

階層式蜂巢系統下容錯式負載平衡與換手管理策略

陳忠信

朝陽科技大學

網路與通訊研究所

jschen26@cyut.edu.tw

李美文

朝陽科技大學

網路與通訊研究所

s9630603@cyut.edu.tw

蔣文祺

朝陽科技大學

網路與通訊研究所

s9530610@cyut.edu.tw

李冠億

朝陽科技大學

網路與通訊研究所

s9530602@cyut.edu.tw

摘要

階層式蜂巢系統架構因提供更具彈性的頻道利用，因此被廣泛運用在目前的系統上，在階層式蜂巢系統架構中，由於每一個區域同時被數個基地台所服務，基地台(Base station; BS)之間的頻道配置若無良好的管理策略，很難達到負載平衡，而導致系統的容量降低。當BS故障期間，其系統資源皆是閒賦，無法使用。此時，若能將其系統容量分享給周遭鄰近的細胞，增加鄰近細胞的系統容量，則能降低鄰近細胞的系統負擔。在階層式架構下，換手(handoff)的問題也遠比非階層式架構下高，這會提高系統的額外負擔，通話上時間的延遲也較高。因此，這篇研究中提出一個有效的容錯負載平衡與換手管理策略，當BS故障時，將系統資源分享給周遭鄰近的細胞，用來增加系統的資源和降低系統的額外負擔。

關鍵詞：階層式蜂巢系統、換手、頻道配置和容錯

Abstract

Hierarchical cellular networks, that provide more flexible methods for using bandwidth management strategies to enhancing system performance, are used popularly in the current systems. In this architecture, an area is covered (served) by a number of base stations (BS). An ineffective management is difficult to handle the load-balance problem between the traffic loads and the allocated bandwidth of BSs and will lessen the system capacity. When there are failures in BSs, the fault BSs cannot use the allocated bandwidth to serve the incoming calls. A strategy that can reallocate the bandwidth of the fault BSs to the neighboring (non-fault) BSs will lessen the effect of BS failures. Moreover, the handoff

problem to hierarchical cellular networks is larger to non-hierarchical cellular networks. It will increase the extra overhead and also enlarge the connection time of a call. In light of above discussions the investigation proposes an effective fault-tolerant load balance and handoff management strategy. When there are failures in BS, the original resource of this BS will be reallocated to its neighboring BS. Therefore, the strategy can increase the system capacity and decrease the system overhead.

Keywords: hierarchical cellular system, handoff, channel allocation, fault-tolerance

1.前言

無線通訊系統的可用頻段因受限於通訊法規的限制，而限制了很多無線通訊產業的發展。因此，如何將給定的有限頻段做最大的利用，不管在以FDMA為主的一代系統、以TDMA為主的二代系統或以CDMA為主的三代或未來的系統，都扮演著反應系統容量高低的角色。階層式蜂巢系統架構，因提供更具彈性的頻段利用，因此被廣泛使用在目前系統上[5、8、10、12]。

在蜂巢式系統中，每一個細胞皆有自己可用的頻道，而這些頻道不會跟鄰近的細胞相互干擾。目前頻道分配方法是每個細胞使用的頻道數量都是固定的，因為沒有考慮所需承載的通話量，所以會產生較高通話阻礙的問題。合理的配置應該讓通話流量高的細胞比通話流量低的細胞擁有更多的頻道。但是，細胞所服務的區域，因為通話人口的結構會隨時間有所變動，且通話的時間分佈特性也有所不同，因此細胞要承載的通話流量分佈也會因時間有所不同。系統間細胞如何有效的達到負載平衡，成為影響系統容量的關鍵[2-3、7、9、11]。

無線通訊系統中常會遭遇一些狀況，例如：基地台因故障而無法提供通話服務、基地台由故障的狀態回復正常或基地台間的負載

分佈改變等。若頻道的分配無法適應這些改變，這將會導致頻道無法有效地用來提供通訊服務。相對地，也會降低電話用戶的滿意程度。當基地台故障期間，其此基地台的原來被配置的頻寬皆是閒賦，無法使用。此時，若能將其被配置的頻寬分享給周遭鄰近的細胞，在不與鄰近細胞互相干擾的狀況下，增加鄰近細胞的系統容量，則能降低鄰近細胞的系統負擔。

在階層式系統中，一個區域同時被巨細胞(macrocell)與微細胞(microcell)覆蓋。一個巨細胞的管理範圍也與數個微細胞重疊。在這個架構下，一個高移動性的行動用戶(mobile host; MH)會有很高的機會在不同的細胞的管理範圍中移動。而且，因為巨細胞與微細胞使用不同的頻段，且相臨的巨細胞間(或微細胞間)被配置的可用頻道也不同。當這個高速移動 MH 移動的過程中，會跨越不同的細胞，而相鄰的細胞間使用的頻道不一樣，所以一定會有換手的機會。而整個換手的過程中必須經過資料的交換、頻道的改變、可能還會經歷階層系統的改變，花費時間約 100ms-200ms [6]，由此可知換手的次數越多會讓系統的負擔越大，對通話上時間的延遲也越長，在階層式環境下如何減少換手的機率也是一大研究議題。

換手管理中的溢流(overflow)與回流(take-back)問題，溢流產生的情況為當通話在所屬的階層當中找不到可用的頻道時，通話會到別階層尋找可用的頻道，當別的階層提供頻道給予這通通話使用，這通話就成為溢流的通話。回流所產生的情況為當通話已成為溢流的通話時，發現原所屬的階層有多餘的頻道可供它使用，此通話就會回流到所屬的階層當中。目前在階層式蜂巢系統架構，主要會有兩種方法來做通話的管理。第一種方法稱單方向的溢流(Unidirectional Call-Overflow; UCO) [8、6]，此方式會優先將通話配置於微細胞的頻道，在高移性的環境下，存在大量的換手問題。

第二種方法稱速度感應(Speed-Sensitive) [8、6]，本文是以速度感應型來做比較，速度感應型是利用速度來決定，當通話為高速移動中，此通話會選擇先使用巨細胞的頻道。相對通話為低速移動中的情況，會先選擇微細胞的頻道。這樣的方法可以讓移動速度快的通話在大範圍下停留時間較久，而減少換手的機率。但這種方法，巨細胞的頻道可能會被耗盡，但是在它涵蓋範圍內通話量較低的微細胞會有很多頻道閒置著。當涵蓋範圍內的通話量高的

微細胞沒有頻道時，這通通話會溢流到巨細胞要求提供服務，而巨細胞可能沒有多餘頻道，而造成通話阻礙。巨細胞內通話量較低的微細胞能先使用自己的頻道，通話量較高的微細胞就可將這通電話溢流到巨細胞，而巨細胞會提供頻道。這類型的方法，降低了換手問題，卻也造成了通話阻礙率升高。

基於上面的討論，我們發展一個兼顧容錯負載平衡與換手問題的策略。針對 BS 負載量改變方面，配合各細胞間相對的負載量，提出的策略會自動的調整各細胞間的頻道配置，這可以大幅度的增加頻道的使用率。當 BS 發生故障時，策略具有容忍基地台因為故障無法提供通訊服務，同時維持系統頻道的有效利用。在巨細胞/微細胞的通訊環境中，每一個區域同時被微細胞與巨細胞的基地台服務。當一基地台發生故障，它服務區域內的其它基地台可由鄰近區域中的基地台獲得更多的頻道來維持這個區域的通訊品質；同時間，故障基地台的原有頻道亦會重新被分配到鄰近區域中的基地台以做為交換。如此，我們的策略即可提供具容錯能力的通話服務，儘管系統中有些基地台會因為故障無法提供通訊服務，對行動電話用戶而言，他們依舊可以得到該有的通訊品質。在以換手管理上的頻道指派這方面，策略中移動速快的 MH 被配置到巨細胞的機率會較高，因此換手的機率會減少。另一方面，策略中也考慮到目前巨細胞的閒置頻道數，避免巨細胞頻道被大量的快速換手 MH 使用殆盡，而底層的微細胞系統，沒有頻道時，無法溢流到巨細胞，因此這個方式，會減少換手的次數，卻不影響到整個系統的容量。

這篇研究的其它內容安排如下：第 2 節中會講述整個系統的架構。接下來第 3 節為說明我們的策略及第 4 節展示模擬的數據結果。最後第 5 節，我們做一個總結。

2.系統模式

一個基地台在接收發送無線電波時，以其所能接收的訊號強度，以及電波直線傳送的特性，所形成以基地台為中心的區域，為此基地台所涵蓋及可以提供服務的範圍，稱為細胞。階層式蜂巢系統架構，如圖 1 所示，一個巨細胞覆蓋著數個微細胞且階層式蜂巢系統將可用的頻段分成 B_H 和 B_L 二組頻段，分別提供給快速移動性(High-Mobility)和慢速移動性 Low-Mobility 的巨細胞系統和微細胞系統使用，巨細胞和微細胞利用不同頻段的頻道來提

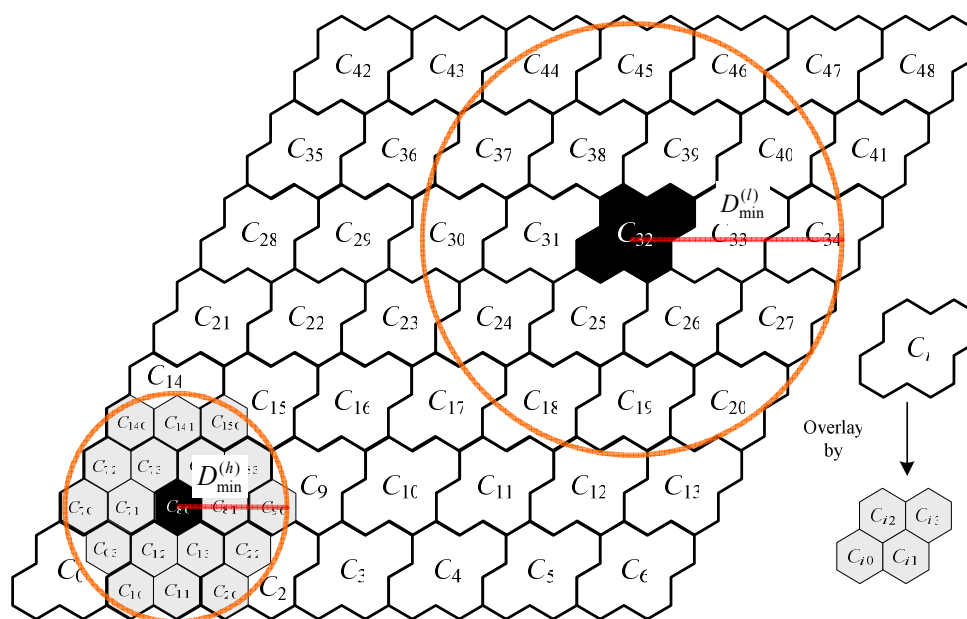


圖 1. 階層式蜂巢系統架構

供通訊服務，因此巨細胞和微細胞之間的通話不會互相干擾。針對同階層的微細胞或巨細胞系統，它對細胞的頻道分配和通話的分派的特性如下所示。同階層的兩個細胞，在最小干擾距離(D_{min})內，不能分配相同的頻道。否則，在干擾距離(D_{min})內的同階層的細胞 $IN(C)$ (如定義 1 所示)的通信將會彼此干擾。

定義1：細胞 C 干擾範圍內的細胞定義為 $IN(C) = \{C' | \text{細胞 } C' \text{ 與 } C \text{ 距離小於 } D_{min} \text{ 的同階層的細胞}\}$ ， $IN(C)$ 包含所有與 C 距離小於 D_{min} 的全部細胞。

每一組頻段 B ，針對系統的特性，可用FDMA、TDMA、CDMA等技術或這些技術的組合，這些頻段 B 切割成數個互不干擾的頻道，每個頻道可用來供一組MH與BS之間的通訊。以細胞為主的頻道分配，負責分配給每一個細胞 C 一群頻道 $P(C)$ ， $P(C)$ 稱為 C 的基本頻道集。 C 的基本頻道集分配，必須滿足定義2，即任兩干擾範圍內的細胞不能被分配到相同的頻道。為方便起見，本研究中稱 C 的干擾範圍內，擁有基本頻道 r 的細胞集合為 $IP(C, r)$ ，如定義3所示。

定義2：對細胞 C 的基本頻道分配 $P(C)$ 須滿足
 $P(C) \cap P(C') = \emptyset$ ，其中 $C' \in IN(C)$ 。

定義3：C的干擾範圍內，擁有基本頻道r的細胞為 $IP(C, r)$ ，其中 $IP(C, r) = \{C' \mid C' \in IN(C) \text{ 且 } r \in P(C')\}$ 。

在這研究中每個細胞 C 所擁有的基本頻道集 $P(C)$ ，會隨著所需承載的負載量 $\lambda(C)$ 不同而有所調整，假若 C 新增一個基本頻道 r ， $IN(C)$ 中原先擁有的細胞為 $IP(C, r)$ ，就必須放棄頻道 r ，如細胞 C 和 $IP(C, r)$ 之間的基本頻道集變化如式子(1)所示。

$$\begin{cases} P(C) \leftarrow P(C) \cup \{r\} \text{ and } S(C) \leftarrow S(C) - \{r\}, \\ P(C') \leftarrow P(C') - \{r\} \text{ and } S(C') \leftarrow S(C') \cup \{r\}, \text{ where } C' \in IP(C, r). \end{cases} \quad (1)$$

假設巨細胞 C_i 覆蓋在 $C_{i,0}, C_{i,1}, \dots, C_{i,k-1}$ 等 k 個微細胞上。基於方便， $C_{i,j} \in C_i$ 代表微細胞 $C_{i,j}$ 被巨細胞 C_i 所覆蓋，並假設 $D_{\min}^{(h)}$ 與 $D_{\min}^{(l)}$ 分別代表微細胞、巨細胞間個別頻道干擾距離。以圖1舉例說明細胞的結構，每個巨細胞 C_i 被四個微細胞： $C_{i,0}, C_{i,1}, C_{i,2}, C_{i,3}$ 所覆蓋。 $D_{\min}^{(h)}$ 與 $D_{\min}^{(l)}$ 是 $\sqrt{21}R^{(h)}$ 和 $\sqrt{21}R^{(l)}$ ，而 $R^{(h)}$ 和 $R^{(l)}$ 是微細胞與巨細胞的半徑。在 C_{32} 所干擾範圍 $IN(C_{32})$ 包括 $\{C_{18}-C_{20}, C_{24}-C_{27}, C_{30}-C_{34}, C_{37}-C_{40}, C_{44}-C_{46}\}$ 。如果頻道 r 是 C_{32} 的基本頻道， r 就不能是 $IN(C_{32})$ 中細胞所配置的基本頻道。對於微細胞的頻道分配也是相似的。舉例來說， $IN(C_{8,0})$ 內的微細胞 $\{C_{1,0}, C_{1,1}, C_{2,0}, C_{0,3}, C_{1,2}, C_{1,3}, C_{2,2}, C_{7,0}, C_{7,1}, C_{8,1}, C_{9,0}, C_{7,2}, C_{7,3}, C_{8,2}, C_{8,3}, C_{14,0}, C_{14,1}, C_{15,0}\}$ 不能夠擁有 $C_{8,0}$ 的基本頻道 $P(C_{8,0})$ 。

階層式的系統中，頻寬的管理可分成以細胞為基礎的頻道集配置與以通話為基礎的頻道指派兩部份。前者負責將系統的頻道 B 分配一子集合 $P(C)$ 給每一個細胞 C ， $P(C)$ 的指定必

需滿足定義 2 的限制。當一通話到達位於中之一區域的一 MH 時，此區域可由巨細胞 C_i 或微細胞 C_{ij} 由它們的主頻道集 $P(C_i)$ 或 $P(C_{ij})$ 中挑選可用的頻道來提供通話請求，若 $P(C_i)$ 和 $P(C_{ij})$ 都沒有可用的頻道，則這通話請求將會被中斷。以通話為基礎的頻道指派即是負則由 $P(C_i)$ 和 $P(C_{ij})$ 中挑選可用的頻道。在以細胞為基礎的頻道集配置方面，細胞 C 所需承載的通話量 $\lambda(C)$ ，如定義 4 所示，會影響 $P(C)$ 的配置。此外，MH 的移動性，會影響由 $P(C_i)$ 或 $P(C_{ij})$ 中挑選可用的頻道來提供通話請求，一 MH 的移動性如定義 5 所示，可區分成高移動性或低移動。

定義 4：一細胞 C 的通話流量 $\lambda(C)$ 如式子 2 所示，其中 t_a 為 C 中一通話的平均通話時間， n_a 為單位時間中 C 中通話到達率。

$$\lambda(C) = t_a \times n_a \quad (2)$$

定義 5：一 MH mh 的移動性為單位時間內經過的微細胞數目 $M(mh)$ 。當 $M(mh) > th_H$ 時此 mh 為高移動速度，否則為低移動速度。

$$prob(\lambda(C), n) = \frac{\lambda(C)^n}{n!} \left[\sum_{k=0}^n \frac{\lambda(C)^{-1}}{k!} \right]^{-1} \quad (3)$$

，其中 $n = |P(C)|$

在無線通訊系統中，Erlang B (如式子 3 所示) 常被用來評估一個系統的容量。在我們的研究中，我們利用 Erlang B 來評估一個細胞 C ，增加一個或減少一個頻道，對通話阻礙率可能產生的影響。

如定義 3 所示，當一細胞 C 增加一個頻道 r 時，鄰近的細胞 $IP(C, r)$ ，就不能繼續擁有頻道 r ，這整個對系統容量的影響，如式子 4 所示，其中 $incr(C, r)$ 為細胞 C 獲得一個頻道 r ，而增加的系統容量，相對的 $decr(C, r)$ 為 $IP(C, r)$ 中細胞減少 r ，所降低的系統容量。因此這個研究中，細胞 C 可以獲得鄰近細胞的頻道 r 的必要條件是 $(incr(C, r) - decr(C, r))$ 要大於 0。

$$\begin{aligned} incr(C, r) &= (prob(\lambda(C), n) - prob(\lambda(C), n+1)) \cdot \lambda(C) \\ decr(C, r) &= \sum_{C' \in IP(C, r)} (prob(\lambda(C'), n-1) - prob(\lambda(C'), n)) \cdot \lambda(C') \end{aligned} \quad (4)$$

3. 策略

我們的策略分成二個部份：細胞間的基本容錯頻道集分配以及通話頻道的指派。細胞間的基本容錯頻道集分配主要是具有容忍基地台因為故障無法提供通訊服務，且同時維持系統頻道的有效利用。當有 BS 發生故障時，系統會自動偵測到，並且將其頻道分享給週遭細胞，增加鄰近細胞以及負載量較高的細胞分配較多的頻道，以達到負載平衡。通話頻道的指派，目的在不影響通話阻礙率的情況下減少換手的機率，以減輕系統的負擔。

3.1 細胞間的基本容錯頻道集分配

如圖 2 所示，細胞 C 會偵測本身的負載量 $\lambda(C)$ 變高時，設定 $S(C)$ 為其它非目前可使用的頻道 $P(C)$ ，接著判斷是否可以由 $S(C)$ 中獲得頻道。針對 $S(C)$ 的頻道 r ， C 會先去收集，目前擁有頻道 r 的細胞 C' 的主頻道配置 $P(C')$ 和目前的流量 $\lambda(C')$ ，利用這些資訊來計算 $(incr(C, r) - decr(C, r))$ 是否大於 0，若大於 0， C 就可以獲得頻道 r ，原來擁有頻道 r 的細胞 C' ，就必須放棄頻道 r 。若整個 $S(C)$ 都沒有滿足條件的時候，就終止。

當細胞 C 想要獲得的頻道 r 的擁有的基地台 C_f 目前有可能屬於故障的狀況，此時 C 會設故障基地台 C_f 的負載量 $\lambda(C_f)$ 為 0，且目前沒有任何主頻道集 (即 $P(C_f) = \emptyset$)，因為 C_f 並不能使用頻道 r 去承載任何負載量。重新分配頻道的方式如圖 2 所示，流程描述如下：

- 步驟 1：當 C 偵測到 $\lambda(C)$ 變高時，就會進行步驟 2。
- 步驟 2：細胞 C 會去收集 C' 中的主頻道集 $P(C')$ 配置和目前流量 $\lambda(C')$ ，其中 $C' \in IN(C)$ 。若 C' 是屬於故障的，則 C 會設定其 $P(C') = \emptyset$ 以及 $\lambda(C') = 0$ 。接著執行步驟 3。
- 步驟 3：若 $S(C)$ 為空集合就執行步驟 3.1，否則就執行步驟 3.2。
- 步驟 3.1：當 $S(C)$ 為 $\emptyset$ 的話，就終止分配，並回到步驟 1。
- 步驟 3.2：由 $S(C)$ 中找尋是否有 $(incr(C, r) - decr(C, r))$ 大於 0 的頻道 r 。假如有的話就執行步驟 4，否則就終止頻道集重新分配，重新回到步驟 1。

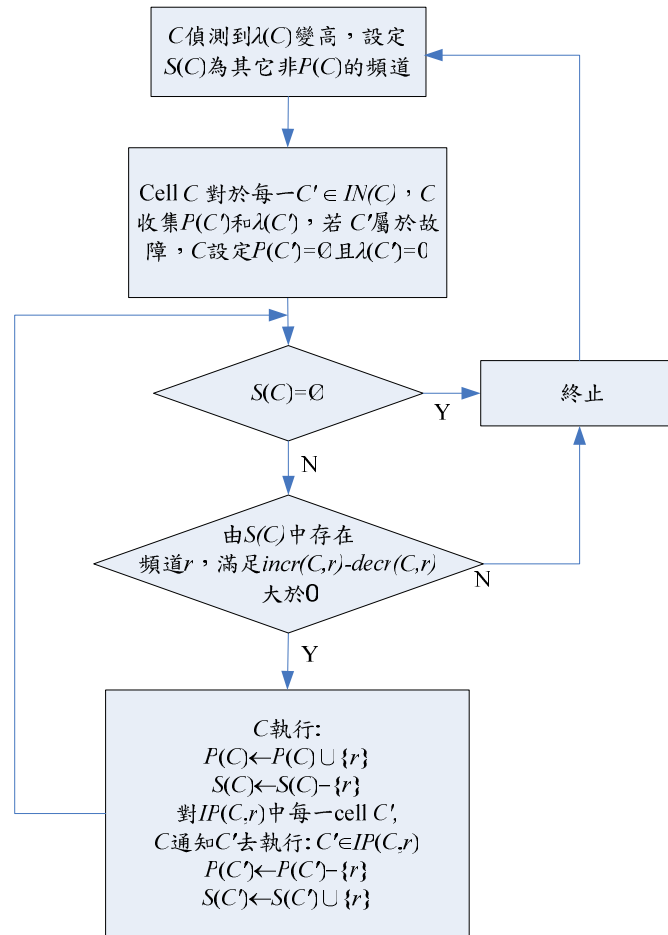


圖 2. 細胞間的基本頻道集分配

步驟 4：C 會獲得道頻 r ，而原來擁有頻道 r 的細胞 $IP(C, r)$ 放棄頻道 r ($P(C') \leftarrow P(C') - \{r\}$)，接著將 r 由 $S(C)$ 中移除 ($S(C) \leftarrow S(C) - \{r\}$)，再回到步驟 3 繼續執行。

以圖 1 舉例來說：當 C_{32} 偵測到負載量變動時，它會去收集 $IN(C_{32}) = \{C_{18}-C_{20}, C_{24}-C_{27}, C_{30}-C_{34}, C_{37}-C_{40}, C_{44}-C_{46}\}$ 細胞中的主頻道集配置以及目前負載量，假如 C_{24} 、 C_{40} 皆擁有頻道 r ，若 $incr(C_{32}, r) = prob(\lambda(C_{32}), |P(C_{32})|+1) - prob(\lambda(C_{32}), |P(C_{32})|) \times \lambda(C_{32})$ 的值大於 $decr(C, r) = (prob(\lambda(C_{24}), |P(C_{24})|-1) - prob(\lambda(C_{24}), |P(C_{24})|) \times \lambda(C_{24}) + (prob(\lambda(C_{32}), |P(C_{32})|-1) - prob(\lambda(C_{32}), |P(C_{32})|) \times \lambda(C_{32}))$ ，則 C_{32} 則可以獲得頻道 r ，而 C_{24} 及 C_{40} 就要放棄頻道 r 。繼續前例，若發生 C_{24} 故障時， C_{32} 會將 C_{24} 的 $\lambda(C_{24})$ 設為 0，則 $decr(C, r)$ 只剩 C_{32} 的部份 $((prob(\lambda(C_{32}), |P(C_{32})|-1) - prob(\lambda(C_{32}), |P(C_{32})|) \times \lambda(C_{32}))$ ，因此 C_{32} 將會更容易得到頻道 r 。

3.2 通話頻道的指派

前面所提到細胞間的基本頻道集分配的方法，將頻道分配較完善，讓高通話流量的細胞擁有較多頻道，降低通話阻礙率，並讓細胞取得新的頻道集。而在通話頻道指派的部份會使用新的頻道集，作為細胞提供頻道的依據。在這裡巨細胞底下的微細胞流量的狀態會決定巨細胞使用的系統，當微細胞的 MH 其移動速度超過 th_H ，就定義成高移動速度，這樣的方法可以降低換手的次數卻不影響通話阻礙率。通話頻道的指派法如圖 3 所示，流程描述如下：

當一通話請求 MH mh 產生在 C_{ij} 中，執行步驟 1。

步驟 1：若此 mh 為高移動速度的行動手機 ($M(mh) > th_H$)，且目前巨細胞可用頻道 ($|A(P(C))|$) 大於 n_p ，則分配一巨細胞 ($P(C_i)$) 可用頻道給 mh 。否則就執行步驟 2。

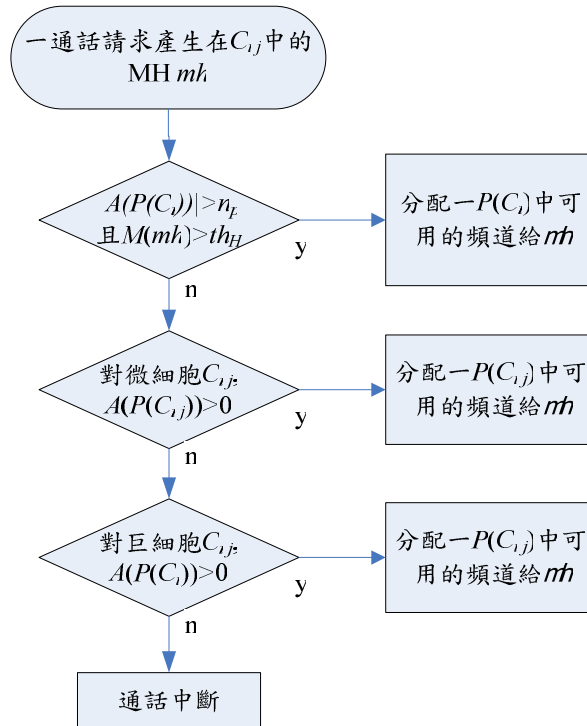


圖 3. 通話頻道的指派

步驟 2：若微細胞目前還有可用頻道 ($|A(P(C_{ij}))| > 0$)，則分配一微細胞 ($P(C_{ij})$) 可用頻道給 mh 。否則就執行步驟 3。

步驟 3：若巨細胞目前還有可用頻道 ($|A(P(C_i))| > 0$)，則分配一巨細胞 ($P(C_i)$) 可用頻道給 mh 。否則就中斷此通話請求。

以圖 1 舉例來說：當一通話產生在 $C_{8,0}$ 時，其可產生通話狀況為：當 C_8 的目前可用的頻道大於 n_p ($|A(P(C_i))| > n_p$) 且移動速度大於 th_H ($M(mh) > th_H$ ，此代表為高速移動通話) 時，則這通通話就產生在 C_8 。假如 C_8 的沒有可用頻道 ($|A(P(C_i))| < n_p$) 或不是高速移動通話時，就由微細胞 $C_{8,0}$ 負責配置，若 $C_{8,0}$ 中有可用頻道 ($|A(P(C_{ij}))| > 0$) 時，則這通通話產生在 $C_{8,0}$ 。反之，若 $C_{8,0}$ 沒有可用頻道 ($|A(P(C_{ij}))| < 0$) 時，則再由 C_8 負責配置。當 C_8 的可用頻道 ($|A(P(C_i))| > 0$) 時，就配置，否則就中斷此通話請求。

4. 模擬數據

模擬蜂巢式系統的架構為如圖 1 所示，模擬的參數如表 1 所示，由 49 個巨細胞覆蓋 196 個微細胞，每個微細胞半徑為 800m，每一個巨細胞

下有四個微細胞。初始條件微細胞系統有 140 個頻道與巨細胞系統有 280 個頻道，其中 $D_{\min}^{(h)}$ 與 $D_{\min}^{(l)}$ 是 $\sqrt{21}R^{(h)}$ 和 $\sqrt{21}R^{(l)}$ 。每一微細胞可以分配到 $140/7=20$ 個頻道。巨細胞分配到 $280/7=40$ 個頻道。

整個系統中，平均一個微細胞擁有 100 個 MH。未通話的 MH，每個 MH 的平均通話到達率每小時 2.20 通依序遞增至每小時 4.95 通，每通通話時間由 Poisson 來產生，平均為 3 分鐘，高速移動的比率佔全部的 30%，低速移動的佔 70%。而快速移動的速度範圍介於 40km-100km 之間，低速移動的速度範圍介於 0km-30km，由隨機函數產生。當 MH 從細胞 C 準備移動到鄰近細胞時，若鄰近細胞有熱門細胞時，移動到熱門細胞的機率約為 50%，若沒有時，其機率皆相同，我們在 196 個微細胞中選出 5 個細胞為熱門細胞。而 BS 的故障率，我們分別以 3% 和 5% 來做比較，其故障的細胞以亂數產生。

在模擬上我們比較速度感應型 (Speed-Sensitive) 與我們的策略包含沒有細胞間的基本頻道集分配 (ours-without reallocation) 以及有細胞間的基本頻道集分配 (ours-with reallocation)。圖 4-圖 10 顯示模擬結果，其橫座標表示微細胞的平均通話到達率，縱座標表示通話的阻礙率或換手的通話阻礙率。

表 1. 模擬參數

參數	數值
階層系統	7x7 的巨細胞 每個巨細胞覆蓋 4 個微細胞
系統頻道	微細胞系統 140 個頻道 巨細胞系統 280 個頻道
干擾範圍	$D_{\min}^{(h)} = \sqrt{21}R^{(h)}$ $D_{\min}^{(l)} = \sqrt{21}R^{(l)}$ ($R^{(h)}=800m$)
平均每個微細胞的 MH 數	100MH
MH 移動性	30%為高移動速度(40km-100km) 70%為低移動速度(0km-30km)
平均通話時間	3 分鐘
通話到達率	每小時 2.20-4.95 通
熱細胞	5 個
故障率	3%、5%

4.1 通話頻道的指派

圖4顯示，在基地台正常的狀況下速度感應型的通話阻礙率，隨著平均通話到達率的增加，由原本的1.22%提升到8.36%。而我們的方法原本就比速度感應型好(0.09%-7.30%)，原因是策略中也考慮到目前巨細胞的閒置頻道數，避免巨細胞頻道被大量的快速換手MH使用殆盡，而底層的微細胞系統，沒有頻道時，無法溢流到巨細胞，因此這個方式，會減少換手的次數，卻不影響到整個系統的容量。再加上細胞間的基本頻道集分配，其差異就更為顯著(0.03%-4.82%)，原因是因為頻道集配置有考量到BS的負載量，讓負載量高的BS得到較多頻寬機率比負載量低的BS來得高。

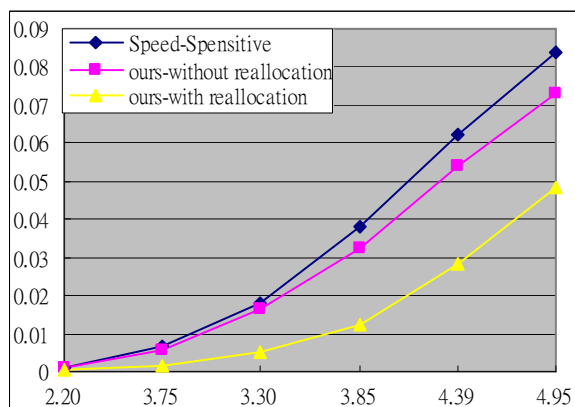


圖 4.指派與沒有指派的通話阻礙率比較

圖5顯示，當BS故障率為3%時，速度感應型的通話阻礙率由3.47%持續飆高至11.41%，而我們的策略考慮到負載平衡，讓負載流量高的區域可得到較多的頻道，因此可增加系統容量減低通話阻礙率至7.30%。

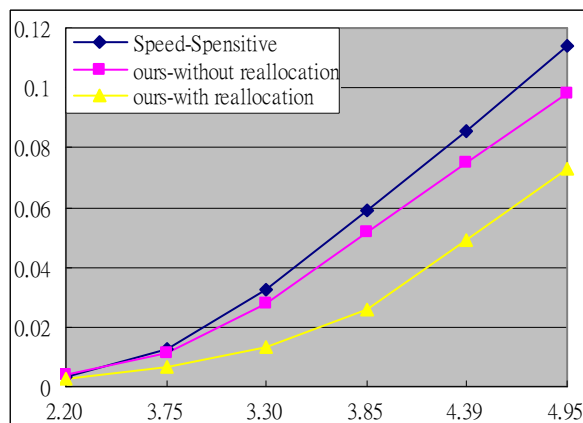


圖 5.沒有容錯機制下，故障率為 3%時的通話阻礙率

4.2 容錯頻道集分配

圖6顯示，當BS發生3%故障時，在沒有容錯機制的速度感應型下，其通話阻礙率由3.47%飆升至11.41%，而我們的通話阻礙率為1.89%-6.43%。圖7顯示，其BS故障率為5%時，其差異更為顯著(由11.86%下降至6.37%)。這是因為，我們策略考慮到容錯頻道集的分配，系統會自動偵測到發生故障的BS，在不影響干擾的情況下，將其頻道分享給週遭細胞，增加鄰近細胞以及負載量較高的細胞分配較多的頻道，充分利用資源，來減低通話阻礙率。

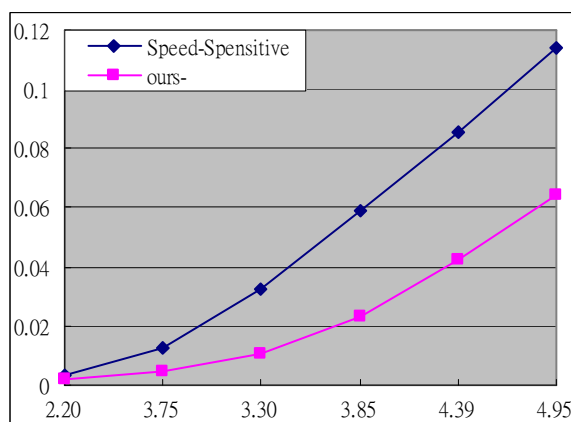


圖 6.有容錯機制下，故障率為 3%時的通話阻礙率

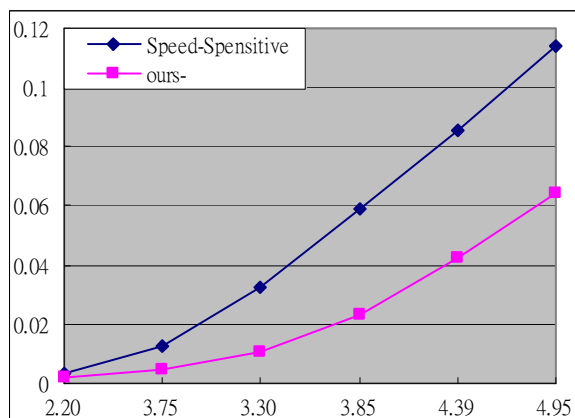


圖 7.有容錯機制下，故障率為 5%時的通話阻礙率

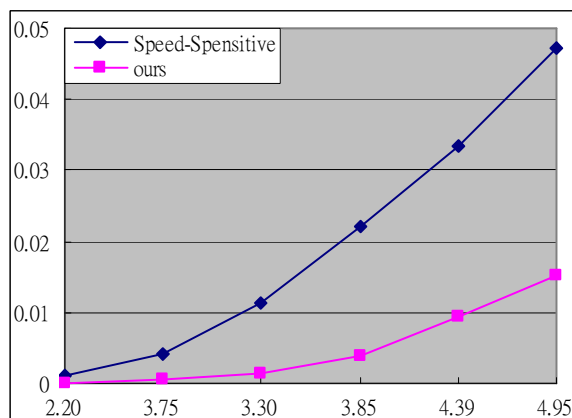


圖 9.有容錯機制下，故障率為 3%時 handoff 通話阻礙率

圖8-圖10顯示，比較速度感應型與我們的策略 (ours-without reallocation、ours-with reallocation) handoff的通話阻礙率，由圖8可以顯示，速度感應型的handoff的通話阻礙率為0.42%-3.37%，而我們的方法除了考慮溢流與回流策略方法之外，尚考慮到目前巨細胞的閒置頻道數，避免巨細胞頻道被大量的快速換手MH使用殆盡，而底層的微細胞系統，無法溢流到巨細胞，我們的方法不僅僅減少換手的次數，也不會影響到整個系統的容量。由圖9-10可以顯示，即時BS產生故障，其換手的通話阻礙率，也不會飆升。

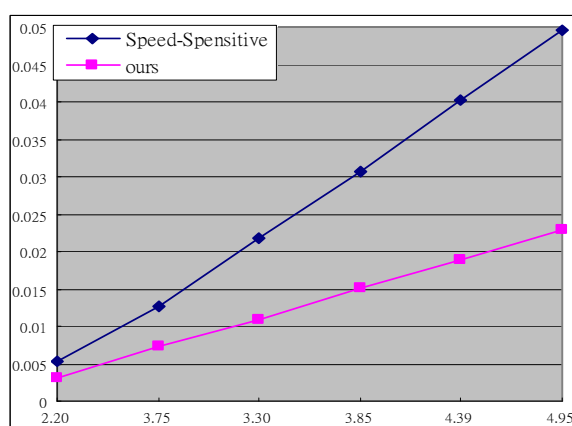


圖 10.有容錯機制下，故障率為 5%時 handoff 通話阻礙率

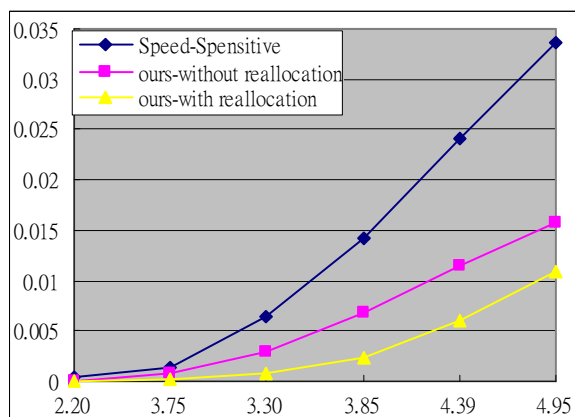


圖 8. handoff 通話阻礙率

5. 結論

這篇論文中我們提出一個有效的容錯式負載平衡與換手管理策略，用來增加系統的容量和降低系統的額外負擔。首先，我們策略考慮到負載平衡讓負載流量高的區域可得到較多的頻道，因此可增加系統容量減低通話阻礙率，而當BS產生故障時，也能使用此機制，將其資源分享給鄰近的BS，再次降低通話阻礙率。再者我們策略考慮到使用者的移動速度讓移動速度快的使用者可以分配到巨細胞使用頻道，降低換手的機率，因此大量減低系統的負擔。未來在這個策略中我們將考慮更多的因子，例如：即時與非即時的通訊服務、多媒體資料的傳送。以迎合未來的通訊環境。

參考文獻

- [1] J. Abril, F. Comellas, A. Cortes, J. Ozon, and M. Vaquer, "A multiagent system for frequency assignment in cellular radio networks," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 49, No. 5, pp. 1558-1565, 2000
- [2] G. Cao, "Integrating distributed channel allocation and adaptive handoff management for QoS-Sensitive cellular networks," *ACM/Kluwer Wireless Networks (WINET)*, Vol. 9, pp. 132-142, March 2003.
- [3] J. S. Chen and C. R. Dow, "Fixed channel allocation scheme performance enhancement for cellular systems," *IEE Proceedings on Communications*, Vol.49, No. 4, pp.232-236, August 2002.
- [4] S. P. Chung and J. C. Lee, "Performance analysis and overflowed traffic characterization in multiservice hierarchical wireless networks," *IEEE transactions on wireless Communications*, Vol. 4, No. 3, MAY 2005
- [5] C. Dazhong, X. Jing, and W. Peng, "Research on improvement in the handoff performance for high-speed mobile service," *IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*, pp.1157-1160, May 2005.
- [6] N. D. Tripathi, J. H. Reed, and H. F. Vanlandingham, "Handoff in cellular systems," *IEEE personal Communications*, December 1998.
- [7] L. Huang, S. Kumar, and C.-C.J Kuo, "Adaptive resource allocation for multimedia QoS management in wireless networks," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol.53, pp. 547-558, Mar 2004
- [8] A. Iera, A. Molinaro, and S. Marano, "Handoff management with mobility estimation in hierarchical systems," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 51, PP. 915-934, September 2002.
- [9] I. Katzela, and M. Naghshineh, "Channel assignment schemes for cellular mobile telecommunication systems: a comprehensive survey," *IEEE personal Communications*, vol. 3, pp. 10-31, 1996
- [10] W. Shan, P. Fan, S. Member, and Y. Pan, "Performance evaluation of a hierarchical cellular system with mobile velocity-based bidirectional call-overflow scheme," *IEEE transactions on parallel and distributed systems*, vol. 14, NO. 1, January 2003.
- [11] F. M. Zhao, L. G. Jiang and H. Y. Bing "Performance analysis of channel borrowing on hierarchical wireless networks," *IEEE Conf. on IWVDVT2005*, pp. 256 – 259, May 2005
- [12] Y. Zhang and B. H. Soong, "Take-back schemes in hierarchical cellular system," *IEEE Globecom 2005*, Vol. 1, pp. 5, Dec. 2005