接收端裝置彼此很接近的時候，他們可以直接互相溝通，而不需再透過基地台傳輸資料，進而降低基地台的負擔，也因為傳輸距離的減少而降低傳輸功率，並可以延長行動裝置電池的生命週期[2][12][14][19]，此種通訊模是被稱為 Device-to-Device (D2D) 通訊。D2D 通訊是 IMT-Advanced 通訊標準下的一種短距離的傳輸技術[7][8][9][11][13][16][20][21]，在近幾年已經成為很普遍的議題之一。

在傳統的蜂巢式網路中，基地台是透過 Multicast 的方式發送相同資料給行動設備，而傳輸速率會因為傳輸距離的長短而有所變化，在大多數的情況下，Multicast 的傳輸速率會取決於最差的通道，以確保每個行動裝置都可以正確地接收到資料[22]。也因此受限於有些通道的傳輸速率較低，導致蜂巢式網路的速率無法提升。

將 D2D 通訊應用於蜂巢式網路的 Multicast 服務中，透過協同中繼轉傳的方式，將資料轉傳給通道傳輸速率較差的行動裝置，將可以提高蜂巢式網路整體的速率[5][10][17][23]。

在[22]中，都僅考慮單跳結構的協同中繼

轉傳問題。事實上，多跳結構的協同中繼轉傳也可以減少基地台的負擔，並提高蜂巢式網路的整體傳輸速率，以達到高效率的性能。

本文將探討在 D2D 通訊中，使用多跳結構的協同中繼轉傳的問題。為了解決這個問題，我們實作一程式，並考慮每個行動裝置彼此之間都有專屬的通道，而這樣的模擬實驗會有複雜的傳輸路徑，其中包含傳輸速率較高及傳輸速率較低的路徑，每個行動裝置都能同時接收和發送資料，並且透過行動裝置協同中繼轉傳的方式傳輸資料，我們設計一個演算法來找出該模擬實驗的 Multicast 路徑及最佳的傳輸速率，以提升蜂巢式網路的整體效能。

2. 文獻探討

2.1 蜂巢式網路

蜂巢式網路是應用在行動通訊上的一種技術，由於每個基地台訊號所覆蓋的範圍呈現六邊形的形狀，因而得名。

在傳統的蜂巢式網路中傳輸資料時，發送端裝置必須先將資料傳送至基地台，再由基地台轉傳至接收端裝置，如圖 1。而基地台是利用 Multicast 的方式傳送資料，傳輸的速率則是取決於較差的通道，以確保每個行動裝置都能成功的接收到資料[22]。

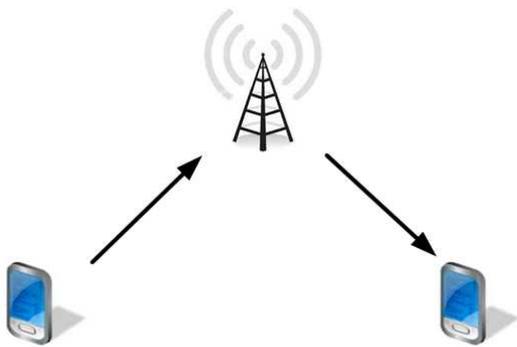


圖1 傳統蜂巢式網路傳輸資料

2.2 行動通訊系統

第一代行動通訊系統(1G)，發展於 1980 年代，屬於類比式通訊系統，主要以語音通訊為主，無法傳輸數據資料，其主要有 AMPTS(Advanced Mobile Phone System，類比式行動電話系統)、TACS (Total Access Communication System，完全存取通訊系統)與 NMT (Nordic Mobile Telephone，北歐行動電話)

三種系統[24]。

第二代行動通訊系統(2G)，發展於 1990 年代，與 1G 最大的差別是，2G 是採用數位式通訊系統，主要用於語音通訊為主，並提供 9.6Kbps 的傳輸速率，其主要有 GSM(Global System for Mobile Communication，全球行動通訊系統)、CDMA (Code Division Multiple Access，分碼多工存取)、D-AMPS (Digital-Advanced Mobile Phone System，北美數位式進階行動電話系統)與 PDC(Personal Digital Cellular，個人數位蜂巢式系統)[25]。2.5 代行動通訊系統(2.5G)，是 2G 與 3G 發展期間的過渡期，主要提供行動商務、行動資訊服務、行動互聯網業務、定位服務、多媒體等服務，並提供 144Kbps 的傳輸速率。主要有 HSCSD (High-Speed Circuit-Switched Data，高速電路交換數據)、GPRS(General Packet Radio Service，通用封包無線服務)與 EDGE(Enhanced Data rates for GSM Evolution，GSM 增強數據率演進) [26]。

第三代行動通訊系統(3G)，發展於 2000 年代，與 2G 一樣採用數位式通訊系統，是由國際電信聯盟(ITU)所制定的 IMT-2000 規格的最終發展結果，主要提供語音通信、數據以及多媒體服務，隨著使用環境的不同約有 300kbps~2Mbps 的傳輸速率。主要有 WCDMA (Wide band Code Division Multiple Access，寬頻分碼多工多重存取)、TD-SCDMA (Time Division - Synchronous Code Division Multiple Access，分時同步分碼多工存取)與 CDMA2000 系統[27]。3.5 代行動通訊系統(3.5G)，主要是由 WCDMA 技術延伸為 HSDPA(High Speed Downlink Packet Access，高速下行封包接入)，採用了 AMC (Adaptive modulation and coding，自適應調變和編碼)、MIMO(Multi-input Multi-output，多輸入多輸出)、HARQ (Hybrid Automatic Repeat reQuest，混合自動重傳請求)、快速調度、快速小區域選擇等技術[28]。

3.9 代行動通訊系統(3.9G)，3.5G 與 4G 發展期間的過渡期，其應用範圍包括無線寬頻、多媒體簡訊、視訊對話、數位視訊廣播等，其主要技術有 WiMax (Worldwide Interoperability for Microwave Access，全球互通微波存取)及 LTE(Long Term Evolution，長期演進技術)，WiMax 最大傳輸速率約 30Mbps，傳輸距離約為 2~5 公里[1]；而 LTE 是由 3GPP 制定於 Release 8 及 Release 9，頻寬為 20MHz，下載速率最高可達 300Mbps，上傳速率可達 75Mbps[18]，由於 LTE 的速率並未達到

IMT-Advanced 的標準，故被歸類於 3.9G[29]。

第四代行動通訊系統(4G)，主要的標準是 LTE-Advanced (Long Term Evolution-Advanced，長期演進技術升級版)，是由 3GPP 制定於 Release 10、Release 11 及 Release 12 中，頻寬可達 100MHz，下行速率可達 1Gbps，上行速率可達 500Mbps[3][4][18][19]。

2.3 Device-to-Device 通訊

Device-to-Device(D2D)通訊可以建立一個直接連接發送端裝置與接收端裝置之間的一種短距離傳輸技術，而無須透過基地台的輔助[22]，如圖 2，而 D2D 通訊現今被應用在 IMT-Advanced 網路中[7][8][11][16][20]。

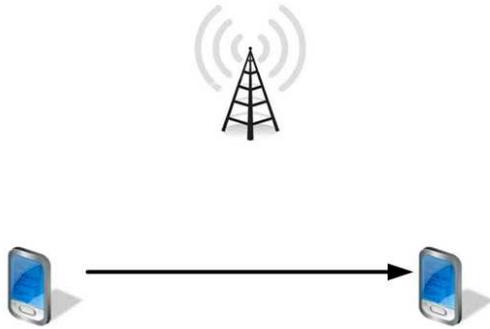


圖2 Device-to-Device 通訊傳輸資料

在[22]中，是利用集群的方式，將同一個蜂巢式網路中的行動裝置分為好幾個集群後，讓基地台透過集群裡面傳輸速率最好的一個行動裝置，將資料轉傳到該集群中的其他行動裝置，而這種方式僅考慮單跳結構的協同中繼轉傳。

3. 研究方法

本研究將蜂巢式網路中行動裝置數量設定為 N ，傳輸總節點數量則是包含基地台，設定為 P ，

$$P = N + 1 \quad (1)$$

而基地台的編號以 d_0 表示，行動裝置則是表示為 d_i ， $i = 1, 2, \dots, N$ ，蜂巢式網路中的總傳輸通道數量為 C ，

$$C = \frac{P(P-1)}{2} = \frac{N(N+1)}{2} \quad (2)$$

每個節點之間的傳輸通道速率則是利用陣列存取，以 T_{d_i, d_j} 表示， d_i 為發送端裝置， $i = 1, 2, \dots, N$ ， d_j 則是為接收端裝置， $j = 1, 2, \dots, N$ ，如下，

$$T_{d_i, d_j} = T_{d_j, d_i}, \quad \begin{matrix} i = 0, 1, \dots, N \\ j = 0, 1, \dots, N \end{matrix} \quad (3)$$

表 1 各節點間通道速率

$d_j \backslash d_i$	0	1	2	j
0	0	T_{d_0, d_1}	T_{d_0, d_2}	T_{d_0, d_j}
1	T_{d_1, d_0}	0	T_{d_1, d_2}	T_{d_1, d_j}
2	T_{d_2, d_0}	T_{d_2, d_1}	0	T_{d_2, d_j}
i	T_{d_i, d_0}	T_{d_i, d_1}	T_{d_i, d_2}	0

比較後的發送端裝置紀錄為 S_k ， $k = 0, 1, 2, \dots, N$ ，在每一次的發送過程中一定是先從基地台發送資料給行動裝置，故 $S_1 = 0$ ；接收端裝置則為 D_k ， $k = 0, 1, 2, \dots, N$ ；而最佳的傳輸通道記錄為 O_k ， $k = 0, 1, 2, \dots, N$ ，

$$O_k = \max_{\substack{i = 0, 1, \dots, N \\ j = 0, 1, \dots, N}} T_{d_i, d_j}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, N \quad (4)$$

最後，該蜂巢式網路中最佳的速率為 Opt ，由於整個蜂巢式網路中的速率是取決於較差的通道，故 Opt 是在 O_k 中找出最小值，

$$Opt = \min(O_k), \quad k = 0, 1, 2, \dots, N \quad (5)$$

本研究所推演的演算法，如下：

Algorithm for D2D communication

- 1 Set the number of mobile devices : N
 The source devices : S_k
 The destination devices : D_k
 The rate between each node : T_{d_i,d_j}
 Best rate from S_k to D_k : O_k
 The optimal rate in cellular network : Opt
- 2: Initialization: $S_k = 0$, $D_k = 0$, $O_k = 0$,
 $k = 0,1,2,\dots,N$; $T_{d_i,d_j} = \text{random value}$,
 $i = 1,2,\dots,N$, $j = 1,2,\dots,N$;
- 3: For ($k = 1$; $k \leq N$; $k = k + 1$)
- 4: For ($x = 0$; $x < k$; $x = x + 1$)
- 5: $i = D_x$;
- 6: For ($j = 0$; $j \leq N$; $j = j + 1$)
- 7: If ($T_{d_i,d_j} > O_k$)
- 8: $n = 0$;
- 9: for ($m = 0$; $m < k$; $m = m + 1$)
- 10: If ($j = D_m$)
 $n = 1$;
- 11: End If
- 12: End For
- 13: If ($n = 0$)
- 14: $O_k = T_{d_i,d_j}$;
- 15: $S_k = i$;
- 16: $D_k = j$;
- 17: End If
- 18: End For
- 19: End For
- 20: $T_{S_k,D_k} = 0$;
- 21: $T_{D_k,S_k} = 0$;
- 22: End For
- 23: Find optimal rate in cellular network:
 $Opt = \min(O_k)$

以下實際使用自行設計的程式舉例說明上述的演算法。在模擬實驗中，其視窗為一個蜂巢式網路，而中心較大的黑點為基地台，其餘小黑點則是代表行動裝置，此次實驗先採取 5 個行動裝置作為模擬，故總共有 15 條傳輸通道，如圖 3。而每個節點之間都會有一條傳輸通道，每條通道上都會有模擬的傳輸速率，如圖 3，此次模擬實驗的傳輸速率範圍則是設定為 1~20，1 代表較差的速率，20 則是代表較高

的速率，分別會紀錄在表格內，如表 2。

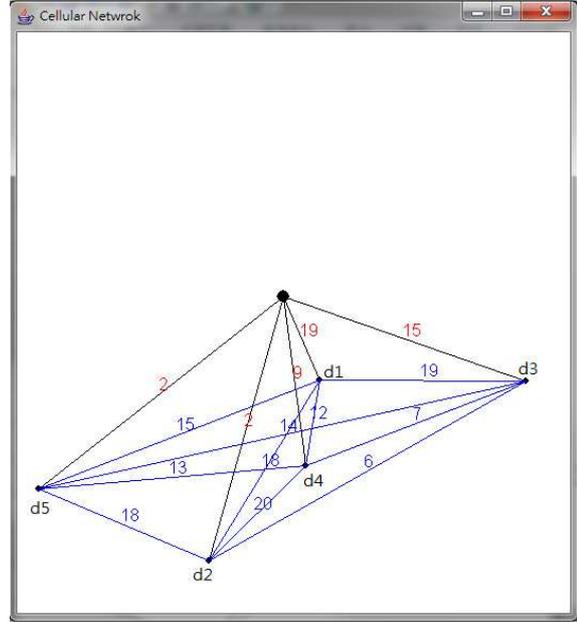


圖3 模擬環境

表 2 各節點間通道速率

$d_j \backslash d_i$	0	1	2	3	4	5
0	0	19	2	15	9	2
1	19	0	18	19	12	15
2	2	18	0	6	20	18
3	15	19	6	0	7	14
4	9	12	20	7	0	13
5	2	15	18	14	13	0

當程式將環境模擬出來後，就會繼續操作下一個步驟，開始找尋 D2D 通訊的最佳解。 k 迴圈是記錄找到幾條通道； x 迴圈則是要抓取已經成為發送端的行動裝置； j 迴圈則是要讓程式要逐一比對通道的速率； m 迴圈則是判斷是否找到已經連接過的行動裝置； n 則是記錄行動裝置是否已經被連接過。

開始找尋第一條線時，記為 $k=1$ ，此時程式會從 T_{d_0,d_0} 開始找尋，接著依序為 T_{d_0,d_1} 、 T_{d_0,d_2} 、 T_{d_0,d_3} 、 T_{d_0,d_4} 及 T_{d_0,d_5} ，此迴圈所找到的最大值為 $T_{d_0,d_1} = 19$ ，故 $S_1 = 0$ ， $D_1 = 1$ ， $O_1 = 19$ 。為了避免該條通道再次被找出來使

用，所以我們將該通道 T_{d_0,d_1} 及 T_{d_1,d_0} 設定為0。當 $k=2$ 時，此時的發送端已有兩個節點 D_0 及 D_1 ，故找尋的順序為 $T_{d_0,d_0} \sim T_{d_0,d_5}$ 、 $T_{d_1,d_0} \sim T_{d_1,d_5}$ ，此迴圈所找到的最大值為 $T_{d_1,d_3} = 19$ ，故 $S_2 = 1$ ， $D_2 = 3$ ， $O_2 = 19$ ， $T_{d_1,d_3} = 0$ ， $T_{d_3,d_1} = 0$ 。當 $k=3$ 時，此時的發送端已有三個節點 D_0 、 D_1 及 D_2 ，故找尋的順序為 $T_{d_0,d_0} \sim T_{d_0,d_5}$ 、 $T_{d_1,d_0} \sim T_{d_1,d_5}$ 、 $T_{d_2,d_0} \sim T_{d_2,d_5}$ ，此迴圈所找到的最大值為 $T_{d_1,d_2} = 18$ ，故 $S_3 = 1$ ， $D_3 = 2$ ， $O_3 = 18$ ， $T_{d_1,d_2} = 0$ ， $T_{d_2,d_1} = 0$ 。當 $k=4$ 時，此時的發送端已有四個節點 D_0 、 D_1 、 D_2 及 D_3 ，故找尋的順序為 $T_{d_0,d_0} \sim T_{d_0,d_5}$ 、 $T_{d_1,d_0} \sim T_{d_1,d_5}$ 、 $T_{d_2,d_0} \sim T_{d_2,d_5}$ 、 $T_{d_3,d_0} \sim T_{d_3,d_5}$ ，此迴圈所找到的最大值為 $T_{d_2,d_4} = 20$ ，故 $S_4 = 2$ ， $D_4 = 4$ ， $O_4 = 20$ ， $T_{d_2,d_4} = 0$ ， $T_{d_4,d_2} = 0$ 。當 $k=5$ 時，此時的發送端已有五個節點 D_0 、 D_1 、 D_2 、 D_3 及 D_4 ，故找尋的順序為 $T_{d_0,d_0} \sim T_{d_0,d_5}$ 、 $T_{d_1,d_0} \sim T_{d_1,d_5}$ 、 $T_{d_2,d_0} \sim T_{d_2,d_5}$ 、 $T_{d_3,d_0} \sim T_{d_3,d_5}$ 、 $T_{d_4,d_0} \sim T_{d_4,d_5}$ ，此迴圈所找到的最大值為 $T_{d_2,d_5} = 18$ ，故 $S_5 = 2$ ， $D_5 = 5$ ， $O_5 = 18$ ， $T_{d_2,d_5} = 0$ ， $T_{d_5,d_2} = 0$ 。程式已經將 k 迴圈執行完畢，接著程式會從 $O_1 \sim O_5$ 中找出最小值作為此蜂巢式網路中的最佳速率，如圖4。

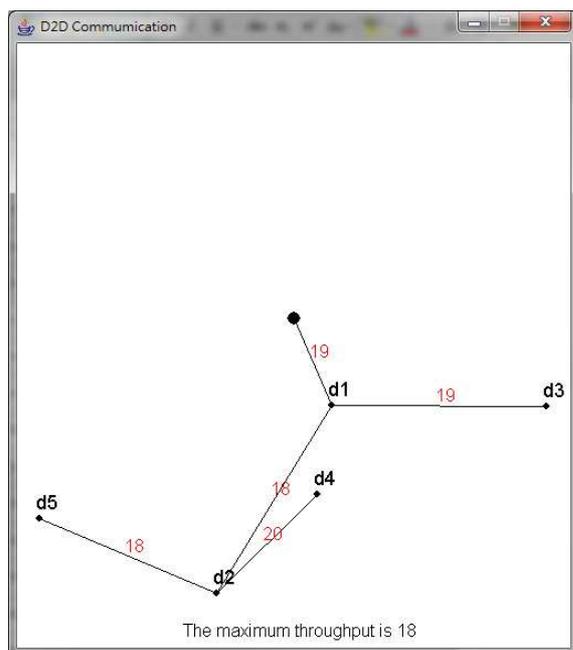


圖4 D2D 通訊實驗結果

此次模擬實驗中，在 D2D 通訊的部分，則是可以先由基地台傳送資料給 d_1 ，再透過 d_1 轉傳給 d_2 及 d_3 ，再由 d_2 轉傳給 d_4 和 d_5 ，如圖4。此次模擬實驗，如果使用 D2D 通訊的方式傳輸，最大速率則可以達到18。

此次模擬實驗中，在傳統蜂巢式網路中，是由基地台傳輸資料給其他5個行動裝置，如圖5。如圖5所示，由於 Multicast 需取決於較低速率的路徑，故此傳統蜂巢式網路的最大速率僅有2而已。

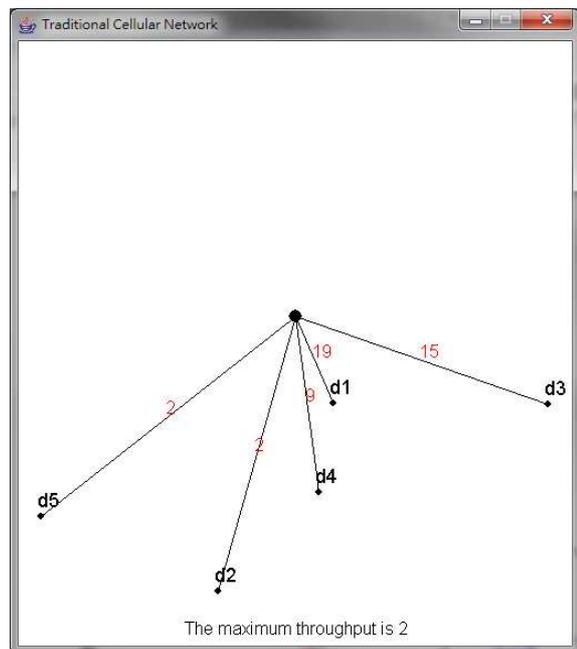


圖5 傳統蜂巢式網路實驗結果

4. 實驗與結果

4.1 實驗環境

本研究使用 Windows 7 32 位元作業系統，以及 Eclipse SDK 4.2.2 版。

本實驗是利用自行設計的 JAVA 程式，採隨機式模擬 50 次的操作。在 4.2 節中，是利用不同的行動裝置數量及速率範圍作為基準，實際隨機操作 50 次後計算其平均值後，再將 D2D 通訊與傳統蜂巢式網路做比較。

4.2 隨機 50 次實驗數據

在本節則是使用不同的行動裝置數及不同的速率，分別隨機操作 50 次，計算其平均值後，再加以比較。

4.2.1 行動裝置數量差異分析

由於在蜂巢式網路中的行動裝置數量會有不一樣的變化，在此節我們將探討不同的行動裝置數量，對此研究的影響。首先，我們將傳輸路徑速率設定為 1~20，並以行動裝置數量為 30 個、40 個、50 個、60 個、70 個、80 個、90 個及 100 個做為基準，分別在每個不同數量下，做 50 次的隨機操作並計算其平均值，如表 3。

表 3 行動裝置數量差異之傳輸率

行動裝置數量	傳統蜂巢式網路	D2D 通訊
30	1.2	18
40	1.14	18.52
50	1.12	18.62
60	1.06	19.08
70	1.06	19.16
80	1	19.2
90	1.02	19.4
100	1	19.5

如圖 6 可以看出，傳輸資料時，使用 D2D 通訊傳輸，傳輸速率會遠大於傳統蜂巢式網路。而且，在不同行動裝置的數量下，當行動裝置越多，使用 D2D 通訊的傳輸速率會越來越高；相反的，如果使用傳統蜂巢式網路傳送資料，速率則會越來越低。

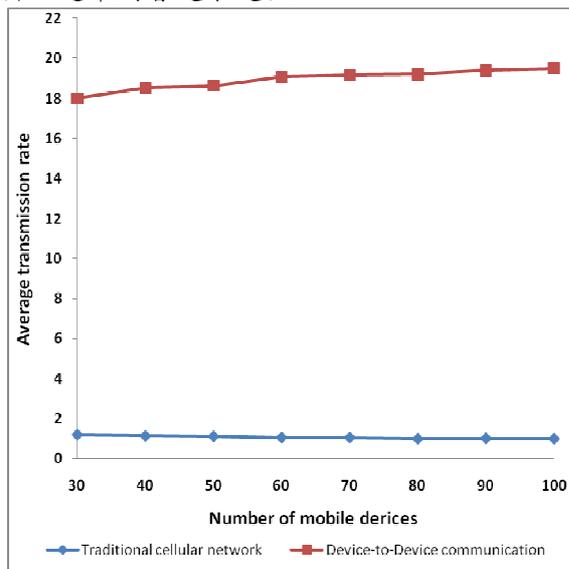


圖 6 行動裝置數量差異分析

4.2.2 傳輸路徑速率差異分析

蜂巢式網路在不同的環境下，傳輸路徑的速率會有不同的變化，在此節我們將以不同範圍的路徑速率做為基準，來探討對此研究的影響。首先，我們將行動裝置數量設定為 50 個，並將傳輸速率做分類，分別為 1~20、11~30、21~40、31~50 及 41~60，接著依不同的傳輸速率分別做 50 次的操作並計算其平均值，如表 4。

表 4 傳輸路徑速率差異之傳輸率

傳輸速率範圍	傳統蜂巢式網路	D2D 通訊
1~20	1.12	18.62
11~30	11.1	28.8
21~40	21.16	38.68
31~50	31.02	48.84
41~60	41.06	58.8

由圖 7 可以看出，即使是傳輸速率產生變化，D2D 通訊在傳輸資料時，傳輸速率還是高於傳統蜂巢式網路。

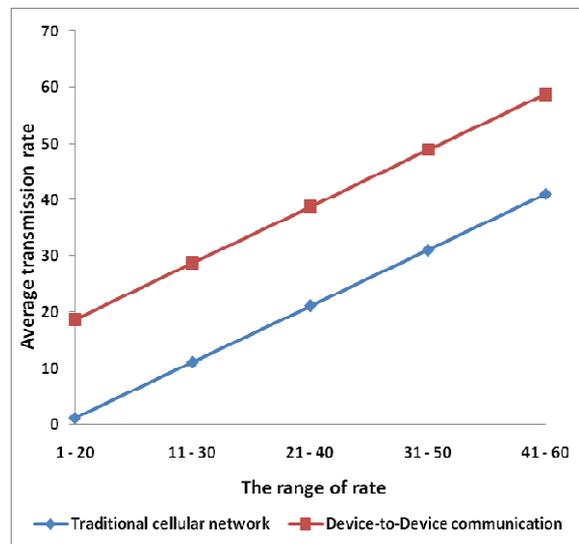


圖 7 傳輸路徑速率差異分析

4.3 實驗總結

由上述實驗中，我們發現行動裝置越多，傳輸的路徑也相對增加，故在整個網路中，D2D 通訊傳輸可以選擇的路徑也增多，速率也因此可以提升；相反的，由於傳統蜂巢式網路的路徑都是由基地台到各個行動裝置，並無法選擇

傳輸路徑，因此只要行動裝置越多，傳輸速率往往會被速率較差的通道給限制住，導致整個網路的傳輸速率越來越低。

5. 結論

隨著行動裝置的增加，網路的使用率和資料量的增長，提高行動通訊網路的資料傳輸速率是必要的。由於蜂巢式網路中的傳輸速率是取決於速率較差的通道，以確保每個行動裝置都可以成功的接收到資料。

而本研究中所進行的隨機一次模擬實驗也可以明顯的看出，在該模擬的蜂巢式網路中，使用傳統蜂巢式網路的方式下，傳輸速率會被限制在 2，但是如果使用 D2D 通訊傳輸資料時，傳輸速率會提升到 18。且無論是在不同的行動裝置數量及不同的速率範圍下，D2D 通訊都可以有效的提升蜂巢式網路的傳輸速率，並且找出最佳的網路繞徑方式。

本研究所提出的 D2D 通訊轉傳演算法，可以提升蜂巢式網路的傳輸速率，也因為採用 D2D 通訊而讓基地台大幅減少負擔。在未來，我們會把時間及行動裝置移動的因素也考慮到本研究上，以進行更精確的計算及比較。

參考文獻

- [1] 陳柏任, "WiMAX 與 LTE 間異質無線網路共構研究與效能提升", *國立台灣大學電機資訊學院電信工程研究所碩士論文*, 2009。
- [2] Al-Kanj, L. and Dawy, Z., "Optimized Energy Efficient Content Distribution over Wireless Networks with Mobile-to-Mobile Cooperation," *IEEE 17th International Conference on Telecommunications (ICT)*, pp. 471-475, Brussels, April 2010.
- [3] Bai, D., Park, C., Lee, J., Nguyen, H., Singh, J., Gupta, A., Pi, Z., Kim, T., Lim, C., Kim, M. G., and Kang, I., "LTE-Advanced Modem Design: Challenges and Perspectives," *IEEE Communications Magazine*, vol. 50, no. 2, pp. 178-186, February 2012.
- [4] Bhat, P., Nagata, S., Campoy, L., Berberana, I., Derham, T., Liu, G., Shen, X., Zong, P., and Yang, J., "LTE-Advanced: An Operator Perspective," *IEEE Communications Magazine*, vol. 50, no. 2, pp. 104-114, February 2012.
- [5] Bhatia, R., Li, L., Luo, H., and Ramjee, R., "ICAM: Integrated Cellular and Ad Hoc Multicast," *IEEE Transaction on Mobile Computing*, vol. 5, no. 8, pp. 1004 - 1015, August 2006.
- [6] Cao, L. and Zheng, H., "Distributed Rule-Regulated Spectrum Sharing," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol.26, no.5, pp. 130-145, Jan. 2008.
- [7] Doppler, K., Rinne, M. P., Janis, P., Ribeiro, C. and Hugl, k., "Device-to-Device Communications; Functional Prospects for LTE-Advanced Networks," *IEEE International Conference on Communications Workshops*, pp. 1-6, Dresden, June 2009.
- [8] Doppler, K., Rinne, M., Wijting, C., Ribeiro, C. B. and Hugl, K., "Device-to-Device Communication as an Underlay to LTE-Advanced Networks," *IEEE Communications Magazine*, vol. 47, no. 12, pp. 42-49, December 2009.
- [9] Doppler, K., Yu, C. H., Ribeiro, C. B. and Janis, P., "Mode Selection for Device-to-Device Communication Underlying an LTE-advanced Network," *IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, April 2010.
- [10] Hou, F., Cai, L. X., Ho, P. H., Shen, X., and Zhang, J., "A Cooperative Multicast Scheduling Scheme for Multimedia Services in IEEE 802.16 Networks," *IEEE Transaction on Wireless Communications*, vol. 8, no. 3, pp. 1508-1519, March 2009.
- [11] Janis, P., Yu, C. H., Doppler, K., Ribeiro, C., Wijting, C., Hugl, K., Tirkkonen, O. and Koivunen, V., "Device-to-Device Communication Underlying Cellular Communications Systems," *Int. J. Communications, Network and System Sciences*, vol. 2, no. 3, pp. 169-178, June 2009.
- [12] Lehtomaki, J., Suliman, I., Vartiainen, J., Bennis, M., Taparugssanagorn, A. and Umebayashi, K., "Direct Communication Between Terminals in Infrastructure Based Networks," *ICT-MobileSummit 2008*, pp. 1-8, Stockholm, June 2008.
- [13] Le, L. B., "Fair Resource Allocation for Device-to-Device Communications in Wireless Cellular Networks," *IEEE Globecom 2012*, pp. 5451-5456, Dec. 2012.

- [14] Liu, Z., Peng, T., Chen, H. and Wang, W., "Optimal D2D User Allocation over Multi-Bands under Heterogeneous Networks," *IEEE Globecom 2012*, pp. 1339-1344, Dec. 2012.
- [15] Ma, X., Yin, R., Yu, G. and Zhang, Z., "A Distributed Relay Selection Method for Relay Assisted Device-to-Device Communication System," *IEEE 23rd International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, pp. 1020-1024, 9-12 Sept. 2012.
- [16] Seppala, J., Koskela, T., Chen, T., and Hakola, S., "Network Controlled Device-to-Device (D2D) and Cluster Multicast Concept for LTE and LTE-A Networks," *IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, pp. 986-991, Cancun, Mexico, March 2011.
- [17] Spinella, S. C., Araniti, G., Iera, A., and Molinaro, A., "Integration of Ad-hoc Networks with Infrastructured Systems for Multicast Services Provisioning," *Int. Conf. Ultra Modern Telecommunications & Workshops, St.Petersburg*, pp. 1-6, Russia, October 2009.
- [18] Shen, Z., Papaskellariou, A., Montojo, J., Gerstenberger, D., and Xu, F., "Overview of 3GPP LTE-Advanced Carrier Aggregation for 4G Wireless Communications," *IEEE Communications Magazine*, vol. 50, no. 2, pp. 122-130, February 2012.
- [19] Xing, H. and Hakola, S., "The Investigation of Power Control Schemes for a Device-to-Device Communication Integrated into OFDMA Cellular System," *IEEE 21st International Symposium Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, pp. 1775-1780, Istanbul, September 2010.
- [20] Yu, C. H., Tirkkonen, O., Doppler, K., and Ribeiro, C., "On the Performance of Device-to-Device Underlay Communication with Simple Power Control," *IEEE 69th Vehicular Technology Conference*, pp. 1-5, Barcelona, April 2009.
- [21] Yu, C. H., Doppler, K., Ribeiro, C. B., and Tirkkonen, O., "Resource Sharing Optimization for Device-to-Device Communication Underlying Cellular Networks," *IEEE Transaction on Wireless Communications*, vol. 10, no. 8, pp. 2752-2763, August 2011.
- [22] Zhou, B., Hu, H., Huang, S. Q. and Chen, H. H., "IntraCluster Device-to-Device Relay Algorithm with Optimal Resource Utilization," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 62, no. 5, pp. 2315-2326, Jun 2013.
- [23] Zhang, Q., Fitzek, F. H. P. and Iversen, V. B., "Design and Performance Evaluation of Cooperative Retransmission Scheme for Reliable Multicast Services in Cellular Controlled P2P Networks," *IEEE 18th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, pp. 1-5, Athens, September 2007.
- [24] 維基百科, "1G", <http://zh.wikipedia.org/wiki/1G>, 2013。
- [25] 維基百科, "2G", <http://zh.wikipedia.org/wiki/2G>, 2013。
- [26] 維基百科, 整合數位強化網路, <http://zh.wikipedia.org/wiki/2.5G>, 2013。
- [27] 維基百科, "3G", <http://zh.wikipedia.org/wiki/3G>, 2013。
- [28] 維基百科, "高速下行封包接入", <http://zh.wikipedia.org/wiki/3.5G>, 2013。
- [29] 維基百科, "LTE", <http://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%95%B7%E6%9C%9F%E6%BC%94%E9%80%B2%E6%8A%80%E8%A1%93>, 2013。