1. 簡介

首先，在 1.1 章節中我們先介紹一些重要內容，諸如:第三代行動通訊系統(third-generation mobile communication system)、資料的特性(traffic characteristics)、無線介面技術(wireless air interface technology)、通訊管道的特性(channel characteristics)、下傳資料演算法問題(forward-link scheduling issues)以及允入控制(admission control)。在 1.2 章節中闡述本論文的主要目標，而在 1.3 章節中將說明早期有關允入控制的研究內容，並在 1.4 章節中做出摘要以及論文文章架構。

1.1 背景

第三代行動通訊系統被期望提供各式各樣的服務，從低傳輸率服務，例如網頁傳輸，到高傳輸率服務，如商業傳輸、FTP 和其它網際網路傳輸等。不論聲音(voice)或資料服務(data)，這些研究在過去十年期間不斷的被討論。尤其在現今網際網路和點對點通訊(peer-to-peer communications)普遍的影響下，資料應用特別是非常重要。

資料應用比傳統聲音應用在資料特性和服務品質(QoS)的要求上有根本的不同，像論文[1]中提到傳統聲音應用方面會採用傳統的 circuit-switched 技術。由於資料服務傳輸量一般是不對稱，而且較能容忍延遲時間，為了達到這樣的要

求，在無線網路中，有效率的達到存取和傳輸是必要的。隨著分碼多重存取（CDMA）技術誕生，我們可以使用 spectrum technique 方法，而不像早期傳統且較嚴謹的 frequency 或 time domain boundaries 技術(或兩者兼用)，我們知道 CDMA 系統最大的問題是干擾(interference-limited)，因此我們利用 radio interface technology 來解決多樣化的無線系統，如：interference、multipath delay spread 的影響，另外此技術也使得在 frequency selective fading 的環境中有更好的訊號覆蓋(radio coverage)［1］［7］。

在此要討論一些行動網路上常常會被指出的問題，首先是無線行動通道(wireless mobile channel)是隨時間而改變的(time-varying)。其改變的原因主要是因傳送端和接收端之間的移動性造成，而導致 fast fading、slow fading、shadowing 以及 multi-path 影響，另外隨著使用者位置以及時間改變下，其也會造成 multi-path 的影響［15］。往常我們經常使用 physical layer 或是空間(space)、時間(time)、頻譜(frequency)上的變化性(diversity)和通道編碼(channel coding)這三種技術來改進接受的信號品質(received signal quality)或鍊結效能(link performance)［16］；然而在 CDMA 系統中，我們一般採用電源控制(power control)此傳統技術來改進因 slow fading、shadowing channel 和 large-scale distance 而造成的 link quality 差的現象。然而最近興起並探討如何利用物理層(physical layer)、鍊結層(link layer)以及網路層(network layer)的技術來有效利用通道特性(channel characteristics)。

在這個技術下，傳送端可利用知道通道的特性而採用更好的通道來傳送更高的速率予使用者，例如我們可以針對不同使用者使用不同的調變方式和編碼選擇來服務［12］。有效的了解通道特性可以使我們在使用者之間合理的配置無線資源（radio resource），此無線資源泛指時間槽(time-slot)、頻寬(bandwidth)或傳輸電源(transmission power)［12］。其中採用此 channel-aware 技術來排程的演算法中較著名的例子即為建立在 CDMA 1xEVDO 系統中的 Proportional Fair algorithm [1] [6] [21]，此方式是充分駕馭並採用通道的特性而改進整體效能的表現。另一個例子則為 Qualcomm High Data Rate(HDR) 方案［1］，其根據 IS-856 無線資料標準而設定的［13］，此排程演算法是在下傳環境(downlink)中利用 multiuser diversity 的好處而公平的將資料傳輸予使用者，在此系統中，各使用者利用 common pilot 由基地臺傳回的值來測量自己在 downlink 下的 SNR 值［2］［3］。

此外，也有在無線多重存取技術上而作的改變，像是將傳送資料信號波形在時間上作分割的方式(TDM)，來取代以往的 CDM 方式，如此使用者將可接受到更高的 SNR。在 downlink 環境下的 TDM 系統中,傳送端（AP）在一個 time slot 的時間內根據接收端的通道特性品質來傳達資料給接收端(AT)。再者，我們也能利用速率控制(Rate control)方式，對於傳送端而言有可調變的機制（adapt modulation schemes）、資料編碼(data encoding)以及 radio link 的信號波形的資訊（information rate of waveforms），使得接受端能成功的接到資料。

分碼多重存取(CDMA) 是目前業界相當接受的一種無線通信標準，以及目前行動通訊系統對高速多媒體服務的需求不斷的增加，像 HDR，目前許多研究焦點大都放在 downlink 環境下，其主要理由如下二點：第一，它被期望應用在大量資料上，像下載網頁或多媒體導覽等，此一應用在 downlink 情況下會比 uplink 下的情況負載高［12］；第二，資源配置在 uplink 以及 downlink 上有許多不同的問題存在，像在 downlink 中，只有單一基地臺，其通訊傳播時的協調和干擾問題就不如 uplink 環境中多且重要［12］。

無線資料量（data traffics）是極不對稱的，以資料傳輸而言，其瓶頸(bottleneck)通常出現在下傳(forward link)情況而非上傳(reverse link)［1］。因此，在下傳情境下，如何以合理的方式將資源排程給不同的使用者，以便無線通道能有效率的被運用？下傳中主要可控制的可變因子為資料速率(data rate)、 傳輸電源(transmission power)和傳輸排程(scheduling of transmission)。這些方式在在早期的研究裡就常以不同的排程法來作為取得 cell capacity 和使用者的公平性問題上的平衡，此類排程方式像 rate control、power control 以及 opportunistic scheduling 又或者他們之間的不同組合方式。只要有考慮到 QoS 方面，則這些方法是不可避免的要被限制只能接受一定數量的資料量(traffic)。當系統超載時，其寧可阻攔新服務請求，以換取將持續一斷時間低效能的的服務表現。為避免系統

超載，尤其在 time-varying channel 環境裡，一個高效率的允入控制策略是必要的。藉由有效的允入控制策略的使用，我們能保證達到某些 QoS 的要求。對聲音（voice）需求服務中，當系統超載時，我們通常處理方式是阻攔新服務請求；而對資料(data)需求服務時，我們通常用更高效率的技術，像資源配置(resource management）方式，以便能配置愈多的服務請求或因無線電光譜限制下的頻寬服務。此種資源配置有可能是配置給使用者時間、頻寬或傳輸電源。總之，我們主要是研究CDMA 系統中以TDM 傳輸技術，在被指定的QoS 限制下的允入控制策略。

在第［16］篇中的文獻中，考慮了channel-aware scheduling 演算法，並指出以使用者觀點的效能性問題(user-level performance)和在系統中線上使用者個數(the number of active users)之間的關係，其演算法主要是對每一使用者分配某一權重值 $W_i = 1/C_i$，其中i表示使用者且 C_i 表示平均傳輸速率(time-average rate)，在系統內有n個使用者的情況下，每一個使用者持續著以平均傳輸速率的G(n)/n值接受資料傳輸，此G(n)指的是multiuser diversity gain，在沒有允入控制的下傳資料服務情況下，大部分的使用者都被定位在傳送端(AP)的外圍上，且使用者的 C_i 會因為不佳的訊號值(SINR)而速率下降，這樣的情況將會導致，平均服務速率($C_i * G(n)/n$) 非常低落，而且也會導致非常大量的線上使用者n的服務延遲時間變長。

允入控制的自然基本條件，也就是我們所說得number-based admission control [20]，其假設系統中同時最多只能有m個使用者，而此處的m必須符合此表達式：$m \leqq C_R*G(n)/C_{min}$ ，C_R為cell boundary的平均傳輸速率，C_{min}為保證的最小傳輸速率，另外還有一種允入控制是rate-based admission control [20]，此允入控制保證所有允入使用者的最小傳輸速率$C_i*G(n)/n \geqq C_{min}$。

1.2 目標

在此論文中，我們研究使用者訊號變動現象與無線下行資料傳輸服務的關聯。我們採用下行時變特徵(time-varying characteristic)的特性來實作系統使其效能最佳化，並考慮使用者的封包延遲時間與無線資料傳輸服務的線上使用者個數兩種因素間的互動關聯，我們期望將基地臺的效能最佳化，此效能在本論文中指的是 efficient services rate，在文獻 [17] 中，也提到此議題，指出了在最大功率是受限的情況下，power control 也許在實務上是不可能的，而且內部干擾(self-interference)也限制了 total deliverable rate 的傳送，另外此論文也說明在使用 dynamic programming algorithm 評估出的最佳配置 bit-rate 的前提下，可以在一樣的功率限制下，達到更高的 bit-rate。然而，他們都著重在提高系統效能，而未考慮在佇列中排隊的使用者所產生的延遲時間因素。

在系統超載時，the number-based scheme 能夠成就較佳的 blocking probability，但卻可能因為使用更保守的計數原則(number criterion)而導致系統效能低落；在系統中，the rate-based scheme 能夠保證使用者有最小的傳輸速率，但卻可能導致使用者無法以最佳的 SINR 進行傳輸。

特別來說，我們使用 Exponential Rule [19] 的精神，考慮了兩個因子：延遲時間(delay)與系統有效服務率(effective service rate)，此外，我們也使用 proportional fair scheme [6] 作為模擬環境中的服務排程策略。我們的允入控制條件是根據使用者的訊號變動做出回應，此設計方式不只可以最大化系統的服務量(the number of served requests)，也因為 exponential rule 的精神，可以降低系統的平均延遲率(average latency)。

我們的允入控制主要是以 number-based criteria 作為較軟性的限制(soft constraint)，如果線上使用者數量等於允入使用者數量，系統將試著重新配置使用者到不同的基地臺進行服務 (也就是本論文中提出的 model-I)。我們刻意選擇適當的候選使用者進行重新配置資源，利用移動此使用者到鄰近的基地臺的方式達成，由於此允入的條件是依據使用者的訊號變化，故我們特別將此提出的策略稱之為 SINR-based admission control。我們提出兩種使用者配置方法：

SINR_V-based 與 SINR_O-based，其次，我們也提出了另一種的 SINR-based admission control，也就是 model-II，在這種方法中，我們移除 model-I 中的 soft constraint，直接以使用 exponential rule 為主要精神的允入條件，對使用者允入或拒絕，這個條件包含兩個主要因子：delay 和 monitored service rate。藉由調整 delay(也就是本論文中提出的 target delay)，來觀察出系統中各網路節點的變化情況。

1.3 相關研究

下一代無線網路在資料服務(data service)的傳輸上比起傳統的聲音流量(voice traffic)更能支援令人滿意的服務品質。一般來說，資料流量(data traffic)包含對時間是否延遲有高敏銳度的串流資料（time-sensitive streaming data）所形成的即時影音應用(real-time applications)和對是否遺失有高敏銳度的暴充流量（loss-sensitive bursty data）所形成的非即時應用資料(non-real-time applications)，這些資料流量(data traffic)比起傳統的聲音流量（voice traffic）更具有不同的流量特徵(traffic characteristics)和不一樣的服務品質(QoS)要求。無線通道資源(wireless channel resource)是非常有限的，而且其變動度也相當高，所以在無線網路系統中，利用 power、code space 以及 timeslots 動態配置資源的方式是可以高效率的使用此資源，也能適應因時間變化而隨時不同的通道特徵 [4]。

有二種方式可以分享傳輸通道(transmission channel)，分別是 Code Division Multiplexing（CDM）和 Time Division Multiplexing（TDM）模式，在 CDM 中，使用者利用不同的編碼方式能同時使用通道來傳輸。在文獻［23］中有提出一些方法，能解決在 CDM 模式下，基地臺因同時對多個使用者傳輸而產生的干擾問題；相對於與 CDM 模式，TDM 則是在指定的時間內基地臺只能傳輸給一位使用者，所以，同一基地臺內使用者之間相互產生的干擾問題（intra-cell interference)就不存在了。而且，使用 TDM 波形可消除線上使用者(active users)間的電能分享問題，且由於一次只服務一位使用者，使得我們能以 full power 對使用者來傳輸資料，如此就能更進一步的改善細胞覆蓋率［14］。

在文獻［1］中提到高速資料系統的瓶頸一般是產生在下行傳輸(forward link)而非上行傳輸(reverse link)，然而，還是有一些文獻是致力於改進上行傳輸的容量（capacity）[8]［22］；而對資料應用(data application)方面，大多數資料流量是從基地臺傳到使用者，也就是下行傳輸模式，總之，大部分的流量是在探討下行傳輸方面的影響［17］。

在行動通訊網路中(cellular network)，主要可控制的變異因子有資料速率(data rate)、傳輸電能(transmission power)、線上是使用者數(the number of active users)以及傳輸的排程法則(scheduling of transmissions)，早期

的研究內容中有許多都著重在探討演算法，諸如速率控制(rate control) [7]、電能控制(power control) [11]、允入控制（admission control）[24]，和排程（scheduling)[10]，上述所指的演算法大多都著重在改善或最佳化系統效能，而在文獻 [21]中，指出有時系統寧可阻攔新服務請求，以換取將持續一斷時間低效能現象，如此便能保證所有使用者能有最小的傳輸速率(minimum data rate)。

1.4 論文架構

本論文章節的架構組織如下所述，在下一章，我們將提出系統模型(system model)，而在第 3 章中，描述我們所提出的 SINR-based admission control 策略，在第 4 章 和第 5 章，將分別說明模擬模型(simulation model)和實驗結果(experiment results)，最後，在第 6 章將闡述本論文的一些結果及未來的研究方向。

2. 系統模型

2.1 系統模型

我們考慮的是在 CDMA/TDM 系統中下行傳輸的資料服務。傳送端(AP)會緩衝住封包(packet)並傳送到接收端(ATs)，且傳送資料方式是使用 CDMA 通道，AP 在 1.67 msec 的時間槽(time slot)中只傳給一位使用者，且資料傳輸速率是根據使用者的通道品質狀況來傳送的，也就是我們使用 rate adaptation techniques 來傳送資料給使用者，使用者的傳輸速率(data rate)是根據通道品質狀況而決定的，當使用者在高訊號值(SINR)情況下，他就能得到高的資料傳輸速率(data rate)，反之亦然，像這樣系統例子如：HDR (High Data Rate) cdma2000 1xEV [1]，和 HSDPA (High Speed Downlink Packet Access)。

2.2 訊號傳導模型

我們考慮 QUALCOMM 的 IS-856 模擬下的 path loss model [14]，其如下的形式：

$$L(dB) = 30.0\log_{10}(f_{c,MHz}) + 49.0 + 10.0 \times \alpha \log_{10}(d_{KM}) \qquad (2\text{-}1)$$

其中 $f_{c,MHz}$ 指載波頻率(carrier frequency)，其值如在 CDMA2000 high rate packet data 系統中為 1960 MHz，α 為 path loss 指數，d_{KM} 為傳送端到接收端的距離，以公里來表示。在本論文中以 α＝4 來模擬系統。

在模擬 fading 的環境中主要是考慮 slow fading 以及 fast fading，就 slow fading 而言，我們採用 Gudmundson's correlation model [9]，此 model 屬於 log-normal fading，Gaussian noise 的 variance 平均值為 0 且 standard deviation 為 8 dB，相關的方程式如下：

$$\Omega_{n+1} = \xi\Omega_n + (1-\xi)\nu_n \tag{2-2}$$

其中 Ω 代表 log-normal fading（以 dB 表示），ν_n 表示 Gaussian noise 在 n 的時間點的 variance，其表示方式如：$\frac{\sigma_\Omega^2(1+\xi)}{(1-\xi)}$（其中平均值設為 0)，且 ξ 表示 space-time channel 的 correlation coefficient，其值範圍如：$0 < \xi \leqq 1$，在本論文研究中，我們考慮的 ξ 值是 0.9，而更新方程式(2-2)的時間 T_{fs} 為 200 ms [7]。

隨著每斷時間的更新，從傳送端(j)到接收端(i)的訊號能量遞減方式是結合 path loss 和 slow fading，如下方程式表示：

$$\tau_{ij} = 10^{\frac{-L_{ij}+\Omega_{ij}(n)}{10}} \tag{2-3}$$

在Rayleigh fading模型中，X_1 表示隨機變數，其probability density function （pdf）如下：

$$f_{X_1}(x) = 1 - e^{-\frac{x}{2\sigma^2}} \tag{2-4}$$

其中 $2\sigma^2$ 表示平均接收到的能量(mean received power)。

綜合以上所述的 model，對使用者 i 在基地臺 j 訊號的干擾對噪音的比(SINR)以下列方程式表示：

$$SINR_{ij} = \frac{\tau_{ij} \times p_j \times \omega_{ij}}{\eta + \sum_{k \neq j} (p_k \times \tau_{ik} \times \omega_{ik})} \tag{2-5}$$

其中 $\omega_{ij} = -\ln y$，y 為 0 到 1 的隨機變數，且此方程式(2-5)的更新時間 T_{ff} 為 20 msec，而 p_j 表示基地臺 j 傳送給使用者 i 的功率，相對的 p_k 則表示除了基地臺 j 以外其他的基地臺對使用者 i 所產生的功率，我們將使用方程式(2-5)及查表（4-1）來決定傳輸端到接收端的傳輸速率(data rate)。

2.3 資料模型

我們假設網路拓樸是線性的，且在每一個基地臺，使用者是平均的分佈在基地臺線性上的任何一點，流量模型(traffic model)是屬於 session-based arrival，使用者到達則是以到達率(arrival rate)為λ的 Possion process 來模擬，而λ即可代表系統的覆載流量(traffic load)，另外使用者的 session time 是以平均值為 120 sec 的 exponential distribution 來實作，在每個 session 中，封包的到達是以 Pareto distribution 且大小為 8 Kbits 表示，且封包間的時間間隔(packet inter-arrival time) X 是以下的機率分佈得知：

$$
f_X(x) = \begin{cases} k\dfrac{x_m^k}{x^{k+1}} & \text{for} \quad x \geq x_m \\ \\ 0 & \text{for} \quad x < x_m \end{cases} \qquad (2\text{-}6)
$$

其中 x_m 表示一個正數，為 X 的最小可能值，k 稱之為 Pareto index，為大於 0 的參數值，在我們的模擬中，假設 x_m 值為 0.04 而 k 值為 2.59，根據以上參數，可算出使用者的平均資料大小(mean data size)大約是 1.8 MB（實際值為 1841699.8 bytes)，使用者的平均傳輸速率大約為 123 kbit/sec（實際值為 $122.\overline{779922}$ kbit/sec）。

Session-based traffic model 如 Figure2.1 所表示:

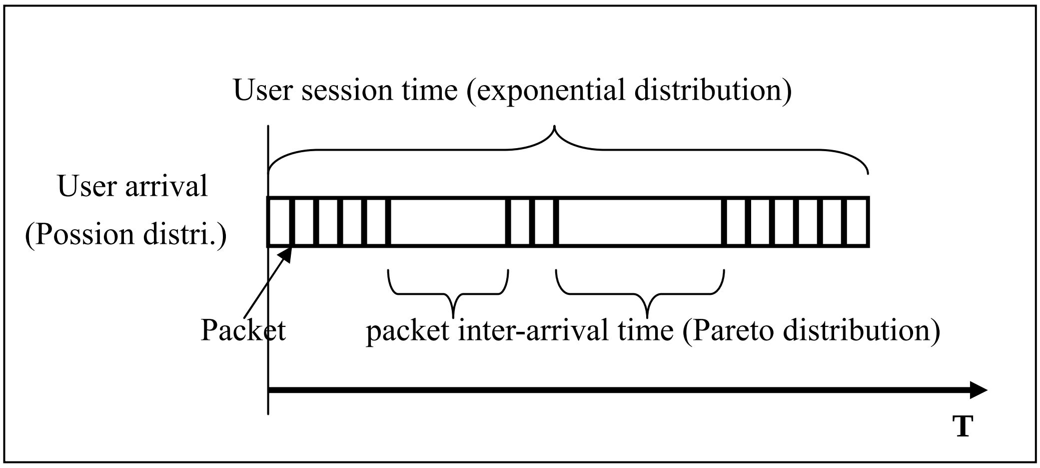

Figure2-1 Session-based traffic model

2.4 封包演算策略

無線通道隨著時間和頻寬而有所改變，不同的使用者會有不同的通道條件(channel conditions)，也就是說有些使用者是有足夠能力能接收到更好的傳輸速率，較為知名例子即是 multiuser diversity 的現象，假設基地臺都知道使用者的通道條件或 SINR，那麼就可利用這兩者資訊來排程服務哪位使用者，以使得使用者能得到更好的傳輸速率，這將會導致系統的整體服務效能變好，但其缺點則是會造成使用者間的不公平現象，也就是訊號差的使用者可能永遠無法接受基地臺的服務。

Proportionally fair scheduling 即是確保使用者不會永遠無法接受基地臺的服務,假設時間是以 1.67 msec 作為分割,故 1.67 msec 為一個時間槽(time slots)單位，且限制每個時間槽僅能服務一位使用者，在每個時間槽的開始 the scheduler 會先傳送 pilot signal 予每位使用者，此時基地臺會接收到每位使用者的使用的傳輸速率，此傳輸速率即是我們所稱的相對 SINR 值，廣為所知的系統即是 CDMA HDR，此一 channel 即是 Data Rate Channel (DRC)，接著排程者(scheduler)會根據如下的法則挑選使用者服務：

$$U = \arg_i \max \frac{DRC_i(t)}{R_i(t)} \tag{2-7}$$

其中 $DRC_i(t)$ 表示使用者 i 在 t 這個時間的傳輸速率(requested data rate)，且 $R_i(t)$ 表示使用者 i 到時間 t 為止的 exponentially smoothed data rate，此外 $R_i(t)$ 的更新如下：

$$R_i(t+1) = (1-\frac{1}{tc}) \times R_i(t) + \frac{1}{tc} \times \text{(current transmission rate of user i)} \tag{2-8}$$

其中 tc 表示 smoothing coefficient，設定為 1000。

在 proportional fair 法則中，可觀察出新服務需求使用者有較高的優先權可被選擇服務，另外假設兩位使用者有相同的優先權，則系統將會隨機的挑選出一位使用者來接受服務。

3. SINR-based 允入控制

我們提出二種架設在線性網路拓樸結構的 SINR-based 允入控制。其中一種我們稱之為 Model-I SINR-based 允入控制，另一種則稱之為 Model-II SINR-based 允入控制。其中 Model-I 基本上是架構在 number-based schemes 環境中，並配合我們所提出的 User-Chosen-Scheduling(UCS)，此 scheduler 的主要意涵是預選出一名最適當的候選人來作 reallocation 。而在 Model-II 中，我們則採用指數法則(Exponential Rule)的精神來作設計的。

3.1 Model-I SINR-based 允入控制

首先，我們假設所有基地臺可容忍固定的使用者數，我們設定為 C(N)，且其值為 10。Model-I 的啟動方式有兩個條件，且必須同時成立，其一是第 11 個 new user 欲進入自己所屬的基地臺時，其二是鄰居基地臺(在我們的架構中特別指左一個或右一個的基地臺)的線上使用者數比 C(N) 小，兩個條件同時成立時才准予啟動此允入控制。由於使用者在環境中可同時接收到不同基地臺的訊號，藉由此改變因素，我們不限定使用者是固定在某一基地臺，藉著移動使用者的方式，我們盡可能的使用提供較佳訊號的基地臺天線來提供服務，以提高效能，再者，也使原本預定被 block 的使用者有機會進入。

在 Model-I 中，我們企圖將挑選一個已接受基地臺允入的使用者配置到鄰近的基地臺，為的是能再容納一個新使用者進入此基地台中，不被拒絕。而我們估測適合配置的使用者(user i)在基地臺 j 其 $SINR_{ij}$ 值由以下程式來作 monitor:

$$SINR_{ij}(t+1) = \frac{19}{20} \times SINR_{ij}(t) + \frac{1}{20} \times \text{(instant SINR of user i)} \qquad (3\text{-}1)$$

其中允入控制的挑選過程即是我們所提出的 UCS 法則，UCS 運用到二種方法作為配置使用者所屬的服務基地臺：Over_Average Method 以及 Variation Method。在此我們假設 Q_j 是目前基地臺 j 已接受的使用者數，而 CMS 為布林值。

當一名新使用者到達基地臺 1 號時（在此設 1 號表示使用者自己所屬的基地臺），根據 Model-I SINR-based admission control 的啟動條件：

① 基地臺 1 號線上使用者數（即是 Q_1 ）剛好等於 C(N)值

② 鄰居的基地臺 $Q_{neighbor}$ 值小於 C(N)值

此時允入控制啟動（系統同時 run UCS）：若 CMS 值為 1，則允入此新使用者；若 CMS 值為 0，則拒絕新使用者允入。

以下是 UCS 的虛擬程式碼:

```
Over_Average Method (called SINR_O-based)
{
  Initial CMS = 0;                          //CMS 初值為 0//
 j belongs to the right cell or the left cell ; // j 屬於基地臺 1 號左右鄰居基地臺//
  if  (C(N) − Q_j) > 0, then      //若左右鄰居尚有可配置的使用者空間時//
 {
  k = arg_j max(C(N) − Q_j);   //挑選可容納的最大使用者數的左或右鄰居//
     // choose right or left cell , which can still admit one more user//
  For all user i in cell 1         //針對基地臺 1 號的所有使用者作以下搜尋//
   {
   m = arg_{i∈N_1} max(SINR_{i,k} − (1/|N_K|) Σ_{j∈N_k} SINR_{j,k})    ;
   // all user j belong to cell k (called a set of N_k), and the number of N_k is N //
   //尋找在基地臺 1 號的所有使用者對鄰居 k 的訊號值，並挑選出其值比
   基地臺 k 中的所有使用者的平均值大或等於的最大值使用者  m //
   }
   If user m exists then
  {
      Move user m to cell k ;  //  將挑選到的使用者 m 配置到基地臺 k //
```

$$m = \arg_{i \in N_1} \max(SINR_{i,k} - \frac{1}{|N_K|} \sum_{j \in N_k} SINR_{j,k})$$

```
        Set CMS = 1 ;               // 將 CMS 值設定為 1 //

    }

    Else    Set CMS = 0;

  }
```

Figure 3.1 Model-I SINR-based Admission Control : Over_Average Method

Variation Method (called SINR_V-based)

{

Initial CMS = 0 ; //CMS 初值為 0//

j belongs to the right cell or the left cell ; // j 屬於基地臺 1 號左右鄰居基地臺//

if $(C(N)-Q_j) > 0$, then //若左右鄰居尚有可配置的使用者空間時//

{

$k = \arg_j \max(C(N)-Q_j)$; //挑選可容納的最大使用者數的左或右鄰居//

// choose right or left cell, which can still admit one more user.//

For all user i in cell 1

{ m = $\arg_i \max$ ($SINR_{i,k}$- $SINR_{i,1}$) } ; // i : user , 1: i user in cell 1 //

```
// 偵測基地臺 1 號中所有使用者其對基地臺 k 的訊號值比對其本身
   基地臺訊號值的「差」最多的使用者//
 If user m exists then
 {
     Move user m to cell k ;   // 將挑選到的使用者 m 配置到基地臺 k //
     Set CMS = 1 ;             // 將 CMS 值設定為 1  //
 }
 Else    Set CMS = 0;
}
```

Figure 3.2 Model-I SINR-based Admission Control : Variation Method

以下是 Model-I SINR-based Admission Control 的流程圖：

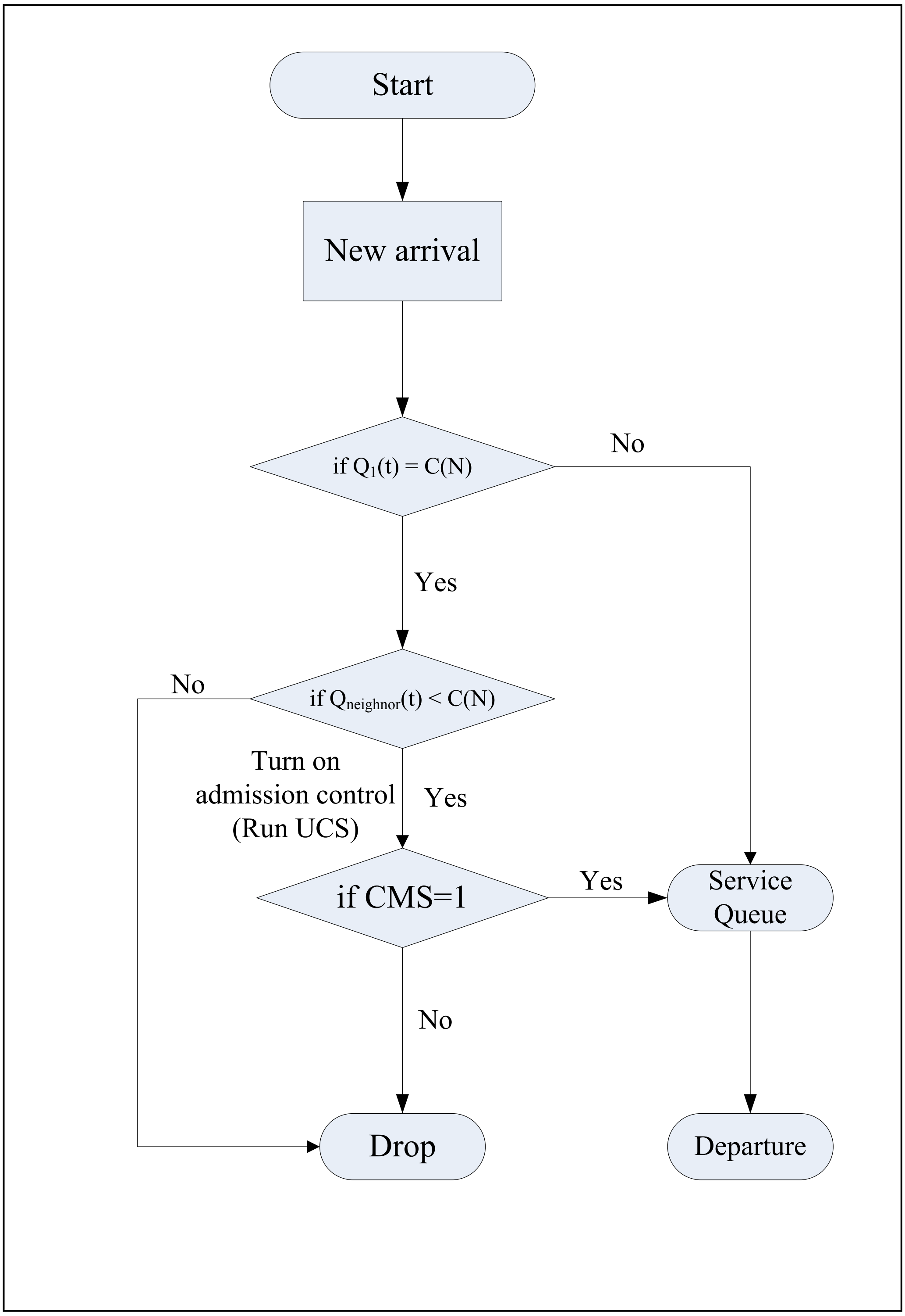

Figure 3.3 the flow chart of Model-I SINR-based admission control

3.2 Model-II SINR-based 允入控制

為更進一步研究資料網路(data network)上的變化因子。我們將使用者的封包延遲時間(packet delay)和系統有效服務率(average service rate)作為允入控制條件。所以，我們提出結合 Exponential Rule 技術的 Model-II SINR-based Admission Control。假設 β 是基地臺可容忍使用者數的值，且 $\overline{d}$ 是我們預設基地臺能容忍的 packet delay，我們稱之目標延遲時間(target delay)。當新使用者到達基地臺時，我們允入新使用者進入的 data rate 如下:

$$\text{Data rate } (SINR_{i,j}) > \frac{e^{[\frac{\overline{d_j}}{\overline{d}}-1]^+}}{\beta} \times \overline{r_j} \qquad (3\text{-}2)$$

此允入控制是針對各自的基地臺所作的控制，其中 $SINR_{i,j}$ 代表使用者 i 在基地臺 j 的訊號值，且其 monitor 方式如 equation 3.1，而 $\overline{r_j}$ 代表基地臺 j 的有效服務率(effective service rate)，其初值為 0，並根據下列方程式作更新的動作：

$$\overline{r_j}(t+1) = \frac{99}{100} \times \overline{r_j}(t) + \frac{1}{100} \times (\text{current effective service rate in cell j}) \qquad (3\text{-}3)$$

而 $\overline{d_j}$ 代表基地臺 j 內所有使用者的平均封包延遲時間(average packet delay)，並根據下列方程式作更新的動作：

$$\overline{d_j}(t+1) = \frac{9}{10} \times \overline{d_j}(t) + \frac{1}{10} \times (\text{current average packet delay of users in cell j}) \; (3\text{-}4)$$

由於指數函數是一個遞增函數。因此，當$\overline{d_j}$愈來愈大時，則$e^{[\frac{\overline{d_j}}{\overline{d}}-1]^+}$會遽然驟增。它意味著當系統被超載時，即 delay 增加時，我們想要允入更適當的使用者進入基地臺接受服務，也就是說我們想要允入訊號最佳的使用者進入基地臺服務，以便減少系統超載情況，降低 average packet delay (ie: $\overline{d_j}$)。如此這般做下去當$\overline{d_j}$值下降時，則能讓更多使用者允入，而當更多使用者允入後$\overline{d_j}$值將會在重新調整，允入控制將會再依據目前系統狀況重新處理。如此重覆下去，則系統效能(effective service rate)將逐漸改善。

以下則是我們定義 Model-II SINR-based Admission Control 的一些名詞：

<u>Packet delay</u>(封包延遲時間)：封包到使用者佇列中到服務完成的時間間隔。

<u>Average packet delay</u>(平均封包延時間)：將所有封包延遲率相加除以封包個數。(即是：$\dfrac{\sum(packet\quad delay)}{\sum packet}$)。

<u>Effective service rate</u>(有效的服務率)：使用者的data rate除以有被scheduled到的time slots數。

<u>Busy time ratio</u> (基地臺忙碌時間比)：有服務使用者的slots數比上全部的slots數之比例。

4.模擬

4.1 模擬模型

我們考慮含有 7 個基地臺線性網路拓樸結構，如 Figure4-1，且鄰近的基地臺彼此在一個固定的 2R 距離上，其中基地臺 1 號 和基地臺 7 號是互為鄰居關係。

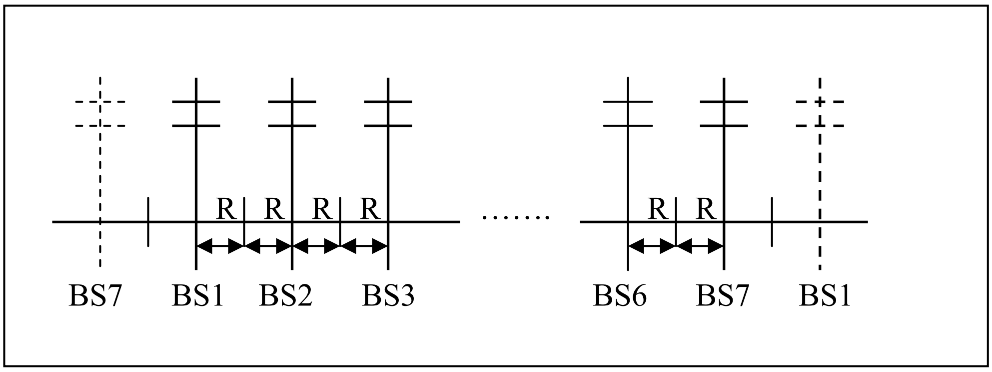

Figure 4-1 The linear network topology

系統頻寬是 1.2288 兆赫(MHz)，且 time slot 的大小是 1.67ms。基地臺之間的距離是 1000 m。基地臺彼此間的干擾以及背景噪音干擾（設定為 170 dBm）皆考慮進去。Path loss 和 fading 的模型規格在章節 2 裡有提及到。而封包演算策略(packet scheduling strategy)採用 proportional fair，其 window size 設定為 1000 個 slots［6］，在章節 2.4 中有提及。

此系統並未考慮使用者移動性問題。首先，我們考慮連續的可行的資料速率(continuous feasible data rate)，其計算方式如等式(2-5)且表格如 4-1 所列舉[14]，而若計算出使用者的 data rate 介於表中所表示的 Rate 之間時，以線性插值法(linear interpolation method)計算得知。此外若使用者的 data rate 在二個例外情況之外時，作以下處理：

① 當使用者的 SINR 大於 9.5dB，則 data rate 限制在 2457.6 Kbps

② 當使用者的 SINR 小於 -12.5dB，則 data rate 為 0。(若使用者的 SINR 持續 10 秒內都屬於訊號不佳狀態，則將此使用者 block。)

class	SNR (dB)	E_b/N_0	Rate (kb/s)
1	9.5	6.49	2457.6
2	7.2	5.44	1843.2
3	3.0	3.00	1228.8
4	1.3	2.55	921.6
5	-1.0	2.01	614.4
6	-4.0	2.02	307.2
7	-5.7	2.08	204.8
8	-6.5	2.53	153.6
9	-8.5	2.28	102.6
10	-9.5	2.54	76.8
11	-12.5	2.55	38.4

Table 4-1 User feasible data rate and the corresponding minimum SINR value and modulation E_b/N_0

Parameter	Value
Bandwidth	1.2288MHz
Cell to cell distance	1000m
Num of BS	7
Background noise	-170dBm
Slot size	1.67ms
Power watt	10 Watt
Shadow fading standard deviation	8dB
Correlation coefficient of the space-time channels ξ	0.9
Shadow fading update duration T_{fs}	200ms
Fast fading update duration T_{ff}	20ms
Path loss exponent α	4
Proportional fair window size	1000 slot
Pareto distribution parameter x_m	0.04
Pareto distribution parameter k	2.59
Session-based arrival average data size	About 1.8MB
Session-based arrival average session time	120sec
Session-based arrival mean data rate	About 123 kbit/sec
Number-based admission control value C(N)	10

Table 4-2 The primary parameters in this simulation

4.2 模擬場景

為了瞭解 SINR-based Admission Control，我們考慮 traffic 是均勻分佈（uniformly distribution）在線性網路拓樸上，也就是說均勻分佈在[- R, R]的線性圖上。

5. 實驗結果以及討論

5.1 Model-I SINR-based 允入控制

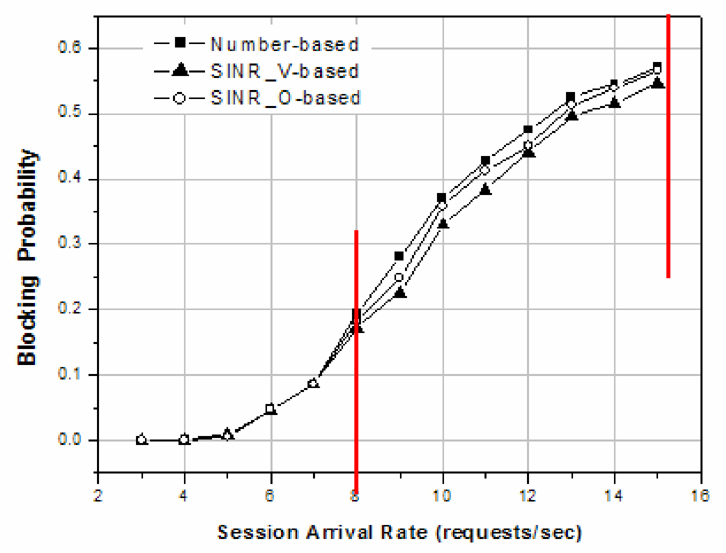

Figure 5.1 blocking probability for Number-based (N=10), SINR-V-based, and SINR-O-based admission control for arrival 3 to 15

在 Figure5.1 中，我們可以發現在 arrival rate 8 到 15 這區間， SINR-V 或 SINR-O 的允入控制方式的 blocking probability 值明顯的比 Number-based 允入控制低，這是因為當系統負荷愈來愈重，而使用者人數增多時，我們能從眾多使用者中選到訊號佳的機會變大，所以 SINR-based 在 blocking probability 值上優於 Number-based 的方式。

另外，我們也可觀察到 blocking probability 在 arrival rate 8 到 15 區間時，SINR-V 優於 SINR-O，由此可知 SINR-V 是更有效的掌握到訊號佳的使用者使其配置到鄰居基地臺服務，可預測出其 effective service rate 應該也是比較高的。

在 arrival 低的狀況下，我們發現 blocking probability 在低負載時，各種允入控制是相差不多的。

SINR-based 不如預期中 Number-based 允入控制佳，這是因為在低負載時，我們並未有更大的機會挑到訊號佳的使用者，因此 SINR-based 允入控制未發生效果，導致 blocking probability 不如預期中的好。

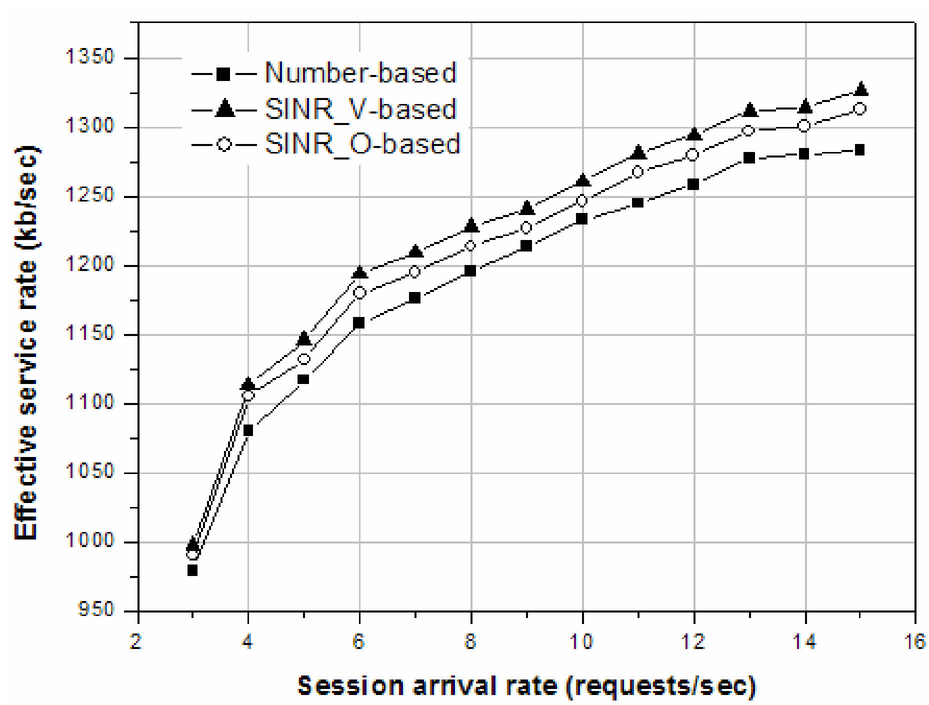

Figure 5.2 Effective service rate v.s. session arrival rates for Number(N=10), SINR_V, and SINR_O-based admission control.

在 Figure5.3 中，effective service rate 與我們預期中的一樣，其中以 SINR-V 的方式最佳，其次 SINR-O 及 Number-based admission control.

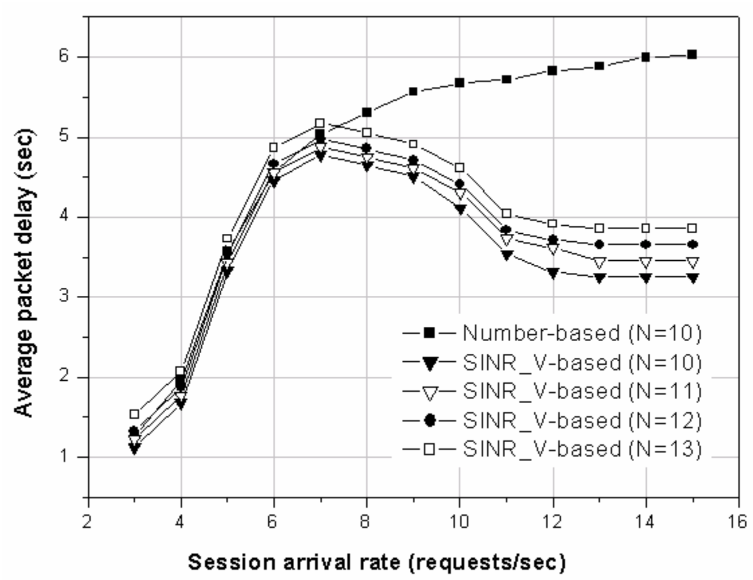

Figure 5.3 Average packet delay v.s. session arrival rates for Number, SINR_V-based admission control.

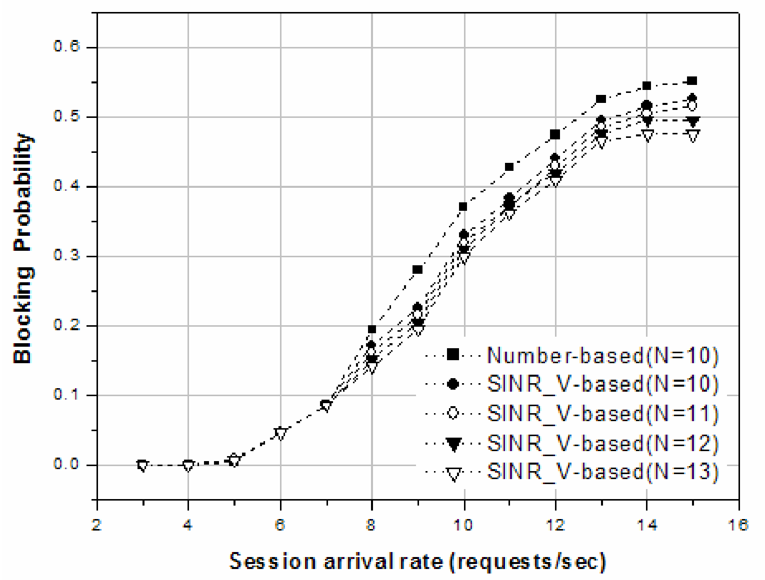

Figure 5.4 Blocking probability v.s. session arrival rates for Number(N=10), SINR_V-based admission control(N=10,11,12,13)

在 Figure5.3 中，我們發現 average packet delay 在 arrival 3 到 7 時是遞增的狀態，而在 arrival 7 到 11 時，是遞減狀態，到了 arrival 11 則逐漸穩定下來。

根據模擬結果顯示，期初 average packet delay 的增加是由於允入控制能挑選適當的使用者來配置資源的機會變小，也就是 multiuser diversity 效益不明顯，所以 delay 會如預期的向上遞增。期中 average packet delay 有顯著的下降是由於 multiuser diversity 的影響，允入控制開始因應系統內滿載狀態，進行使用者資源配置，使得 delay 會逐漸下降。期末 average packet delay 下降速度趨於緩和是由於系統已達到 steady state 狀態，顯示出允入控制在此 arrival rate 區間中可達到的 delay 的效能已趨於緩和。歸結看來，在系統 loading 為 arrival rate 為 7 到 11 之間，為此允入控制能達到的最佳範圍。

在 Figure5.4 中，我們模擬了四種 N 值，分別為 10,11,12,13，圖中顯示 N 值的大小決定了允入控制的門檻，在較小的 N 值，將會使允入控制提前運作，也就是我們所提出的 SINR_V 會先進行適當人選進行配置，如此 blocking probability 將會比其他 N 值來的高，相對的在 Figure5.3 中，我們可以發現 delay 也如 N 值變大而隨之增加，較大的 N 值，則會減緩允入控制運作，因而導致較高的 delay 值。

5.2 Model-II SINR-based 允入控制

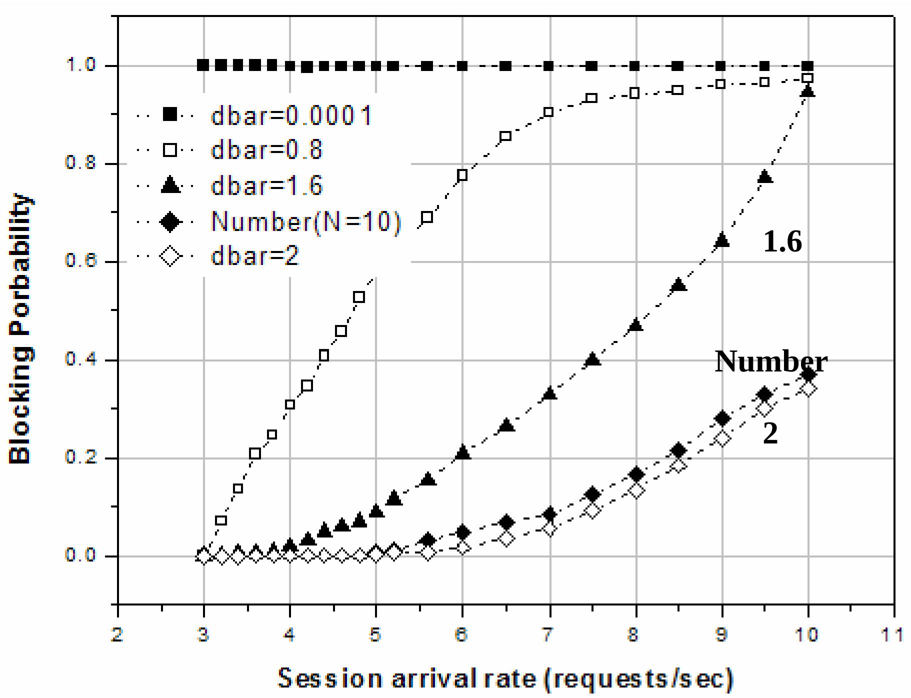

Figure 5.5 Blocking probability v.s. session arrival rates for $\overline{d}$ =0.0001, 0.8, 1.6, 2(β =10), and Number-based (N=10).

在 Figure 5.5 中，我們發現不同的 $\overline{d}$ 值，會有不一樣的 blocking probability 分佈，當 $\overline{d}$ 設定為 0.0001 時，允入控制的門檻提高，使得大部份使用者無法進入系統，造成 blocking rate 最高，幾乎為 1；而當 $\overline{d}$ =0.8 時，blocking probability 上升快速，但隨後緩慢穩定，這是因為我們將 $\overline{d}$ 值設定太低，使得使用者無法通過允入控制，進入本系統，之後允入控制發揮作用，使系統 blocking probability 幾乎為 1；因此在爾後討論中，將 $\overline{d}$ 設定為 2，以得到較佳的 blocking probability 分佈。

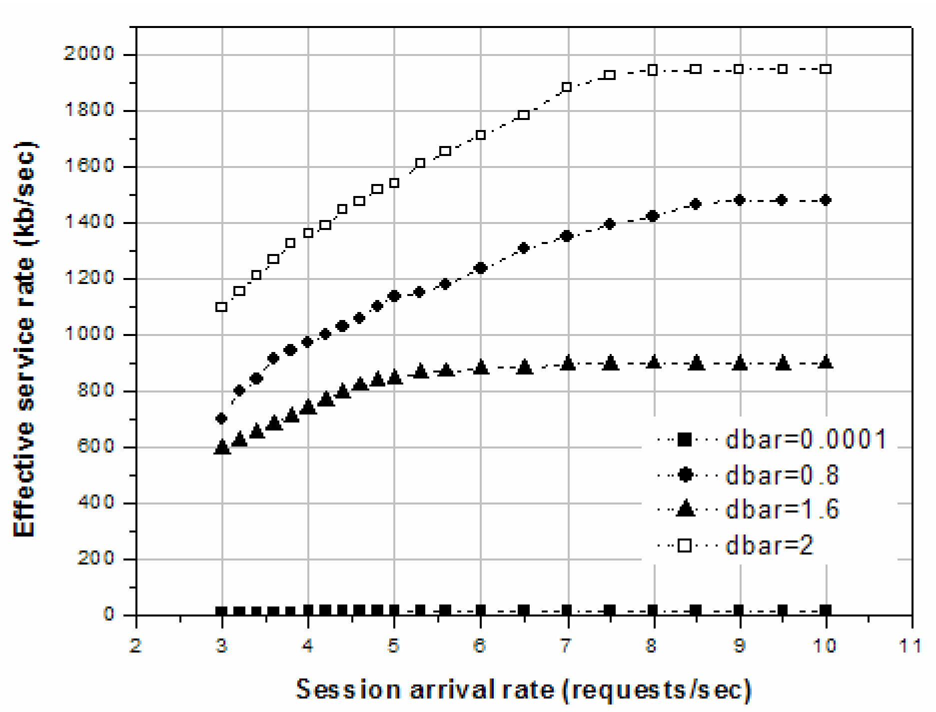

Figure 5.6 Effective service rate v.s. session arrival rates for d_bar=0.0001, 0.8, 1.6, 2. (β=10)

在 Figure 5.6, 我們發現 $\overline{d}$ =2 時，effective service rate 會有不錯的表現，在 arrival rate 為 3 的前提下，effective service rate 會比 $\overline{d}$ =0.8 時高出約 1.6 倍；另外在 $\overline{d}$ =0.0001 時，effective service rate 將趨近於 0，這是因為絕大部分的使用者都被系統拒絕而導致此結果。

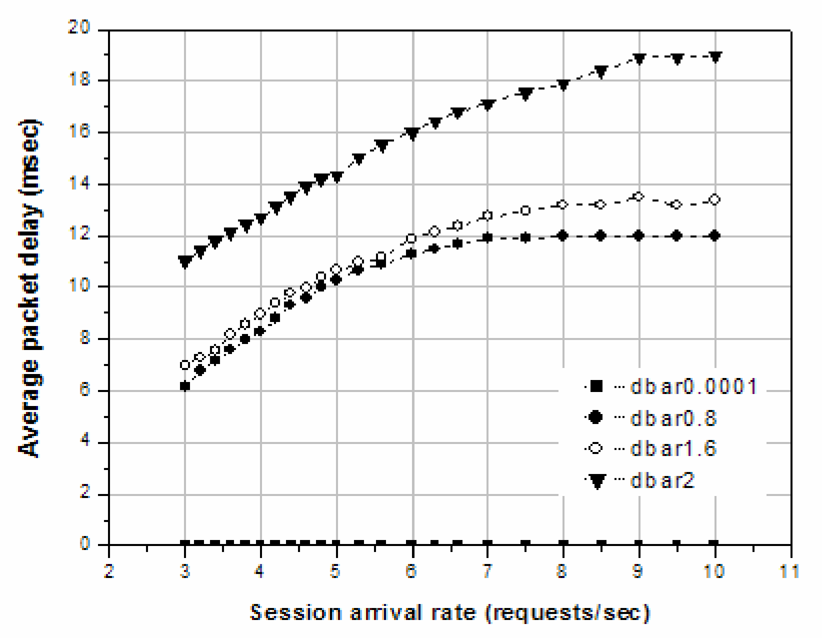

Figure 5.7 Average packet delay v.s. session arrival rates for d_bar=0.0001, 0.8, 1.6, 2. (β=10)

在 Figure 5.7 中，我們發現在 arrival rate=3 的前提下，$\overline{d}$=2 的 average packet delay 約為$\overline{d}$=0.8 的 1.8 倍。

因此在$\overline{d}$=2 時，delay 的表現上雖略高，但綜合考量系統 blocking probability、effective service rate 與 average packet delay 的變動因子下，$\overline{d}$=2 仍然可以取得最佳的系統效能，所以在爾後的討論中，$\overline{d}$=2 我們仍然以作為允入條件。

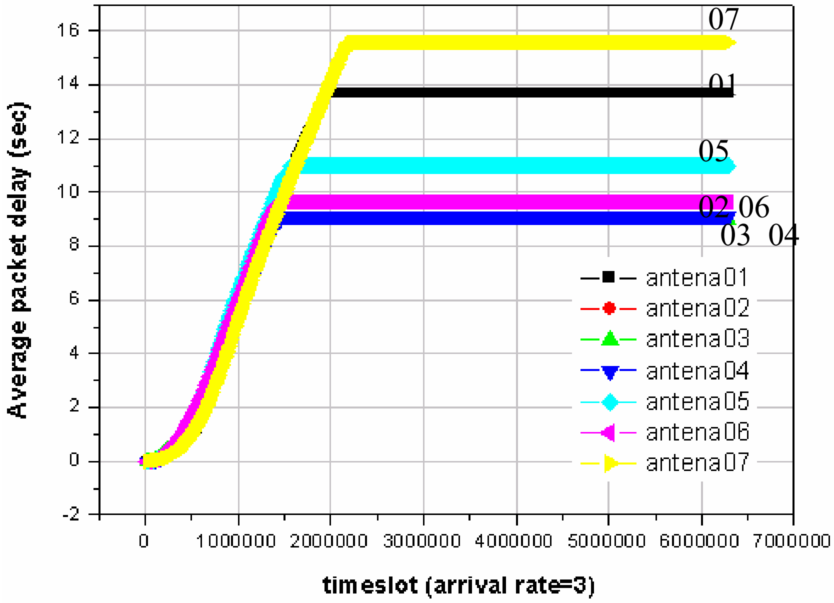

Figure 5.8 Average packet delay vs timeslot in arrival rate 3 for antena01 to antena07.

在 Figure5.8 中，隨著模擬時間前進，期初 average packet delay 都會有明顯的增加，但當各基地臺分別達到系統的臨界點，則 delay 就會穩定下來，這是因為允入控制在系統臨界點已發揮作用，使得 delay 進入穩態，系統不會因超載而崩潰。

由圖中可發現，基地臺依據其線性分佈狀態，delay 成對稱方式表現，1 和 7 號有相同的 delay 表現；而 2 和 6 號亦然，其他則居中呈現 delay 到穩態狀況。

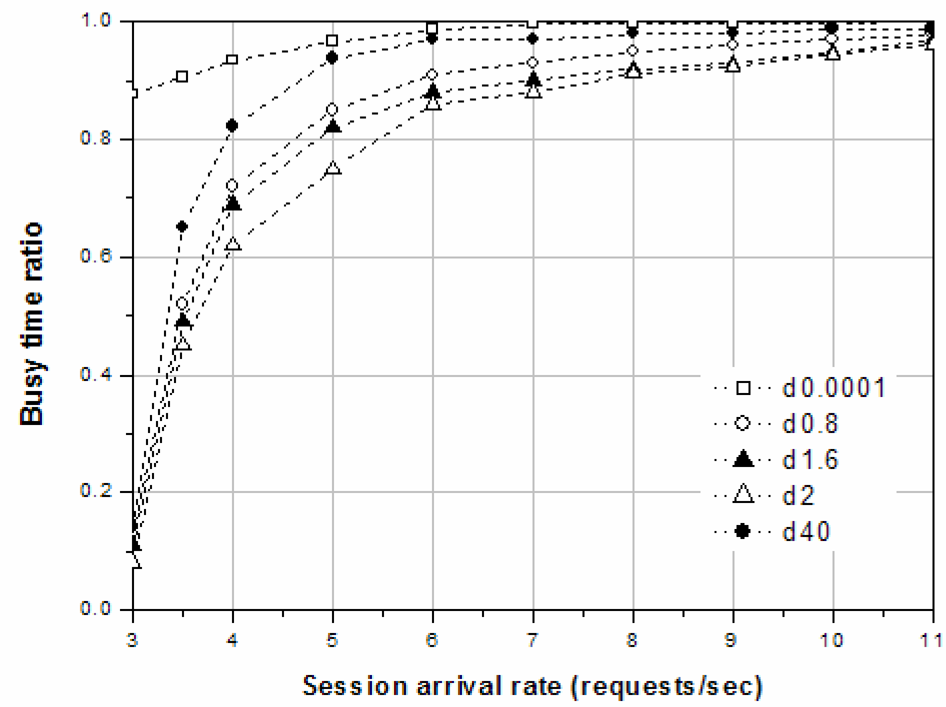

Figure 5.9 Busy time ratio vs session arrival time for $\overline{d}$ =0.0001, 0.8, 1.6, 2, 40 (model-II SINR-based admission control).

在 Figure 5.10 中，我們發現$\overline{d}$ ＝0.001 時，由於允入控制阻攔大部分的使用者進入，因此 busy time ratio 的值迅速降低，甚至為 0，另外我們發現當$\overline{d}$ =2 時，busy time ratio 的表現雖比$\overline{d}$ =0.8、1.6、40 略低，但卻非常接近，但綜合所有數據考量，$\overline{d}$ =2 仍是值得討論的值。

6.結論及未來方向

我們提出 SINR-based admission control，其中一個是根據 number-based schemes 作為 soft constraint (即是 Model-I)，另一個是使用 exponential rule 之信號變化理論架構的 SINR-based admission control (即是 Model-II)，此外我們認為 UCS 排程的允入控制會比 number-based 允入控制來得有效，主要因素是當系統超載時，能有效降低 blocking probability，而重新配置使用者的網路定位點。而在 model-II 中我們考慮三個變動因子：delay 和 mean efficient services rate，我們稱之為在 exponential rule 下的 SINR-based admission control，藉由修改 $\overline{d}$ 可以影響系統中的 blocking rate、the efficient services rate 與 the average packet delay，在此研究中我們察覺在 $\overline{d}$ =2 時，model-II SINR-based 將比 number-based admission control 更有效的降低 blocking probability。

在本論文中我們考慮了平均分佈的線性模式(uniformly distribution in linear network)與假設使用者是未移動的狀態，但是，在真實的網路系統中，應該要考慮二維空間的情境、使用者移動性與不均勻的分佈情形，或者是更進一步的在 Model-II SINR admission control 中來模擬動態配置使用者網路定位方式，這些都是未來的研究工作可加以考慮進去的想法。

Reference

[1] Bender, P., Black, P., Grob, M., Padovani, R., Sindhushayana, N., Viterbi, A. "CDMA/HDR: a bandwidth-efficient high-speed wireless data service for nomadic users", IEEE Commun 2002. Mag. 38 (7), 70–77.

[2] D. N. C. Tse *et al.*, "Transmitter directed, multiple receiver system using path diversity to equitably maximize throughput", patent filed, May 24,1999.

[3] D. N. C. Tse, "Multiuser diversity and proportional fair scheduling", in preparation.

[4] E.Esteves, Peter J. Black and Mehmet I. Gurelli, "Link adaptation techniques for high-speed packed data in third generation cellular systems", in Proc. Of Europea Wireless Conference 2002.

[5] G. L. St'uber, "Principles of Mobile Communication". Kluwer Academic Publishers,1996.

[6] Jalali, A., Padovani, R., Pankaj, R. "Data throughput of CDMA-HDR a high efficiency-high data rate personal communication wireless system", In: Proc. 50th IEEE Veh. Techn. Conf. 2000, 1854–1858.

[7] Junshan Zhang, Ming Hu, Ness B. Shroff, "Bursty traffic over CDMA: predictive MAI temporal structure, rate control and admission control", in IEEE INFOCOM 2002.

[8] K. Kumaran and L. Qian, "Uplink scheduling in CDMA packet data systems", in IEEE INFOCOM, 2003.

[9] M. Gudmundson, "Correlation model for shadow fading in mobile radio systems", Electronics Letters, vol. 27, pp.2145-2146, 1991.

[10] Niranjan Joshi, Srinvas R. Kadaba, Sarvar Patel, and Ganapathy S. Sundaram, "Downlink scheduling in CDMA Data Networks", mobicom 2000 Boston MA USA Copyright ACM 2000.

[11] Peijuan Liu, Peifang Zhang, Scott Jordan," Single-Cell Forward Link Power Allocation Using Pricing in Wireless Networks", IEEE TRANSACTIONS ON WIRELESS COMMUNICATIONS, VOL. 3, NO. 2, MARCH 2004 533

[12] P Marbach, R Berry, "Downlink Resource Allocation and Pricing for Wireless Networks", in IEEE INFOCOM 2002

[13] Pramod Viswanath, David N. C. Tse, and Rajiv Laroia, "Opportunistic Beamforming Using Dumb Antennas", IEEE TRANSACTIONS ON INFORMATION THEORY, VOL. 48, NO. 6, JUNE 2002 1277

[14] Q.Wu and E.Esteves, "The cdma2000 high rate packed data System," QUALCOMM: 80-H0593-1,Rev.A, March2002.

[15] SAMAR SINGH, SATISH K. TRIPATHI, "A Time-Slotted-CDMA Architecture and Adaptive Resource Allocation Method for Connections with Diverse QoS Guarantees", Wireless Networks 9, 479–494, 2003

[16] Sem Borst, "User-Level Performance of Channel-Aware Scheduling Algorithms in Wireless Data Networks", in IEEE INFOCOM 2003

[17] Simon Kahn, *Student Member, IEEE*, Mustafa K. Gurcan, *Member, IEEE*, and Oladipupo O. Oyefuga, "Downlink throughput optimization for wideband CDMA systems", Communications Letters, IEEE**,** May 2003,Volume: 7, p251-p253

[18] S. Kim, D. Hong and J.n Cho, "Hierarchical cell deployment for high speed data CDMA systems", in Proc. of IEEE WCNC2002, vol. 1, pp.7-10.

[19] S Shakkottai, A Stolyar, "Scheduling for multiple flows sharing a time-varying channel :The Exponential Rule", in American Mathematical Society, Providence, RI, USA, 2001

[20] T. Bonald and A.Proutiere, "Wireless Downlink Data Channels: User Performance and Cell Dimensioning", in Proc. of ACM. Mobicom 2003.

[21] Tse, D. “Multi-user diversity and Proportional Fair scheduling.”, in preparation 2002.

[22] W. Teerapabkajorndet and P. Krishnamurthy, “Rate and power control on a reverse link for multi-cell wireless data networks”, in Proc. of IEEE/ACM MSWIM, 2004

[23] X.Qiu, L. Chang, Z. Kostic, T.M. Willis III, N. Mehta, L.J. Greenstein and et al, “Some performance results for the downlink shared channel in WCDMA”, in Proc. Of IEEE ICC 2002.

[24] Zory Marantz, Penina Orenstein, David J. Goodman,” Admission control for maximal throughput in power limited CDMA systems”, IEEE Communications Society WCNC 2005

[25] Jung-Tsung Tsai and Hui-Chen Hsieh “Adaptive antenna power level control for wireless forward link data services” in Proc. of IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), 2006