

# Traffic Aware Small Cell Deployment Algorithm for Wireless Heterogeneous Networks

Gwo-Jong Yu and Kuan-Yi Yeh  
Department of Computer Science and Information Engineering  
Aletheia University, Taiwan  
s9150703@gmail.com

## 摘要

在現在通訊量爆炸的科技時代，不管是在私人或者是公共服務上都有極大的通訊需求。為了滿足使用者大量通訊需求，Small Cell 技術是最符合經濟效益的解決方法。如何以耗費最低成本的方式來佈建 Small Cell，使得系統能達到最大的效能是一個重要的研究問題。為解決此一問題，本文提出一個以 Weighted K-means 為基礎之 Small Cell 佈建演算法。該演算法能依據不同使用者的通訊需求量來自動決定 Small Cell 最佳的佈建位置，使得網路的整體效能大為提升。Weighted K-Mean 演算法不但可擁有 K-means 的優點，又能滿足使用者不同通訊量的需求。由實驗結果顯示，本文所提出之方法其效能較固定佈建點及 K-means 佈建方法有更顯著的提升。

關鍵字：Heterogeneous Network; Small Cell; Deployment; Traffic Aware; K-means;

## 1. 介紹

隨著科技技術的發展，移動無線通訊網路的使用越來越受歡迎，使得網路的使用方式和以往大大不同。不管是在大型都會區或是偏遠的鄉村，無線通訊網路無所不在。人類的生活也和網路有著密不可分的關係，例如：電子商店、電子郵件、電子購物、電子銀行、電子醫

療，等應用。不僅僅是人與人通訊使用的手機，連物與物通訊的智慧裝置(device)也需要無線通訊網路，物聯網將會讓我們的生活變的更有效率、便利、安全。據研究學者預估從 2010 到 2020 年，通訊設備數量會增加至 500 億個，且全球無線網路通訊量會暴增一千倍以上。其中影音多媒體服務將占大部分的比重。

為了解決通訊量快速成長的問題，歐盟於 2013 年成立 METIS 計畫 (Mobile and Wireless Communications Enablers for the Twenty-Twenty Information Society) 列出了未來無線通訊網路將會遭遇到的挑戰，並且提出解決這些問題所需發展的技術建議。例如：裝置對裝置通訊(Device to Device, D2D)、多天線通訊系統(Multiple Input Multiple Output, MIMO)及小型基地台(Small Cell)等技術。這些技術都是在現今異質網路場景中常使用到的技術，也是全球致力於發展的重要技術。在 LTE 眾多潛在發展技術中，Small Cell 是目前被公認最具有潛力的技術之一。Small Cell 的優點包含裝置成本較低，佈建容易且有彈性，功率損耗低，及有效提升網路整體容量，依照不同區域性可分為三種類型：包括居家的家用基地台、小型企業或零售用途的商業/室內基地台、以及公共區域使用者的室外基地台等，透過 Small Cell 可以改善家庭使用者、辦公室環境與公共空間的網路體驗。

在實際場景中，在都市商業區、旅遊景點、演唱會、以及任何造成瞬間通訊量暴增的事件，

會讓該地方的網路呈現堵塞甚至癱瘓，而且隨著使用裝置的人數快速增加，這種情況也是無可避免的，Small Cell 可以提供足夠大的頻寬來支援使用者的服務，幫助 Macrocell 進行資料卸載，加上前述之優點，體積小安裝簡單，所以才會如此受到重視。

為了提供更多及更好的服務，電信業者除了透過增加 Macrocell 來提升網路能力外，也可透過佈建 Small Cell 來提升服務覆蓋率、網路容量及服務品質並整合多種無線存取技術 (Radio Access Technology, RAT), 如:3G, LTE 及 WiFi 等。Small Cell 和 Macrocell 搭配佈建除了可以提高服務覆蓋密度及有效增加網路能力外，又可以改善無線網路頻寬壅塞與室內訊號不良的問題。相較於 Macrocell 需要較大的地方佈建，以及使用高發射功率來提供較大的服務範圍，Small Cell 不需要太大的佈建空間，只需發射覆蓋半徑 200~300 公尺的低功率訊號，而且體積小、價格較低，易於佈建，加上可利用固網頻寬當後端網路(Backhaul)回傳訊息，營運支出也相對較小。

雖然直接佈建更多的 Macrocell 可以提升系統的效能，但由於 Macrocell 佈建的成本比較昂貴且取得設置地點的困難性較高，所以在 Macrocell 通訊範圍內密集的佈建低功率低成本的 Small Cell 就成了讓整體網路的效能有效提升的低成本且有效率的方案。Macrocell 通訊範圍內佈建 Small Cell 後服務覆蓋率提升，通訊需求爆炸的問題也就得以解決。Small Cell 的佈建位置對整體系統效能有很大的影響。過於密集的 Small Cell 佈建會讓 Cell 之間產生複雜的干擾，過於分散對使用者來說又會有盲區。挑選到好的佈建點對 Small Cell 來說可以大大提升整體的效能，所以決定 Small Cell 的佈建位置是一個重要問題。UE(User Equipment)到

Small Cell 的距離會影響傳輸的速率，距離越短傳輸速率越快，距離越長傳輸速率越慢。因著不同 UE 的傳輸需求不同，如能讓 Small Cell 的佈建考量到 UE 的需求，讓需求大的 UE 距離 Small Cell 較近，讓需求小的 UE 離 Small Cell 較遠，則 Small Cell 的佈建將可同時滿足不同 UE 的需求。

當使用者分佈不均勻時，傳統固定式的 Small Cell 佈建方式並不會有很好的效能，也不能夠依照使用者的通訊需求量做調整。為了提升 Small Cell 的效能，本文利用 K-means 群集演算法中每個樣本離群中心點最近的特性加以改良，以解決 UE 分佈不均情況下 Small Cell 佈建的問題。此外，本文也將使用者的通訊需求量列入考量，在 UE 的位置、通訊量及 Small Cell 數量已知的情形下，計算出 Small Cell 最佳的佈建位置，讓 UE 的通訊需求得到滿足，進而提高整體網路的效能。

本論文提出一個利用 K-Mean 群聚特性的 Small Cell 佈建演算法，其主要貢獻如下：

- 相較於固定式或 K-Mean 佈建演算法，本文所提出的方法能有效提升系統效能。
- 本文所提出的方法不但可以滿足使用者的通訊需求，又可以用最少的 Small Cell 來佈建基地台。
- 本文所提的方法此方除了可以使用在 LTE 環境下，也可使用在其他異質性無線網路佈建場景。

本篇論文組織架構如下：第二章將會討論國內外 Small Cell 佈建相關之研究、第三內容包含網路模型、架構，以及網路元件、符號定義等，第四章將描述本文所提出的 W-K-means 演算法以解決 Small Cell 佈建問題,第五章將實驗數據結果用圖表顯示並分析其效能，第六章做出本文最後的結論。

## 2. 網路模型

本篇論文目的是在以長程演進技術(Long Tern Evolution, LTE)為基礎網路架構下提出一種佈建 Small Cell 的方法，進而提升整體網路的效能。LTE 網路包含無線存取網路與核心網路兩部分。無線存取網路的部分稱為演進全球地面無限存取技術 (Evolved Universal Terrestrial Radio Access, E-UTRAN)，其中使用者裝置稱為 User Equipment (UE)，所連接的基地台稱為 Evolved NodeB (eNB) 基地台之間可以透過 X2 interface 互相連接。核心網路(Core Network, CN)包含 PDN Gateway (P-GW)、Serving Gateway (S-GW)及 Mobility Management Entity(MME)等元件。eNB 可透過 S1 介面連接到核心網路。其中 eNB 連接 MME 的介面稱為 S1-MME 介面，而 eNB 連接 S-GW 的介面稱為 S1-U 介面，UE 和 eNB 之間的介面稱為 Uu。

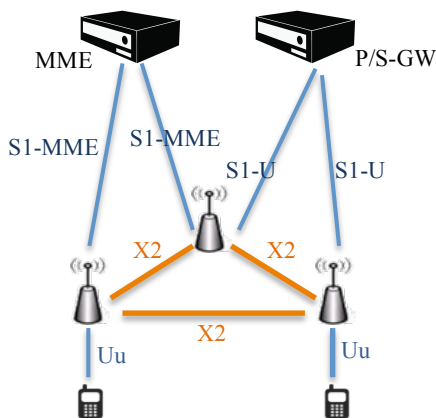


圖 1: LTE Basic Chart

透過 Small Cell 可以增加 LTE 網路的系統容量。依照傳送功率的大小及後端網路技術的差異，LTE 場景中可以有 HeNB、Relay 及 Picocell 等的技術元件。Picocell 可單純視為功率較小之基地台。Home eNB(HeNB)是在室內

家用的基地台，其後端骨幹網路使用 Internet 連線，如：光纖，Cable Modem 及 ADSL 等寬頻網路。Relay 則是用於戶外強化整體網路的覆蓋率。Relay 的後端骨幹網路以無線的方式連接至 eNB。為簡化計算的複雜度，本文場景中是使用佈建在戶外的 Picocell 來做分析模擬，不考慮障礙物之干擾。

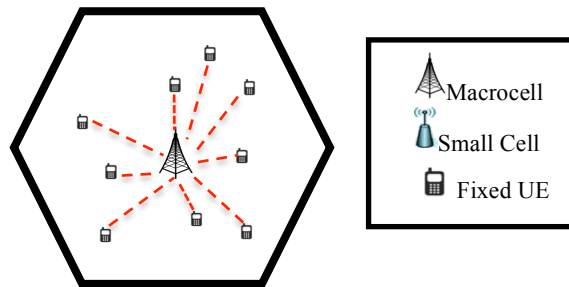


Figure 2: Without Small Cell

本論文以一個 eNB 的通訊範圍當成研究對象，如圖二所示。假設沒有佈建 Small Cell，而只有一個大範圍的 Macrocell 來服務 UE，則範圍內所有的 UE 只能連到此一的基地台。通訊範圍內之 UE，依其移動性可分為 Fixed UE 及 Mobile UE 兩類。分別為場景中固定的住戶使用地點或是使用頻繁之重要通訊熱點。當 UE 的通訊量大時，可能會因為基地台的服務過載，而導致網路壅塞。

UE 離 Macrocell 的距離會影響到 UE 的傳送速度。離基地台越近的 UE，其通訊速率越快。離基地台越遠，通訊速度越慢。如能針對通訊速度較慢之 UE，藉由佈建 Small Cell 來改善效能，則整體網路中之 UE 傳輸速度將得到提升。因此，本論文規劃 Small Cell 之佈建時，將 Macrocell 和 Small Cell 使用的頻譜區段獨立作業，不互相干擾，佈建 Small Cell 的目的是要強化在 Macrocell 內 UE 的訊號覆蓋率，所以在場景內的 Macrocell 和 Small Cell 便可以互相不互相干擾。

當加入了 Small Cell 之後，由於 UE 可選擇距離較近之 Small Cell 進行通訊，所以資料的傳輸速率及功率也會比較好，而且也能對 Macrocell 進行資料卸載(offload)，以解決通訊爆炸的問題，且讓整體網路效能提升。有 Small Cell 輔助通訊之 Macrocell 通訊場景如圖 3 所示。

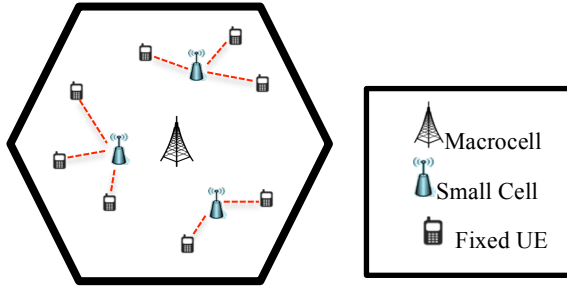


圖 3: With Small Cell 場景

不論是否佈建 Small Cell，一個 Macrocell 的通訊範圍內包含散落在不同地方的數個 UE。藉由基地台和使用者過去通訊的紀錄可得知 UE 出現在某一位置的頻率及該位置之通訊量需求等資訊。基於這些已知之統計資訊，如何以最小的成本來達到最大之整體效能是本篇論文的研究目標。一旦適合佈建 Small Cell 的位置以及其數量決定之後，可將 Small Cell 基地台真正分派到指定的位置上為 UE 做服務。

表 1:符號定義

符號名稱	符號意義
$\delta_{i,j}$	成員之隸屬關係
$k$	Small Cell 個數
$x_i$	$i^{th}$ UE 的位置
$z_j$	$j^{th}$ Small Cell 的位置
$w_j$	$i^{th}$ UE 的通訊需求權重

### 3. Traffic Aware Small Cell Deployment

本論文提出一個高效能的 Small Cell 佈建演算法。當使用者歷史位置資訊及通訊需求量已知之情形下，演算法之目標是計算出佈建所需之基地台數量及其佈建位置，使得整體網路效能可以提升或是網路壅塞的情況可以改善。

#### 3.1 單一 Small Cell 佈建

當場景中分佈著許多 UE 有著各自的通訊需求量，從過去 UE 與基地台通訊時所留下的歷史資訊，可以得到使用者位置與其通訊需求。假設 UE 位置為  $x_1, x_2, \dots, x_n$ ，欲佈建之基地台之位置為  $z$ ，則 UE 到基地台距離之總和可表示為  $f(z) = \sum_{i=1}^n \|x_i - z\|$ ，其中  $\|\cdot\|$  為 Euclidean Distance。基地台佈建之位置  $z$  應能讓  $f(z)$  之值最小，才能讓每個 UE 離基地台的位置最近。為了找出能讓  $f(z)$  最小之  $z$  值，可讓  $f(z)$  對  $z$  做微分，一階微分為 0 之處可計算出  $f(z)$  之極值，經計算之後可得到  $z = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$  時  $f(z)$  值最小。由此式可得知，要佈建的基地台之位置，其實就是所有 UE 的位置之算術平均，這個位置會讓 UE 距離基地台之總距離最短。

上述 Small Cell 佈建位置之計算是假設每個 UE 的通訊需求量都相同，但是實際上每個 UE 的通訊量並不相同。應當令通訊需求較大 UE 離 Small Cell 基地台較近，通訊需求較少之 UE 離 Small Cell 基地台較遠，才能讓整體網路通訊效能進一步提升。

令  $w_i$  表示每個 UE 不同的通訊需求量，則 UE 到 Small Cell 基地台之加權距離總和可表示為  $g(z) = \sum_{i=1}^n \|w_i x_i - z\|$ 。找出能讓  $g(z)$  值最小化之  $z$ ，即為考量 UE 通訊需求量後之最佳 Small Cell 基地台佈建位置。經計算之後，

當  $z' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n w_i x_i$  時  $g(z')$  值最小。所以 UE 的加權算術平均位置為最佳之佈建位置。

### 3.2 多重 Small Cell 佈建

傳輸速度較慢之 UE 通常落在基地台的外圍，這些 UE 應分成幾群及每個 UE 應隸屬於哪一群仍未知。這個問題可透過 k-means 分群演算法[6]來加以解決。k-means 分群演算法可將 UE 進行分群，並將群組內 UE 位置之算術平均值更新為新的群中心點。經過多次的分群與群中心更新的程序之後，可達到一穩定之狀態。找出之群中心點即為 Small Cell 應佈建之目標位置。

當考慮 UE 的通訊需求量時，可透過權重式 k-means 演算法來計算群中心。權重式 k-means 分群演算法主要用於將場景內的 UE 做一個適當的分配，讓每一個使用者都能連到距離自己最近的基地台來做服務，目的是希望讓場景內每個使用者的通訊需求量都能達到最大輸出。因為 k-means 特性，讓每一群的成員到群中心的距離總和最小。距離小代表的意義是進行通訊時的 path loss 也會比較少。接收端才會有較高之訊雜比及通訊速率。

關於 UE 權重值的指定，每個 UE 可以有不同的權重需求量。依照使用者付出的費率高低，有不同的權重等級，有的使用者需要較高的通訊量收費也比較昂貴，可以設定比較大的權重值，Small Cell 佈建時就會離這個 UE 比較靠近一點。相對的，若使用者不常用到網路或沒有太大的通訊需求，則收費較低，其權重值也可以設定的比較小，經過 k-means 計算後每個 UE 會得到一個所屬的群集。

k-means 演算法簡要說明如下。已知一  $n$  個點的資料集合  $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$ ，其中每個資

料點都是一個  $d$ -維實數向量，k-means 演算法要把  $n$  個資料點劃分到  $k$  個不相交的集合中 ( $k \leq j$ )，使得樣本點到群中心平方差達到最小。

k-means 群集演算法的目標函式可表示成下列算式：

$$\min \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n \delta_{i,j} \|x_i - z_j\|^2 \quad (1)$$

其中  $\delta_{i,j}$  為成員隸屬變數， $\delta_{i,j} = 1$  表示  $x_i$  隸屬於集合  $j$  中， $\delta_{i,j} = 0$  表示  $x_i$  不屬於集合  $j$  中。本文所提出之考量 UE 通訊需求量的 Small Cell 佈建演算法可視為權重式 k-means (w-k-means) 演算法當考慮樣本點的權重值  $w_i$  時，可視為有  $w_i$  個點出現在  $x_i$  的位置上，其目標函式可表示如下：

$$\min \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n \delta_{i,j} \|w_i x_i - z_j\|^2 \quad (2)$$

### 3.3 w-k-means 演算法

Let  $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$  當作是  $n$  個 UE 位置的集合，每個 UE 的通訊量以  $w_i$  表示。令  $Z = \{z_1, z_2, z_3, \dots, z_k\}$  當作是群中心的集合。

- (1) 從使用者座標中先隨機挑出  $k$  點作為  $k$  個群中心的初始座標， $z_j = x_j$ , for  $i=1, \dots, k$ 。
- (2) 計算每個資料點  $x_i$  到  $z_j$  之間的距離， $\|x_i - z_j\|$ 。
- (3) 把資料點  $x_i$  分配給他距離最近的  $z_k$  當作他的成員隸屬。

$$\delta_{i,j} = \begin{cases} 1, & \|x_i - z_j\| = \min_l \|x_i - z_l\| \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

- (4) 重新計算新的群中心座標：

$$z_j = \frac{\sum_{i=1}^n \delta_{i,j} x_i w_i}{\sum_{i=1}^n \delta_{i,j}}$$

(5) 如果(3)的資料點沒有重新分配他所屬群集的話就停止，否則重複(2)-(4)。

### 3.4 不適合加入 Small Cell 之 UE

場景中使用者分布的位置是隨機沒有規則的，在最好的情況中，就是每個 UE 都會分配到一個 Small Cell 的子群，而且每一群的成員數量都差不多;但是當在最壞情況的時候，就是分群之後有某幾群的成員數量明顯不同，例如：一群之中只分配到一個成員。如果發生這種情況，就必須要考慮是否讓該成員直接連 Cell 中的 Macrocell 基地台就好，這樣就不用為了多出來的 UE 而多佈建一個 Small Cell。

當 UE 都有各自的群中心可提供服務時，在比較靠近 Macrocell 通訊範圍的使用者可能會發現連 Macrocell 的訊號會比連分配到的 Small Cell 群中心的訊號還要來得好很多，所以如果考慮到 Macrocell 在場景內的話，就必須在 Macrocell 通訊範圍內排除掉佈建 Small Cell 的可能性，不然的話就有可能會當 Small Cell 訊號很差的時候，還是只分配給 UE 一個訊號不好的群中心。當場景中 UE 分佈不均勻造成有某幾個 Small Cell 的通訊覆載過大時候，就需要考慮到是否需要 Load balance，因為當 UE 分佈不均勻的時候，分配出來的群組成員數也會不同，在成員較多的群組裡資料量覆載可能會過大，將使用者需求平均分攤到各個 BS 上，才不會造成高負載的 BS 失效或是過載的情況。

## 4. Simulation Results

為了驗證本文所提出的演算法效能，本文對三種演算法, Fixed ,K-means ,w-k-means，在

不同的場景中做模擬測試，透過比較三種方法的 Throughput 來驗證本文所提出之方法。

在實驗中，我們假設了 Uniform, Cluster, Cluster-Variate 三種場景來當作實驗環境，

### 4.1 實驗環境

在實驗場景假設方面，因為 UE 在一般戶外場景時是呈現分佈不均勻的情況，但是在人潮較多的時候像是，演唱會、大賣場、百貨公司的熱點，UE 的分佈又會呈現較聚集的現象，所以又有兩種聚集現象之假設，讓實驗可以更符合實際的狀況：

(1) 實驗依照 UE 分佈位置的差異，假設了三種不同的場景來做實驗：

- I. **Uniform 場景：**一般戶外之場景，UE 隨機的分佈在場景中。
- II. **Cluster 場景：**屬於戶外熱點場景，UE 分佈的位置有群聚的現象，實驗中假設 UE 平均分布在五個大小相同的範圍內。
- III. **Cluster-Variate 場景：**屬於熱點場景，UE 分佈也有群聚的現象，但是每群的範圍不一樣，實驗中假設 UE 平均分布在五個不同大小的範圍內。

實驗相關參數參照[3]之規格書如表二所示。

表二:實驗之相關參數

參數名稱	數值
場景範圍	500m x500m
網路頻寬	10MHz
Small Cell 功率	23dBm
Small Cell 頻率	2GHz
背景雜訊	-104dBm
Path Loss Model	$PL = 140.7 + 36.7\log_{10}(R)$ in km

## 4.2 Uniform 場景的實驗結果

### 4.2.1 當每個 UE 的 Traffic 相同時

#### (a) UE 數量變化對 Throughput 的影響

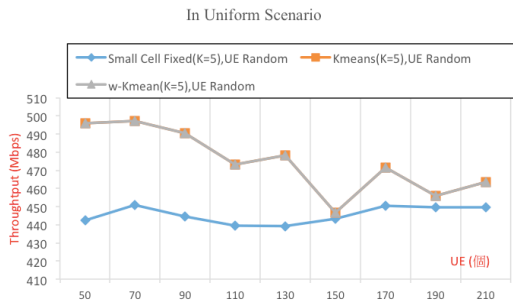


Figure 1: 在 Uniform 場景中，UE Traffic 相同的情形下，UE 數量變化與 Throughput 關聯圖。

從 Figure 1 中可以得知在 UE 均勻分布的場景下，Fixed, k-means, w-k-means 三種方法在每一個使用者的權重都相同時候，k-means 和 w-k-means 呈現的數據一模一樣，Fixed 的效能都比其他兩者較低，因為 Fixed 方法中並不去調整群中心，只有在 UE 為 150 的時候較為接近，但是效能還是低於其他兩個，隨著 UE 數量改變而有不同的 Throughput 變化，K 值固定為 5。

#### (b) K 數量變化對 Throughput 的影響

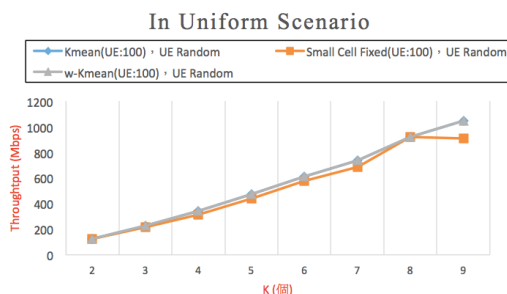


Figure 2: 在 Uniform 場景中，UE Traffic 相同的情形下，K 的數量變化與 Throughput 關聯圖。

從 Figure 2 中可以看到在 UE 均勻分布，

每一個使用者的權重都相同且同樣都有 100 個 UE 的環境下，增加 K 值時，Fixed, k-means, w-k-means 三種方法的效能都是平穩上升，這是因為讓越多 Small Cell 來服務 UE，每個 UE 被分配到的可用資源會比較多，所以效能都是平穩上升。

### 4.2.2 Traffic 不相同

#### (a) UE 數量變化對 Throughput 的影響

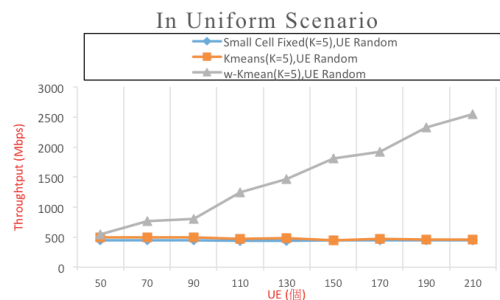


Figure 3: 在 Uniform 場景中，UE Traffic 不同的情形下，UE 的數量變化與 Throughput 關聯圖。

從 Figure 3 中觀察到在 UE 均勻分布的場景下，w-k-means 中每個 UE 都有一個隨機 1-5 的通訊需求量，雖然在 50 個 UE 時候三種方法沒有很明顯的差別，但是當 210 個 UE 時候 Throughput 竟然相差了五倍之多，這裡的 K 值一樣是固定為 5，k-means 的效能還是略比 Fixed 好一點點。

#### (b) K 數量變化對 Throughput 的影響

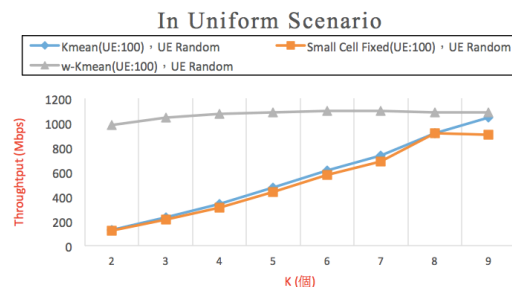


Figure 4: 在 Uniform 場景中，UE Traffic 不同的情形下，K 的數量變化與 Throughput 關聯圖。

從 Figure 4 中發現到在 UE 均勻分布的場景下，w-k-means 也是每個 UE 都有一個隨機 1-5 的通訊需求。當改變 K 值的時候，因為 Small Cell 都會向著權重較高的點靠近，距離越短，傳輸速率越快，效能就會較好，所以可以維持在一個穩定的效能，另外兩個則跟前面提到的一樣情況，UE 數量均為 100。

### 4.3 Cluster 場景的實驗結果

#### 4.3.1 Traffic 相同

##### (a) UE 數量變化對 Throughput 的影響

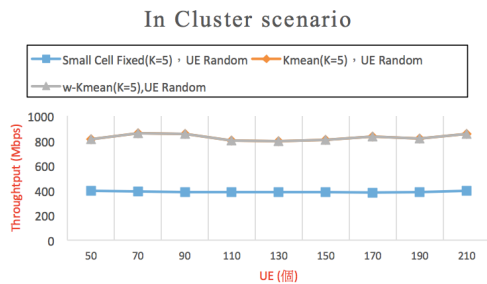


Figure 5: 在 Cluster 場景中，UE Traffic 相同的情形下，UE 的數量變化與 Throughput 關聯圖。

從 Figure 5 我們看到在 UE 群集分布的場景下，Fixed , k-means ,w-k-means 三種方法在每一個使用者的權重都相同時候，k-means 和 w-k-means 數據一模一樣，這裡 k-means 和 w-k-means 的效能會比場景(1)的效能還要高，因為在場景中的 UE 已經有群聚的分佈，隨著 UE 數量改變而有不同的 Throughput 變化，K 值固定為 5

##### (b) K 數量變化對 Throughput 的影響

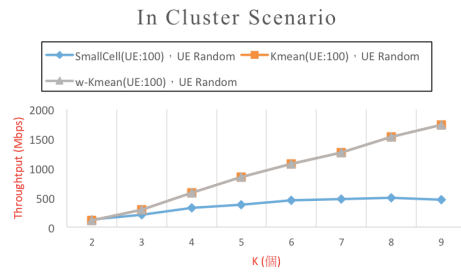


Figure 6: 在 Cluster 場景中，UE Traffic 相同的情形下，K 的數量變化與 Throughput 關聯圖。

從 Figure 6 中看到在 UE 群集分布的場景下，Fixed , k-means ,w-k-means 三種方法在每一個使用者的權重都相同時候，在同樣都有 100 個 UE 的環境下，增加不同數量的 K 效能都是平穩上升中，因為如果越多 Small Cell 來服務 UE 的話，每個 UE 被分到的可用資源會比較多，所以效能都是平穩上升，這裡的 k-means 和 w-k-means 也是會比場景(1)的效能還要提升一些，所以最後和 Fixed 的效能多增加了一段差距。

#### 4.3.2 Traffic 不相同

##### (a) UE 數量變化對 Throughput 的影響

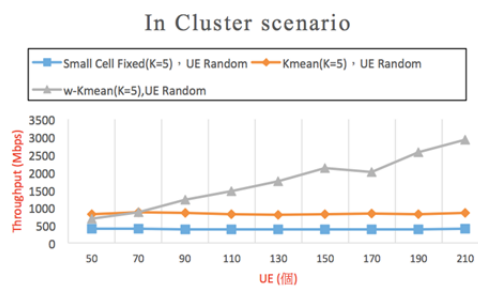


Figure 7: 在 Cluster 場景中，UE Traffic 不同的情形下，UE 的數量變化與 Throughput 關聯圖。

從 Figure 7 可以發現 UE 群集分布的場景下，w-k-means 中每個 UE 都有一個隨機 1~5 的權重，在 50 個 UE 時候 w-k-means 雖然比一般 k-means 效能還要差，但是過了 70 個 UE 之後就持續上升，k-means 的效能也是略比 Fixed



好一點點，K 值固定為 5。

### (b) K 數量變化對 Throughput 的影響

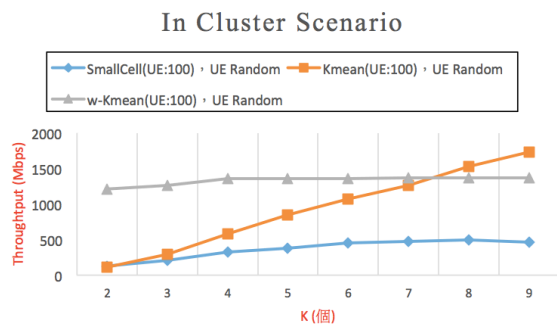


Figure 8: 在 Cluster 場景中，UE Traffic 不同的情形下，K 的數量變化與 Throughput 關聯圖。

從 Figure 8 可以觀察到在 UE 群集分布的場景下，w-k-means 也是每個 UE 都有一個隨機 1~5 的權重分配，在改變 K 值的時候，這裡的 w-k-means 也呈現一樣平穩的效能，但是在 K 為 7 的時候，k-means 的平均效能會超過 w-k-means，Fixed 則還是處於較低的效能，UE 數量均為 100。

## 4.4 Cluster-Variate 場景的實驗結果

### 4.4.1 Traffic 相同

#### (a) UE 數量變化對 Throughput 的影響

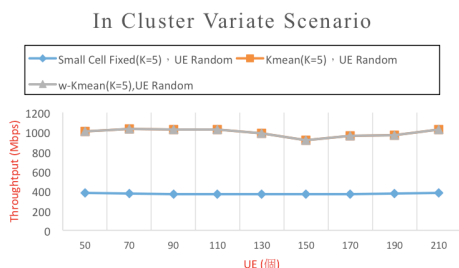


Figure 9: 在 Cluster-Variate 場景中，UE Traffic 相同的情形下，UE 的數量變化與 Throughput 關聯圖。

從 Figure 9 看到在 UE 變動群集分布的場

景下，Fixed , k-means ,w-k-means 三種方法在每一個使用者的權重都相同時候，k-means 和 w-k-means 數據一模一樣，這裡 k-means 和 w-k-means 的效能比場景(2)的效能又更好，隨著 UE 數量改變而有不同的 Throughput 變化，K 值固定為 5

### (b) K 數量變化對 Throughput 的影響

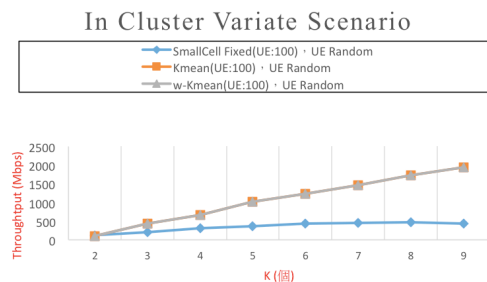


Figure 10: 在 Cluster-Variate 場景中，UE Traffic 相同的情形下，K 的數量變化與 Throughput 關聯圖。

從 Figure 10 可以得知在 UE 動態群集分布的場景下，Fixed ,k-means ,w-k-means 三種方法在每一個使用者的權重都相同時候，在同樣都有 100 個 UE 的環境下，增加不同數量的 K 效能都是平穩上升中，這裡的效能跟在場景(2)時候的 K 變動實驗的效能沒有很明顯的差別，k-means 和 w-k-means 也是會比場景(1)的效能還要提升一些，所以最後和 Fixed 的效能多增加了一段差距。

### 4.4.2 Traffic 不相同

#### (a) UE 數量變化對 Throughput 的影響

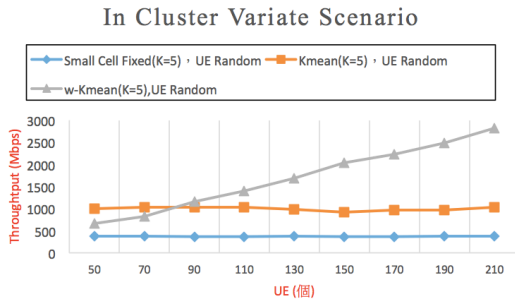


Figure 11: 在 Cluster-Variate 場景中，UE Traffic 不同的情形下，UE 的數量變化與 Throughput 關聯圖。

從 Figure 11 可以發現在 UE 動態群集分布的場景下，w-k-means 中每個 UE 都有一個隨機 1~5 的權重，在 50 個 UE 時候 w-k-means 雖然比一般 k-means 效能還要差，但是過了 70 個 UE 之後就持續提升，k-means 的效能也是略比 Fixed 好一點點，K 值固定為 5。

#### (b) K 數量變化對 Throughput 的影響

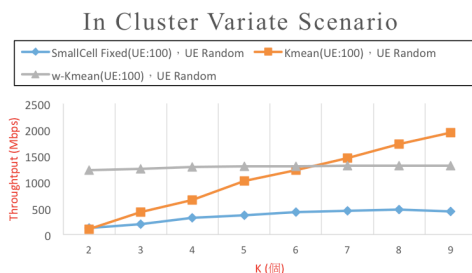


Figure 12: 在 Cluster-Variate 場景中，UE Traffic 不同的情形下，K 的數量變化與 Throughput 關聯圖。

從 Figure 12 我們看到在 UE 動態群集分布的場景下，w-k-means 也是每個 UE 都有一個隨機 1~5 的權重分配，在改變 K 值的時候，K 值的改變並沒有讓效能降低，反而維持在一定的效能，但是在 K 為 7 的時候，k-means 的效能會超過 w-kmeans，Fixed 則還是處於較低的效能，UE 數量均為 100。

## 5 結論

在本提出了一個基於權重式 k-means 群集演算法之 Small Cell 佈建演算法。此演算法可應用於 UE 分佈不均勻且每個使用者之通訊需求量不同的情形。實驗結果證明本文所提出之方法的確可提升整體系統效能。本文之未來工作將進一步將本文所提出之方法應用於 Mobile Relay 上。

## 6 致謝

感謝科技部研究計畫編號 MOST-104-2221-E-156-001- 對本文研究之部分財務方面之支援。

## Reference

- [1] 郭昱賢、林盈達，“LTE 架構、協定與效能”，國立交通大學資訊工程系，2011.
- [2] 麥毅廷、陳振庸、楊峻權、張朝欽，“在 3G 與 LTE 的異質網路下多重無線存取技術整合之評估”，*Journal of Computer Science and Educational Technology*, Vol.2, No.1, 2012.
- [3] 3GPP TR 36.814 V9.0.0 (2010-03) Technical Report, 3rd Generation Partnership Project, Technical Specification Group Radio Access Network, Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA), Further advancements for E-UTRA physical layer aspects (Release 9).
- [4] A. Osseiran, V. Braun, T. Hidekazu, P. Marsch, H. Schotten, H. Tullberg, M. A. Uusitalo and M. Schellmann, "The Foundation of the Mobile and Wireless Communication System for 2020 and beyond," *Proc. IEEE*

*77th Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*, 2013.

- [5] A. Osseiran, F. Boccardi, V. Braun, K. Kusume, P. Marsch, M. Maternia, O. Queseth, M. Schellmann, H. Schotten, H. Taoka, H. Tullberg, M. A. Uusitalo, B. Timus, and M. Fallgren, "Scenarios for 5G Mobile and Wireless Communications: The Vision of the METIS Project," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 52, no. 5, pp. 26-35, May 2014.
- [6] J. MacQueen, "Some Methods for classification and Analysis of Multivariate Observations," *Proceedings of 5th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*. University of California Press. pp. 281–297, 1967.