

在 LTE 網路中以 DRX 為基礎的預測換手機制

楊自強* 高勝助

國立中興大學資訊科學與工程學系

w101056021@mail.nchu.edu.tw, sjkao@cs.nchu.edu.tw

摘要

長期演進技術(Long Term Evolution, LTE)制定了非連續接收(Discontinuous Reception, DRX)的省電機制,當使用者設備(User Equipment, UE)在一段時間內沒有接收到基地台傳送過來的資料時,UE 會先將接收器關閉,進入睡眠狀態。但是如果 UE 於換手前進入睡眠狀態,造成已經到了應該換手的時間點而未換手,進而發生換手失敗或是連線失敗。本篇提出以 DRX 為基礎的預測換手機制,藉由資料庫的歷史路徑記錄,估算下一個要換手的基地台與換手的時間點,並於每次 UE 要進入睡眠前,判定接下來的睡眠是否會超過換手的時間點。模擬的實驗中,依 Long sleep 週期時間、移動速度與 UE 閒置比率的變化,判定 UE 是否該進入睡眠狀態。實驗結果顯示,使用本論文所提的預測模式可以比標準 DRX 機制減少 5% 以上的換手失敗率。

關鍵詞: 長期演進技術、非連續接收、預測換手。

Abstract

Long Term Evolution(LTE) proposed a Discontinuous Reception(DRX) mechanism for power saving. When a User Equipment(UE) is idle for a period of duration, it will turn off the receiver and enter into the sleeping mode. If UE by-passes its best handover time when it wakes up, it is very expensive to re-associate with a new cell. This paper presents a timing prediction mechanism to determine whether a UE should enter the sleeping mode, especially when it reaches the signal border of its serving base station. In the study, under the usage of historical path records, we estimate the best time to handover and analyze the effects on handover performance in variations of DRX long sleep times, moving speeds, and inactive ratios. Simulation results show the effectiveness reducing handover failures over 5% by using the DRX prediction mechanism.

Keywords: LTE, DRX, Prediction handover.

1. 前言

在現行的無線網路系統中,隨著各種不同類型應用程式的出現,對於高速傳輸和網際網路存取的需求越來越高。為了降低網際網路存取的延遲時間,讓使用者可以擁有更多的網際網路服務,就必需提升無線傳輸速率,在 4G 網路當中就採用多種無線的技術,其中包含 64 正交振幅調變(QAM)、多重輸入多重輸出(MIMO)等,但是在提升無線傳輸的速度時,也會因為使用者設備電路複雜度的增加而消耗更多電力。其中長期演進技術(Long Term Evolution, LTE) [1] [2]是採用 Always On 的方式,

所以在閒置(IDLE)時也不會完全中斷與核心網路的連接,更加的消耗使用者設備大量的電力,造成使用者設備待機時間不足問題越來越嚴重。為了解決這個問題,LTE 使用了非連續接收(Discontinuous Reception, DRX)[3][4]的省電機制,節省使用者設備的耗電量。

Discontinuous Reception(DRX)如同字面上的意思一樣,是不連續接收的,就是讓使用者設備的接收器不會一直連續與核心網路連接,在不需要使用時候會關閉接收器一段時間,等待所設定的睡眠時間到了才會再開啟接收器,以此來達到使用者設備省電的效果。在 LTE 中,使用者設備會一直開著接收器去監聽基地台是否有 paging 的行為。等到基地台有 paging 的行為發生時,使用者設備與基地台之間的狀態會由 IDLE 進入 Connected。但是這樣會發生一個問題,因為使用者設備的接收器都是無時無刻保持在開啟的狀態,雖然沒有進行資料的傳輸,但是接收器本身的運行也會消耗大量的能源,如果在使用者設備與基地台之間沒有傳輸的時候,使用 DRX 的方式,即可減少使用者設備開啟接收器的時間,進而達到節省能源的目的。

DRX 狀態會依據無線電資源控制(Radio Resource Control, RRC) [5]狀態的不同而分成兩種模式[6]。第一種是 RRC Connected 狀態:如果 RRC 是在 Idle 的狀態下,由於使用者的無線接入承載(E-RAB)已經被釋放了,所以無法傳送或接收資料,當使用者設備需要傳送或接收資料時,必須發起 Service Request Procedure 執行 E-RAB 回復程序後,RRC 的狀態會更改為 Connected,此時才能開始傳送或接收資料。如果 RRC 是在 Connected 狀態下,此時的 DRX 稱為主動式 DRX,其特點是使用者設備在傳送資料的間隔中不連續的監控實體下鏈控制通道(Physical Downlink Control Channel, PDCCH)[7],在不監控 PDCCH 時,會進入 Short DRX 或是 Long DRX 週期。;第二種是 RRC Idle 狀態:如果 RRC 是在 Connected 的狀態下,當使用者設備一段時間沒有傳送或接收資料,基地台會發起 S1 Release Procedure 來釋放使用者設備所占用的無線端資源。此時,使用者設備的無線端資源(E-RAB)及 RRC Connection 都會被釋放(S5 承載會被保留),此時使用者設備的狀態也會由 Connected 轉換到 Idle。如果 RRC 是在 Idle 狀態下,因為使用者設備與基地台之間沒有資源需要傳送,所以會直接進入 Long DRX 週期。

大多 DRX 的機制都使用在基地台的核心範圍,主要是因為在基地台的邊緣會發生換手事件,

如果使用者設備剛好在換手前進入標準 DRX 機制，且超過換手的時間點才離開睡眠狀態，如此一來就容易發生換手失敗或是連線中斷的問題產生。如圖 1，當使用者設備由基地台 A 往基地台 B 移動時，如果使用者設備於 G 點進入睡眠狀態，那麼下一次他醒來的位置點為 H，此時我們可以發現，使用者設備已經超過最佳的換手位置，容易發生換手失敗或是連線中斷的問題。為了增加標準 DRX 機制的使用範圍，又要避免換手失敗與連線中斷的問題產生，本篇提出以 DRX 為基礎的預測換手機制，藉由資料庫的歷史記錄，在使用者行經相同路徑時，預測下一個要換手的基地台與換手的時間點，並於每次使用者設備要進入睡眠前，判定接下來的睡眠是否會超過換手的時間點，如果不會才進入睡眠狀態，以此來減少較長的 DRX 週期於換手時所產生的換手失敗或連線中斷。

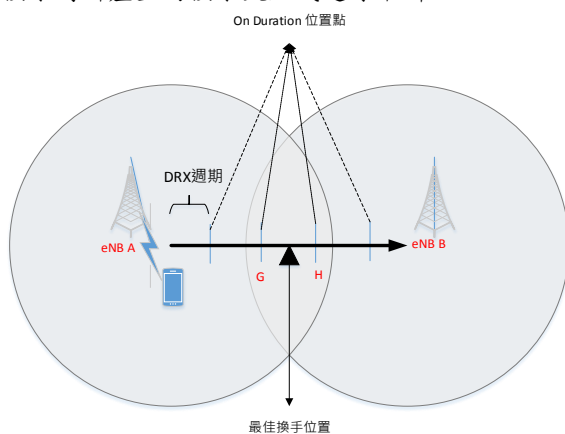


圖 1. 標準 DRX 機制於基地台換手示意圖

在本篇後續章節中，第二章介紹標準 DRX 機制，以及本篇使用的相關技術與相關文獻；第三章說明本篇提出的以 DRX 為基礎的預測換手機制；第四章說明模擬環境與結果分析，最後在第五章提出結論。

2. 相關研究

本章節將介紹標準 DRX 機制，以及本篇使用的相關技術與相關文獻。

2.1. 標準 DRX 機制

在 LTE 中的 RRC Connected 狀態下，DRX 的週期可以細分為 Opportunity for DRX 和 On-Duration，如圖 2。在 On-Duration 的期間中，使用者設備會開啟接收器並監聽實體下鏈控制通道(Physical Downlink Control Channel, PDCCH)的基本傳輸單位 Subframe，是否有基地台傳送過來的資料封包需要接收，如果都沒有的時候會進入 Opportunity for DRX，雖然在 On-Duration 期間包含在 DRX 的週期之中，但是此時接收器並沒有關閉，所以在此期間是沒有進入省電模式；在 Opportunity for DRX 的期間中，使用者設備會將接收器關閉，因此使用者設備與基地台之間的 DRX

週期是同步的，所以基地台只會在使用者設備開啟接收器時傳輸資訊；如果此時有封包需要傳輸，也必需等待離開 DRX 的狀況，基地台才會將封包傳輸給使用者設備。因此 LTE 使用 DRX 的省電機制，就是希望能在延遲時間和耗電之間找到一個平衡點。

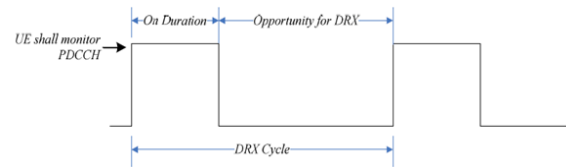


圖 2. DRX 週期示意圖[8]

在圖 3 中，當設備滿足 DRX 的設定值，此時使用者設備會關閉接收器，進入睡眠狀態，以此達到省電的效果，機制如下：

1. 在 DRX 當中，時序會被切割成多個連續的 DRX 週期，使用者設備會一直監控實體下鏈控制通道(Physical Downlink Control Channel, PDCCH)，當實體下鏈控制通道沒有接收到基地台傳送過來的資料時，會啟動一個無活動的計時器(Inactivity-Timer)，Inactivity-Timer 會開始累加，當 Inactivity-Timer 滿足設定的條件時，使用者設備會進入 DRX 機制。
2. 在 DRX 機制中，Inactivity-Timer 初始化(歸零)，如果使用者設備支援 Short DRX 組態，則進入 Short DRX cycle，並且 Short DRX 計時器(DRX short cycle timer)會被啟動，接著會關閉接收器，此時 Short DRX 計時器會開始累加，當滿足 Short DRX cycle 的設定時間，會進入 On-Duration 狀態。
3. 在 On-Duration 期間會使用者設備會開啟接收器並監聽基地台是否有 paging 的行為。如果有 paging 的行為，使用者設備會開啟接收器、Short DRX 計時器初始化(歸零)、離開 DRX 機制和開始資料的傳輸；如果沒有 paging 的行為，此時會再判斷是否滿足 Short DRX 計時器的設定時間，如果滿足則進入 Long DRX cycle，如果沒有滿足則回覆步驟 2。
4. 進入 Long DRX cycle 後，會關閉接收器，直到滿足 Long DRX cycle 的設定時間，才會進入流程 3 的 On-Duration 狀態。

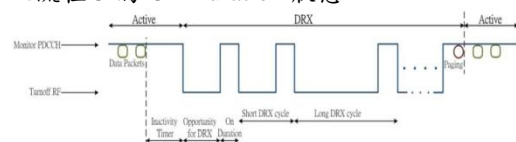


圖 1. 標準 DRX 機制示意圖[9]

2.2. LTE 換手流程

LTE 的換手流程[10]可以細分為測量控制(Measurement Control)、準備期(HO Preparation)、執行期(HO execution)、完成期(HO Completion)，

共四個階段。

1. 測量控制(Measurement Control)：在 LTE 中，使用者設備與現在服務的基地台(source eNB)進行溝通，要求提供連線及掃描範圍，接著現在服務的基地台會依據使用者設備所擁有的權限和功能性，配制其量測的程序和參數，讓使用者設備能對其它鄰近的基地台進行掃描與測量。其後，現在服務的基地台與鄰近的基地台會將其具體實際的存儲值，如：參考信號接收品質(Reference Signal Receive Quality, RSRQ)、參考信號接收功率(Reference Signal Received Power, RSRP) ... 等，傳送給使用者設備，而使用者設備會將所收集到的資訊列表後回傳給現在服務的基地台。
2. 準備期(Preparation phase)：現在服務的基地台會根據使用者設備定期提供的測量報告，來決定是否對其進行換手的動作。當確定進行換手後才會對目標基地台發出換手請求的訊息。若目標基地台的資源不足，不允許讓使用者設備換手過來的話則會回 HO Preparation Failure 給現在服務的基地台；若成功的話，則是在收到 Handover Request Ack 時開始轉送資料到目標基地台。
3. 執行期(Execution phase)：由於使用者設備將進行換手，必須重新建立無線資源控制協議(Radio Resource Control, RRC)的連線。首先必須從現在服務的基地台斷線後，再連結至新的目標基地台。此時，在現在服務基地台緩衝區內的使用者設備資料亦須轉傳至目標基地台。
4. 完成期(Completion phase)：當使用者設備已成功連結至新的基地台後，接下來考慮的部分就是資料傳遞的路徑。目標基地台會請求行動管理實體(Mobility Management Entity, MME) 在使用者設備資料傳遞的路徑上必須做出變更，再由行動管理實體通知服務閘道(Serving Gateway, S-GW)更新資料傳送路徑。而原本的服務基地台將釋放該用戶端設備所占用的資源。

2.3. 換手失敗

針對網路優化的部分，LTE 定義 MRO (Mobility Robust Optimization)[11]機制。圖 4 是 MRO 針對常見的三種無線鏈路失敗(Radio Link Failure, RLF)的類型介紹：

- A. 常規的換手：當使用者設備在現在服務的基地台 A 觸發換手事件時，會開始換手的程序，而在換手的過程中會造成換手的延遲，等換手完成後，會換手到目標的基地台 B。
- B. 太晚換手：在基地台 A 換手之前或是在換手到基地台 B 的過程中，因為基地台 A 其參考信號接收功率(Reference Signal Receiving

Power, RSRP)太低，所以訊息在使用者設備和基地台 A 之間傳送時發生失敗或使用者設備還未完成轉移到基地台 B，因此使用者設備的狀態會更改為 RLF，而造成換手失敗，經檢測後，使用者設備再重新連接到基地台 B 或是其它相鄰的基地台。

- C. 太早換手：基地台 A 成功換手到基地台 B 之後，因為基地台 B 的 RSRP 太低，所以訊息在使用者設備和基地台 B 之間傳送時發生失敗，因此使用者設備的狀態會更改為 RLF，而造成換手失敗，經檢測後，使用者設備再重新連接到基地台 A。
- D. 換手到不合適的基地台：基地台 A 成功換手到基地台 B 之後，發現該基地台提供不穩定的接收功率而導致訊息在使用者設備和基地台 B 之間傳送時發生失敗，因此使用者設備的狀態會更改為 RLF，而造成換手失敗，經檢測後，使用者設備再重新連接到一個新的基地台，這個基地台不是基地台 A 也不是基地台 B。換手到不合適的基地台主要涉及三種：服務的基地台、目標的基地台和重新連線的基地台。

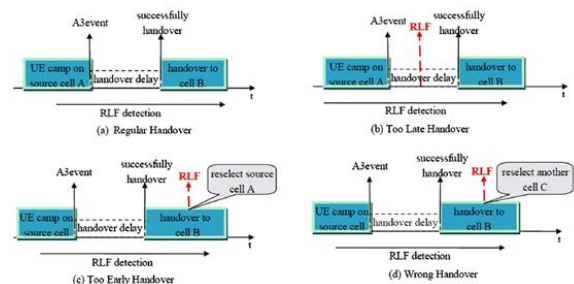


圖 4. MRO 的基本情境[12]

2.4. 預測換手

預測換手目標基地台是一種已經被認可的有效技術，主要是在改善 LTE 換手的性能。但是完整的預測換手所需要的成本遠遠大於可能獲得的收益，為了克服這些缺點，有部分學者提出使用簡單的換手預測技術，並應用在使用者設備的移動模組上面，而達到快速換手及減少可能發生的換手失敗。常見的預測方式有二種。第一種是使用者設備的行進方向來預測出下一個換手目標基地台[13][14]；第二種是依使用者設備的歷史記錄來預測出下一個換手目標基地台[15]。本篇是使用第二種預測方式，進而預測出接下來要換手的基地台與換手的時間點。

3. 研究方法

使用者設備在基地台的核心區域任意移動時，不管 DRX 的週期長短，在睡眠結束後，都處於原本服務的基地台範圍內，所以只需恢復連接即可。但是如果是在基地台涵蓋邊緣時，容易發生使用者設備還在睡眠的狀態，但是使用者設備已經離開基地台的涵蓋範圍，或是使用者設備在睡眠結束

後來不及與目標基地台進行換手而發生 RLF 的狀態。因此，DRX 的週期長短在基地台涵蓋邊緣時會直接影響換手的成功率或造成連線失敗。特別是對於移動速度快的使用者，在使用較長的 DRX 週期設定時，容易造成使用者設備還在睡眠狀態，但已經到了應該換手的時間點而未換手。本篇藉由預測換手機制，預測出下一個要換手的基地台與換手位置，進而計算出換手的時間點，並在每一次使用者設備要進入睡眠時，先判定接下來的睡眠是否會超過換手的時間點，如果不會才進入睡眠狀態。

3.1. DRX 參數設定

標準 DRX 機制可以有效的讓使用者設備關閉接收器進入睡眠的狀態，但基地台何時會傳送資料給使用者設備是無法預先知道，所以基地台要與使用者設備進行同步，才能知道設備什麼時候會關閉接收器，什麼時候會開啟接收器。如果沒有良好的同步，就容易發生基地台傳送資料給使用者設備時，剛好設備在睡眠狀態而造成資料遺失…等問題。所以在基地台的 RRC message 裡面就會明確的指出什麼時間點要關閉接收器，什麼時間點要開啟接收器，當使用者設備接收到這些參數之後，就能依據這些參數與基地台進行同步，知道在什麼時候需要關閉接收器，什麼時候需要開啟接收器。常用的參數如下：

DRX Cycle：定義一次 DRX 的時間長度，也就是指一次關閉接收器至開啟接收器的時間長。

On Duration Timer：表示在 DRX Cycle 中打開接收器的時間。

DRX-Inactivity timer：表示使用者設備沒有接收到 PDCCH 來的資料時，這個 Timer 就會啟動，若超過 Timer 的設定值之後，使用者設備就會關閉接收器進入 DRX Cycle。但若在這個 Timer 仍在計數的時候，又收到 PDCCH 傳送過來的資料，則這個 Timer 就會歸零。

Short-DRX-Cycle：DRX Cycle 有分 Long DRX cycle 或 DRX Short，這個參數表示短的睡眠週期。

Long-DRX-Cycle：表示長的睡眠週期。

DRXShortCycleTimer：因為有分 Short DRX 跟 Long DRX，當超過一定的時間之後，會由 Short DRX 轉變成 Long DRX。因為 Long DRX 雖然較省電，但是喚醒的時間也較久，所以 LTE 設計了一個機制，若是一段時間沒有資料要傳，則由 Short DRX 轉變成 Long DRX。

這些參數會在 bearer 建立的初期由基地台依據使用者設備的連線服務需求進行設定，並由 Radio Resource Config Dedicated Information Element 的 MAC-Main Config information element [1]傳遞給使用者設備。若連線當中要修改參數時，也可以由基地台或使用者設備本身發起，只是一般都會由基地台發起，並由 RRC 重新連線配置，如圖 5。

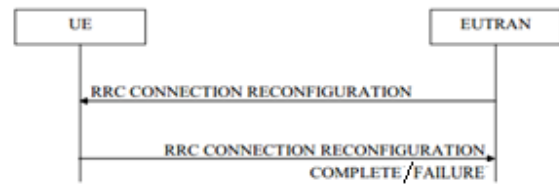


圖 5. RRC reconfiguration[5]

3.2. DRX 為基礎的預測換手機制

預測換手機制主要是將使用者的行駛行為，如：行駛速度、換手的目標基地台、換手位置點、移動路徑。將這些資料加以記錄與分析，最後會取得下列資訊：行駛速度、換手的目標基地台、換手位置點、移動路徑與路徑權重。

建立好歷史資訊後，在下次使用者移動時，即可依據之前所記錄與分析之數據，與此次行駛路徑進行比對，找到相符之移動模式，並依此移動模式來預測出接下來要換手的目標基地台、換手時間等數據。在 LTE 使用標準 DRX 機制中，於每次要進入睡眠之前，先計算接下來的睡眠是否會超過預測出來的換手時間點，如果會超過換手的時間點，此時將不進入睡眠狀態等待換手完成後再判斷是否進入睡眠狀態，其流程如圖 6，流程說明如下：

1. 計算各路徑的使用機率：與基地台連接後的初始位置行駛至現行所在位置的過程稱之為使用者設備的路徑。將使用者設備的路徑與歷史記錄中的每一條路徑進行比對，並計算出兩者相符的比例，即為可能採用該路徑的機率 $P_{route(i)}$ 。
2. 針對使用者設備的移動性進行假設：將使用者設備的移動模式設定為規則與不規則二種，並使用下列公式來計算使用者設備是屬於那一類型的。

$$\sum_{i=1}^{i=N} P_{route(i)} = \theta$$

- 將各路徑採用的機率加總取得其值為 θ ，如果 θ 大於 0.7，表示使用者設備的移動性對於此基地台是屬於規則型，即可使用預測機制。相反的，如果 θ 小於 0.3，表示使用者設備的移動性對於此基地台是屬於不規則型，因此無法使用預測機制。
3. 預測使用者設備的移動模式：當使用者設備的移動模式屬於規則型的狀態，基地台會依據步驟一所計算的各路徑採用機率，找其最高者設定為使用者設備接下來的移動模式，如果最高機率的路徑超過一條者，會選擇較高權重的路徑設定為使用者設備接下來的移動模式。

4. 預測使用者設備的換手時間點：依據預測的移動模式，取得換手的目標基地台和換手位置點，並計算出換手的時間點。
5. 判斷是否進入睡眠狀態：預測到換手的時間點後，在每一次標準 DRX 機制要讓使用者設備進入睡眠狀態之前先判斷醒來後的時間點是否會超過預測的換手時間點，如果會則基地台需重新配置 DRX 參數給使用者設備；如果不會則進入睡眠狀態。依此方式來解決標準 DRX 機制於換手時處理睡眠狀態而產生的換手失敗或是連線中斷的問題。並以圖 7 的演算法，說明實際上運用的方式。

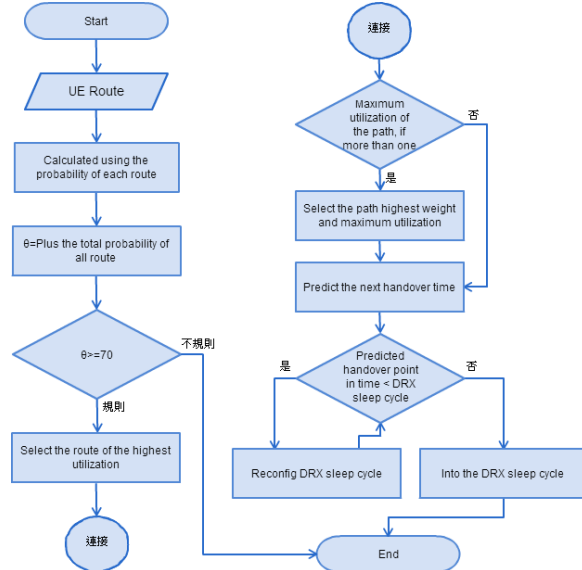


圖 6. 以 DRX 為基礎的預測換手機制流程圖

Main Algorithm**Input:**

Ctime, current time within simulation, initially it is set to 0.
 Stime, the whole simulation time.
 Scyc, the short sleep time, initially it is set 40.
 Lcyc, the long sleep time, initially it is set 80 or 160 or 320 or 640 or 1280 or 2560.
 data, the eNB transport data to UE.
 T, prediction T milliseconds will handover.

BEGIN

1. while Ctime < Stime
2. ac ← data #received data
3. if short > 0 #DRX short sleep
4. then
5. Sleep()
6. short ← short - 1
7. if ac==null && short==0 && T>Lcyc
8. then
9. long ← Lcyc
10. else
11. NLcyc ← Reconfig sleep time
12. long ← NLcyc
13. end if
14. else if long>0 #DRX long sleep

```

15.   Sleep()
16.   long ← long - 1
17.   if ac==null && long==0 && T>Lcyc
18.   then
19.     long ← Lcyc
20.   else
21.     NLcyc ← Reconfig sleep time
22.     long ← NLcyc
23.   end if
24.   else if ac > 0
25.     ac ← ac - 1
26.   else if ac == 0
27.     inactivity_timer ← inactivity_timer+1
28.     if inactivity_timer > 10
29.     then
30.       short ← Scyc
31.     end if
32.   end if
33.   Ctime ← Ctime + 1   # simulation time
34. end while
END

```

圖 7. 以 DRX 為基礎的預測換手機制演算法

4. 模擬環境與結果分析

本章節中，針對以 DRX 為基礎的預測換手機制演算法進行模擬，並評估其在換手失敗率與使用功耗的表現。標準 DRX 機制所造成的換手失敗皆為太晚換手，主要是使用者設備於換手前進入睡眠狀態，且超過換手點後才甦醒，導致使用者設備於換手時，信號接收功率(Reference Signal Receiving Power, RSRP)太低，所以訊息在使用者設備與現在服務的基地台傳送時發生失敗或使用者設備還未完成轉移到目標基地台，因此使用者設備的狀態會更改為 RLF，而造成換手失敗。

4.1. 模擬環境與實驗參數

本實驗的模擬環境採用 ns3 進行模擬，模擬使用者設備在平坦地區，並評估使用標準 DRX 機制對於換手失敗率的影響狀況，因此計算使用者設備所產生的換手失敗次數，透過方程式 (1) 來計算：

$$\text{DRX 換手失敗率} = \frac{HOF}{HOF + HOSUC} \dots \dots \dots (1)$$

- HOF：換手失敗的次數
- HOSUC：換手成功的次數

本篇提出使用以 DRX 為基礎的預測換手機制來解決標準 DRX 機制所造成的換手失敗問題，為了評估其效益，將以 DRX 為基礎的預測換手機制與標準 DRX 機制進行比較，計算以 DRX 為基礎的預測換手機制可以減少換手失敗率，透過方程式 (2) 來計算：

$$\text{減少換手失敗率} = DHOF - PHOF \dots \dots (2)$$

- PHOF：以 DRX 為基礎的預測換手機制的換手失敗率

- DHOF：標準 DRX 機制的換手失敗率

而為了評估傳統方式、使用標準 DRX 機制和以 DRX 為基礎的預測換手機制，在 RRC Connected 的狀態下的平均使用功耗，因此計算使用者設備在各種機制下所使用的功耗[16]，透過方程式（3）來計算：

$$\text{平均使用功耗} = \frac{IT*256 + OD*11 + SP*0 + LA*39 + DL*22}{UEs} \dots (3)$$

- IT：閒置無資料傳輸的時間，每一秒需 256mW
- OD：On Duration 時間，每一秒需耗能 11mW
- SP：睡眠時間，無耗能狀態
- LA：On Duration 至傳送資料狀態的時間，每一秒需耗能 39mW
- DL：睡眠狀態至 on Duration 的時間，每一秒需耗能 22mW
- UEs：使用者設備的總數量

本篇採用的拓樸環境中，共有 19 個基地台，任二個相鄰基地台之間的距離皆為 500 公尺，並部屬 50 個使用者設備，每一個使用者設備的移動性採用均速直線移動，實驗拓樸圖如圖 8 所示。系統參數設定詳見表 1。

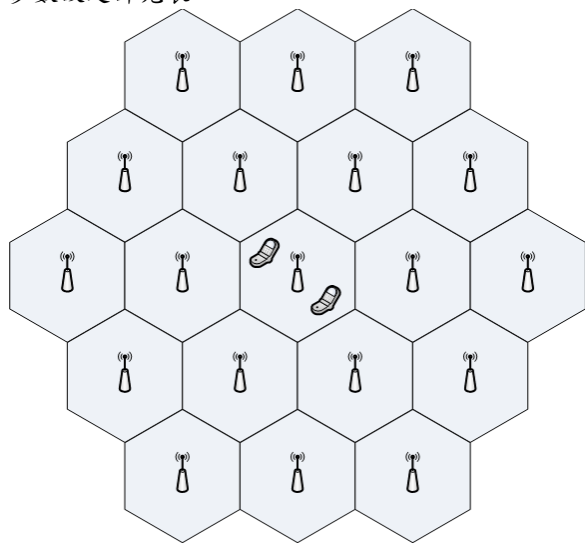


圖 8. 實驗拓樸圖

表 1 系統參數

Parameter	Value
Scenario	19 Cells wrap-around
Number of UE	50
Inter-site distance	500 m
Simulation times	100 s
Bandwidth	20 MHz
Channel	Download Link
UE Speed	30,90,120 km/h
Mobility model	Constant Velocity
Path loss	Free Space Propagation Model
TTT	256 ms
Hysteresis	3dB
Cell reselection	256 ms
RLF	256 ms
Long cycle length	80,160,320,640,1280,2560 ms
Short cycle length	40 ms
Short cycle timer	40 ms
Inactivity timer	10ms
On duration timer	5 ms

4.2. 實驗結果

在實驗結果中，我們將提出的方法與標準 DRX 機制進行比較，並針對於使用功耗與換手失敗次數進行分析。如圖 9 所示，模擬時間內有 75% 閒置的狀態下，Long sleep time 由 80 毫秒增加至 2560 毫秒時，我們發現使用標準 DRX 機制在換手時，其換手的失敗率會比不使用標準的 DRX 機制增加 3% 至 75%。當使用者設備的速度越快時，此狀況的影響越加的明顯。使用本篇提出的以 DRX 為基礎的預測換手機制，於睡眠前會先判斷接下來的睡眠是否會超過最佳的換手時間，依此來避免換手失敗的發生，其效果如圖 10，使用以 DRX 為基礎的預測換手機制可以有效的解決標準 DRX 機制所造成的換手失敗約 5%~70%。當模擬時間內閒置狀態比例減少時，使用標準 DRX 機制所造成的換手失敗比例也會相對的減少，但使用本論文提出的方式，皆能有效的解決標準 DRX 機制所造成的換手失敗。

圖 11 所示，本篇提出的方法在功耗使用方面，比標準的 DRX 可以多節省約 22% 至 81%，主要的差異是減少換手失敗所造成的功耗，因此當 Long sleep time 為 80 毫秒時，使用標準 DRX 機制並無發生換手失敗，但是在使用本篇提出的方法中，因為某些預測出來的最佳換手時間點會與實際上有差異，所以會增加部分功耗。當 Long sleep time 超過 160 毫秒時，使用標準 DRX 機制所造成的換手失敗會增加整體的使用功耗。圖 12 所示，使用者設備於不同的閒置期所平均的使用

功耗，當閒置期越久，所使用的功耗越少，但是在閒置期為 25% 的時候，因為基地台與使用者設備之間的傳輸頻繁，因此在 DRX 機制中並無法進入 Long sleep 的狀態。因此不管使用何種 Long sleep time，其使用功耗皆為相同。當使用者設備的移動速度下降時，各種閒置期的平均使用功耗也會隨之下降，但各種閒置期的相對比例皆為相同。

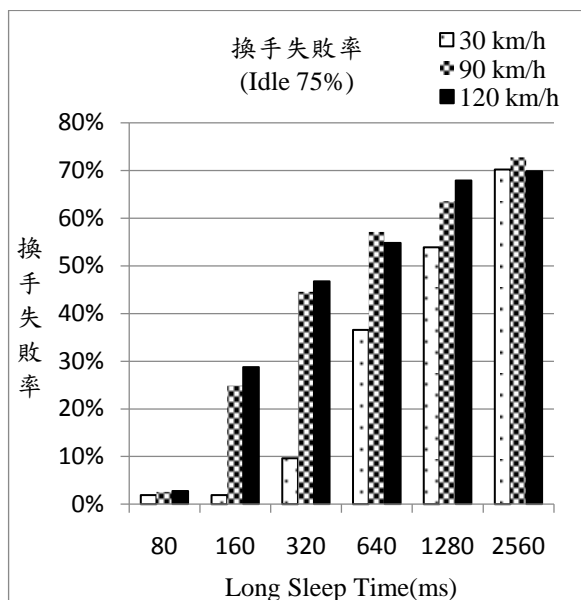


圖 9. 標準 DRX 機制的換手失敗率

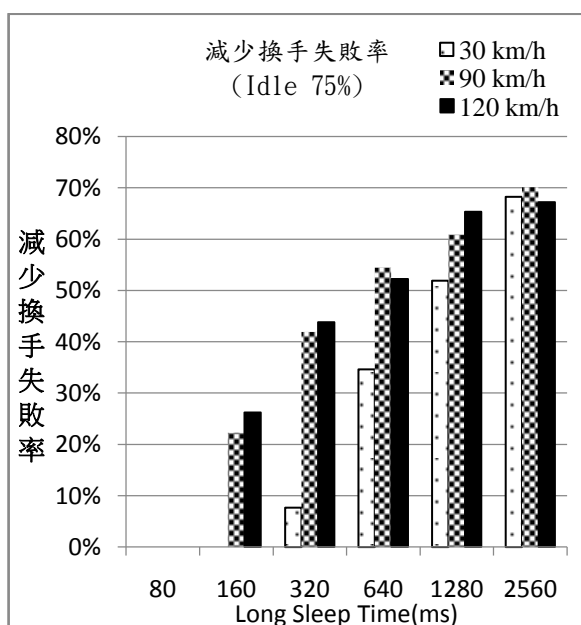


圖 10. DRX 為基礎的預測換手機制減少的失敗率

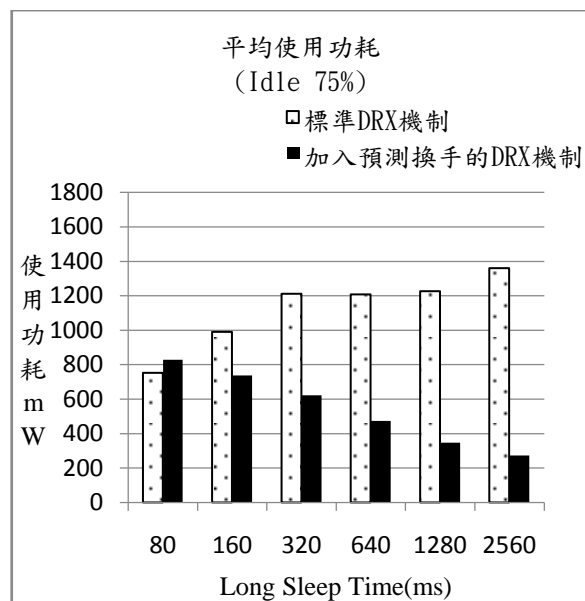


圖 11. 使用者設備於時速 120 公里的使用功耗

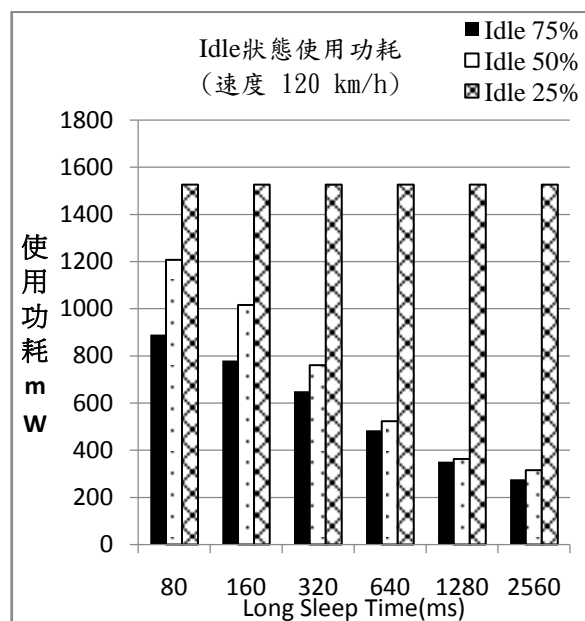


圖 12. 各閒置狀態使用者設備的使用功耗

5. 結論

LTE 為了節省使用者設備在閒置狀態的功耗，定義了 DRX 機制，讓使用者設備在無資料傳輸的狀態下關閉接收器，以此達到節省能源的目的。多數學者在 DRX 機制的研究中，主要是以基地台的核心範圍為主軸來探討各種參數組合的變化。主要是為了避免使用標準的 DRX 機制時，如果使用者設備於最佳換手時間點前進入睡眠狀態，醒來時很有可能因為換手太晚，而導致換手失敗。因此本篇論文提出以 DRX 為基礎的預測換手機制，藉由歷史資料庫的路徑記錄，決定下一個要換手的基地台與最佳的換手時間點，並於每次進入睡眠之前，判定接下來的睡眠是否會超過最佳的換手時間點，如果不會才進入睡眠狀態，以此來避免

Long sleep 週期所導致的換手失敗或連線中斷。實驗結果顯示，使用者設備的閒置比率超過 25%，且 Long sleep time 設定為 80 時，使用標準 DRX 機制所造成的換手失敗率過低，因此無需使用本論文所提出的機制。當 Long sleep time 設定超過 320 以上，標準 DRX 機制至少增加 7% 以上的換手失敗率。使用以 DRX 為基礎的預測換手機制，不但可以比標準 DRX 機制減少至少 5% 的換手失敗率，而且可以節省至少 22% 的使用功耗。隨著 Long sleep time 的增加，本論文所提的預測模式最高可以減少 70% 的換手失敗率，以及節省 81% 的使用功耗。

參考文獻

- [1] F. Khan, LTE for 4G Mobile Broadband: Air Interface Technologies and Performance: Cambridge University Press, 2009.
- [2] D. Astely, E. Dahlman, A. Furuskar, Y. Jading, M. Lindstrom, S. Parkvall, LTE: the evolution of mobile broadband, IEEE Communications Magazine, 2009, vol.47, pp.44-51.
- [3] 3GPP, TS36.321 V10.2.0. Evolved Universal Terrestrial Radio Access(E-UTRA); Medium Access Control (MAC) protocol specification(Release 10), June 2011.
- [4] C. S. Bontu, E. Illidge, DRX mechanism for power saving in LTE, IEEE Communications Magazine, 2009, vol.47, pp.48-55.
- [5] 3GPP, TS 36.331 V10.2.0. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Resource Control (RRC); Protocol specification (Release 10), July 2011.
- [6] 3GPP, TS23.401 V10.3.0. General Packet Radio Service (GPRS) enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) access (Release 10), March 2011.
- [7] 3GPP_LTE_Channels_and_MAC_Layer, Available from: <http://www.eventhelix.com/lte/presentations/3gpp-lte-mac.pdf> (Date of access: 2009).
- [8] 3GPP_LTE_DRX, Available from: http://www.mem.com.tw/article_content.asp?sn=1109140004 (Date of access: September, 2011).
- [9] 郭昱賢, 林盈達, LTE 架構、協定與效, 國立交通大學資訊工程系, September 2011.
- [10] 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, 2012, vol.2, no.1.
- [11] K. Kitagawa, T. Komine, T. Yamamoto, S. Konishi, A handover optimization algorithm with mobility robustness for LTE systems, 2011 IEEE 22nd International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), 2011, pp.1647-1651.
- [12] Wei Zheng, Haijun Zhang, Xiaoli Chu, Xiangming Wen, Mobility robustness optimization in self-organizing LTE femtocell networks, EURASIP Journal, Springer, January 2013.
- [13] 蕭中一, 高勝助, 一個在 LTE 中具即時行進方向預測及動態權重調整的換手機制, 臺灣網際網路研討會, TANET, 2013.
- [14] 胡似英, 一個在 LTE 中具行進方向預測及觸發時間調適的換手機制, 國立中興大學資訊科學與工程學系所, 碩士論文, June 2012.
- [15] G. Huaining, W. Xiangming, Z. Wei, L. Zhaoming, W. Bo, A History-Based Handover Prediction for LTE Systems, International Symposium on Computer Network and Multimedia Technology 2009 (CNMT 2009), pp.1-4.
- [16] Nokia, R2-071285, DRX parameters in LTE, 2007.