

UMTS HSDPA 關鍵技術與議題之探討

KEY ISSUES AND TECHNOLOGIES FOR UMTS HIGH SPEED DOWNLINK PACKET ACCESS

鄭欣明* 顏在賢 林 風† 塗冠驊
*Shin-Ming Cheng** *Chai-Hien Gan* *Phone Lin†* *Guan-Hua Tu*

*博士候選人 †助理教授
國立台灣大學資訊工程系

*Ph.D. candidate †Assistant Professor

Department of Computer Science and Information Engineering, National Taiwan University, Taipei, Taiwan 10617, R.O.C.

摘 要

Abstract

High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) is currently being standardized in 3GPP for Release 5. The HSDPA concept has been designed to increase packet data throughput by means of new proposed transport channel, HS-DSCH and MAC sublayer, MAC-hs. HSDPA offers transmission data rate up to 10Mbps by combining following new technologies: Adaptive modulation and coding schemes, Hybrid ARQ, Multiple input multiple output channel, and Fast cell selection technologies. In this article, we describe these HSDPA technologies and is organized as follows: first, we introduce UMTS WCDMA Packet Access. Next, we introduce HSDPA system architecture and related new technologies. Finally, we offer some research issues and conclude this article.

Keywords: HSDPA, UMTS.

在第三代行動通訊中，通用行動通訊服務 (Universal Mobile Telecommunication System, UMTS) 透過 WCDMA 的技術可以讓許多使用者同時使用高速上網，但隨著所提供的服務增加，對於更高下載速率與傳輸品質的需求也相對的增加。因此，3GPP 在 R5 制訂了高速下載封包存取技術 (High-Speed Data Packet Access)，以增加 UMTS 下載封包的傳輸速度。其新增了一個傳輸通道 HS-DSCH (High Speed Downlink Shared Channel) 與新的 MAC 子層 MAC-hs，再結合適應性調變編碼 (Adaptive Modulation and Coding Schemes)、混合自動重複 (Hybrid ARQ)、多重輸入與多重輸出 (Multiple Input Multiple Output) 與快速細胞選擇 (Fast Cell Selection) 等新技術，將最大的下載傳輸速率大幅的提升到 10Mbps 以上。本文主要針對 HSDPA 技術作詳細的介紹，首先介紹 WCDMA Packet Access 的特性，接著介紹 UMTS HSDPA 的系統架構，並一一介紹 HSDPA 所提出的新技術，最後提供目前在學術界中許多有關 HSDPA 的研究議題，以及提供一結論。

關鍵詞： HSDPA、UMTS。

1. 簡 介

全球式行動電信系統 (Universal Mobile Telecommunication System, UMTS) [1,2] 為 3GPP (3rd Generation Partnership Project) 所提之第三代行動通訊系統。此系統可以提供給行動使用者交談式 (Conversational)、串流式 (Streaming)、互動式 (Interactive)、背景式 (Background) 等品質的傳輸服務，其封包傳輸的速率可高達 2Mbps。圖 1 所示為 UMTS 之系統架構，在此架構中，UMTS 系統主要可分為兩部分：(1) 核心網路 (Core Network)；(2) 無線

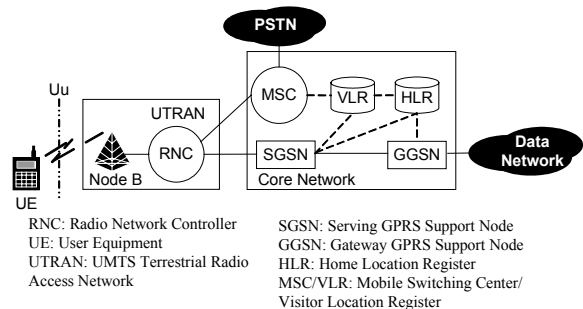


圖 1 UMTS 系統架構

Fig. 1 UMTS system architecture

擷取網路 (UMTS Radio Access Network, UTRAN)。

核心網路主要由 GPRS 服務支援節點 (Serving GPRS Support Node, SGSN)、GPRS 閘道器 (Gateway GPRS Support Node, GGSN)、客籍位置暫存器 (Visitor Location Register, VLR)、家位置暫存器 (Home Location Register, HLR) 與行動交換中心 (Mobile Switching Center, SC) 所組成。GPRS 閘道器 (GGSN) 負責 UMTS 系統與其外部其他分封數據網路 (Packet Data Network) 的之間轉換介面。GPRS 服務支援節點 (SGSN) 則連接 UMTS 無線擷取網路 (UMTS Radio Access Network, UTRAN)，負責將資料送給使用者終端設備 (User Equipment, UE)，或將使用者資料繞送至 GGSN。而 HLR 與 VLR 為資料庫存放關於使用者終端設備相關資訊 (例如：使用者電話號碼)；MSC 負責提供傳統電路交換語音服務給使用者。

UTRAN 包含無線電基地台 (Node B) 以及基地台控制站 (Radio Network Controller, RNC)。使用者終端設備透過無線電介面 Uu 接續上 UTRAN 網路。無線電介面 Uu 採用 WCDMA 的技術作為終端設備無線擷取的機制。除了提供給傳統電路交換行動網路應用服務之無線擷取需求，3GPP 亦針對網際網路封包流量之特性制訂出 WCDMA Packet Access 之相關規格。

在 WCDMA Packet Access 規格中，無線電介面協定 (Radio Interface Protocol) [3] 如下圖 2 所示：

右圖中 WCDMA Packet Access 位於實體層 (Physical Layer, L1)、資料連結層 (Data Link Layer, L2) 與網路層 (Network Layer, L3) 之上，其中 L3 在控制面為無線電資源控制 (Radio Resource Control, RRC)、L2 分成無線電連結控制 (Radio Link Control, RLC) [4] 與媒體存取控制 (Medium Access Control, MAC) [5] 兩層。這三層統稱為無線電介面協定。

無線電介面協定是用來建立、設定與釋放無線電服務 (Radio Bearer Service)，以供上層其他協定使用

無線電資源，而無線電的傳輸是經由通道 (Channel) 來傳送，在 L3 與 L2 之間是邏輯通道 (Logic Channel)，在 L2 與 L1 之間則為傳輸通道 (Transport Channel)，在 L1 上有實體通道 (Physical Channel)，WCDMA 的邏輯通道以傳送內容來說分成兩大類：控制通道 (Control Channel) 和資料通道 (Traffic Channel)，如圖 2 中所示，控制通道來傳送控制面 (Control Plane) 的資訊，而資料通道來傳送使用者面 (User Plane) 的資訊。

RLC 層 [4,6] 提供負責連線 (connection) 的管理與無線電連結 (radio link) 的控制，並且提供使用者與控制資料分割 (segmentation) 與重傳 (retransmission) 的服務。因此，RLC 層會選擇適當的邏輯通道來傳送使用者與控制資料。當資料傳送到 MAC 層時，MAC 會將邏輯通道對應到相對應的傳輸通道，在 WCDMA 中，3GPP 共規範了三種封包傳輸通道 (Transport Channel)，包括有一般通道 (Common Channel)、專用通道 (Dedicated Channel) 以及共享通道 (Shared Channel)。

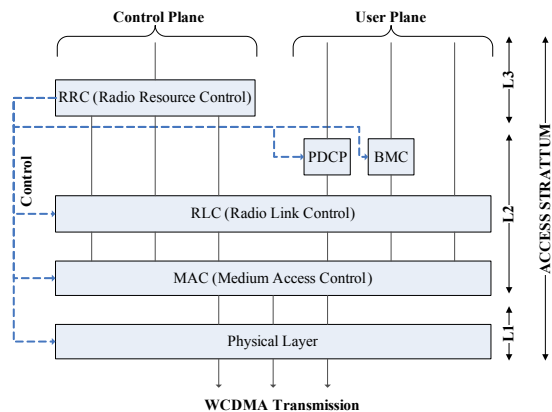


圖 2 無線電介面協定
Fig. 2 Radio link protocol interface

表 1 傳輸通道的種類與特性
Table 1 The property of transport channels

| | Dedicated Channels | Common Channels | | | Shared Channels | |
|------------------------|--------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | DCH | FACH | RACH | CPCH | DSCH | USCH |
| Uplink/Downlink | Both | Downlink | Uplink | Uplink | Downlink | Uplink, only in TDD |
| Code Usage | According to maximum bit rates | Fixed codes per cell | Fixed codes per cell | Fixed codes per cell | Code shared between users | Code shared between users |
| Fast Power Control | Yes | No | No | Yes | Yes | Yes |
| Soft handover | Yes | No | No | No | No | No |
| Suited for | Medium or large data amount | Small data amount | Small data amount | Small or medium | Medium or large data amount | Medium or large data amount |
| Suited for bursty data | No | Yes | Yes | Yes | Yes | Yes |

表 1 代表上述傳輸通道的分類與特性。其中要特別注意的是：共享通道與專用通道可用來傳送大量的資料，而其中又只有共享通道可以傳送突然性暴增的資料封包 (Bursty Packet Data)，但由於其所能夠提供的頻寬太低，無法因應使用者日漸需要高速下载的需求，因此 3GPP 在 R5 時提出了一個名為 High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) [7] 的新機制，其並沒有改變當初 R99 與 R4 的架構，而提出了新的實體通道與相對應的共享傳輸通道：High Speed Downlink Shared Channel (HS-DSCH)，此通道繼承了共享通道可以傳送突然性暴增的資料之能力。

負責處理傳輸通道的 MAC 層可以細分為 MAC 的三個子層 (sub-layer)，分別為：

1. MAC-b：負責將要廣播的邏輯通道對應到相對的傳輸通道，在 UE 都有 MAC-b 層，而在 Node B 上有負責每一個 Cell 的 MAC-b 層。
2. MAC-d：負責管理專屬的通道，在 UE 都有一個 MAC-d 層，而在 SRNC 上有負責每一個 UE 的 MAC-d 層。
3. MAC-c/sh：負責處理在一般與共享通道中的資訊，在 UE 上都有 MAC-c/sh 層，而在 CRNC 上有負責一個細胞 (Cell) 的 MAC-c/sh 層。

此外，HSDPA 也在 Node B 上定義了一個新的 MAC 子層 MAC-hs，其提供了兩項關鍵技術：混合自動回覆 (Hybrid automatic request, HARQ) 與適應型調變編碼 (Adaptive Modulation and Coding, AMC)。混合自動重傳將重傳機制由 RNC 移到 Node B 的 MAC-hs 上，加上配合掌握通道的條件，用不同的重傳速率，以減少延遲 (delay) 的現象；適應型調變編碼是根據通道的狀況，迅速調整最適合的調變與編碼方式，以提高傳輸量 (Throughput)。其中，HSDPA 將傳輸時間間隔 (Transmission Time Interval, TTI) 由 10ms 縮小為 2ms，允許每個 TTI 改變傳輸速率一次，因此即是突然性的暴增資料，HSDPA 也可以有效地配置通道與資源。除此之外，HSDPA 還提出了許多新的技術，包括多重輸入多重輸出 (Multiple Input Multiple Output, MIMO)、快速細胞選擇 (Fast Cell Selection, FCS) 等。上述四種新的技術我們稍後會仔細地描述。

接下來的文章分為三部分：第二章節會詳述 HSDPA 的架構；第三章節會敘述目前在 HSDPA 上面的新技術；最後，第四章節會對本文做一個結論。

2. HSDPA 的硬體架構

HSDPA 在 UTRAN 中的硬體架構上做了些許的更動，其中 RNC 中的 MAC 層維持不變 (即原有的

MAC-d 與 MAC-c/sh)，但由於 HSDPA 參考 DSCH 的方式新增了一個傳輸通道 HS-DSCH，因此在 Node B 中的 MAC 層新增了一個 MAC-hs 子層來處理所需要的動作，即為 HARQ、AMC 與 HS-DSCH 的排程 (Scheduling)。圖 3 是修正後之無線電介面協定架構 [7]。

圖 3 中 CRNC 表示為此 Node B 所屬的 RNC，負責細胞 (cell) 的負載 (load) 與壅塞 (congestion) 控制，而 SRNC 是負責處理此 UE 與 UTRAN 之間的訊號與處理資料經過無線電介面時 Layer 2 的程序，在第一章中已經詳述過 RLC 所負責的功能，這裡不再累述。當使用者使用 HS-DSCH 通道時，RLC 與 MAC-d 層位於 SRNC 上，而 MAC-c/sh 層位於 CRNC 上，而 MAC-hs 層位於 Node B 上。而 HS-DSCH FP (Frame Protocol) 負責將資料由 SRNC 送至 CRNC 再由 CRNC 送至 Node B，在 Node B 上的 MAC-hs 為 HSDPA 新提出的一層，當 MAC-hs 收到 MAC-d 的 PDU 後，會透過其包含的元件做處理，這些元件有 [5]：

1. 流量控制 (Flow Control) [8,9]：透過管理上層來的 MAC-d 的 PDU 以避免在 HS-DSCH 的流量過大而造成堵塞，透過流量控制我們可以限制許多信號封包與有效控制重傳的封包。
2. 排程／優先權處理 (Scheduling/Priority Handling) [5,6,10]：這部分的功能根據資料流的優先權 (priority) 來管理在 HARQ entity 之間的 HS-DSCH 上之資源，除了根據 HARQ 元件 (entity) 回傳的狀態報告決定要重傳資料流或是新資料，也可以決定新進來 MAC-hs 層 PDU 的 Queue ID 和傳送順序數目 (Transmission sequence number, TSN)。在提出 HSDPA 時，封包排程器 (Packet Scheduler) 的放置點受到爭議。若是放置在 RNC，RNC 需等待 Node B 回報無線電資源使用狀況，才能決定該以何種傳輸通道與傳輸速率去傳送封包，無法當下立即做出決定，使得封包無法立即被傳送，因此影響到封包傳輸的速率。經過幾次爭議後，已經確定將封包排程器放置於 Node B，主要的考量在於 Node B 最能清楚且快速地掌握無線電資源使用狀況，並能在當下及時地決定該以何種傳輸通道與傳輸速率去傳送封包，使得封包可以盡快地傳出，不會有任何的延遲，因此可以大大提升傳輸的效率與速度。

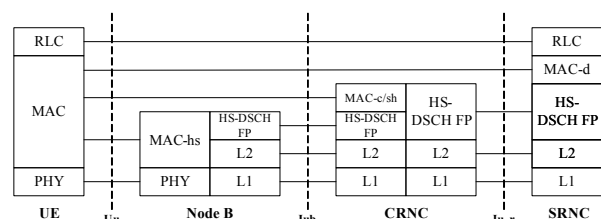


圖 3 HSDPA 的協定架構圖
Fig. 3 HSDPA protocol architecture

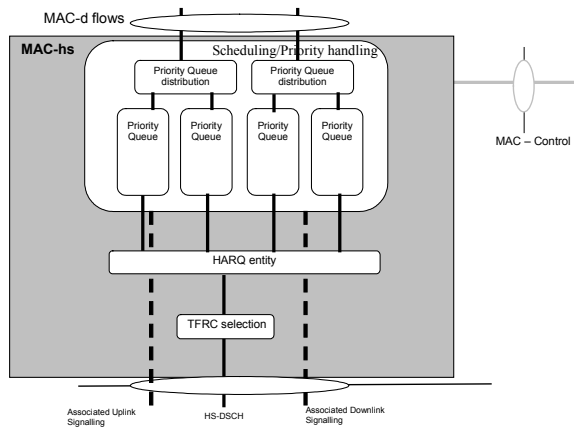


圖 4 在 UTRAN 端 MAC-hs 的架構圖 [5]

Fig. 4 UE side MAC-hs architecture

排程器會在優先權佇列 (priority queue) 中選擇適當的佇列來傳送 [11]。而優先權佇列分配 (priority queue distribution) 元件會安排 PDU 在優先權佇列中的配置。之前有提到 HSDPA 可以讓多條邏輯通道多工成一條 MAC-d 資料流，而在優先權序列分配元件會先藉由 MAC-d PDUs 裡面的 C/T 欄位將兩個邏輯通道區分出來，並將之放入屬於此優先權的優先權佇列 [12]。每一個使用者都有其擁有的不同優先權佇列 [13]。

3. HARQ [12]: 每一個使用者有專屬的 HARQ 元件，一個 HARQ 元件支援多個 Stop-And-Wait Hybrid ARQ (SAW-HARQ) 機制的 HARQ 程序 (process)，其會處理錯誤的判斷與重傳動作，也會將收到的資訊報告給排程器。
4. TFRC 選擇：負責在 HS-DSCH 上傳輸的資料選擇合適的傳輸格式與資源。

了解 HSDPA 的架構之後，接下來我們要探討在 Node B 上面 MAC-hs 所提供的新技術，藉以了解 HSDPA 如何達到高速的下載速率。

3. HSDPA 的相關技術

3.1 混合自動回覆 (Hybrid Automatic Request reQuest, HARQ)

在傳統的網路上，ARQ 廣泛地被使用在當兩個傳輸實體間的資料流在傳輸發生錯誤時，如何通知傳送端與重傳的機制。而利用 ARQ 的機制，但在重傳時將同樣的資訊資料用不同的方式編碼的技術，這種機制稱為 HARQ。在 HSDPA 中，在 Node B 透過回傳的 ACK/NACK 與 CQI 獲得目前通道的狀況資訊，進而用不同的編碼方式重新傳送，以寄望重傳時候的成功機率能夠提高。目前 ARQ 機制三個主要的方法為：

停止與等待 (Stop-And-Wait, SAW)、退後 N (Go-back N) 與選擇重送 (Selective Repeat, SR) 自動回覆。Go-back N 與 SR 應用在許多系統上，RLC R99 中的重傳機制就是以 SR 來實做，其主要概念在於只重傳發生錯誤的封包，並利用順序號碼 (Sequence Number) 來辨認此重傳封包，表示傳送端與接收端都要儲存大量傳送後與未傳送的資料。但應用於無線通訊系統上，會遭遇許多困難：(1) UE 記憶體容量增加，UE 因需保留每個封包編號，以致記憶體容量增加；(2) 要求 UE 必須很精準的解出每個封包的編號資訊 (Sequence Information)，需使用較強的編碼 (Strong Code) 以確保編碼資訊準確送達 UE，造成信號 (Signaling) 頻寬要求增加。基於這兩項缺失，[12] 與 [14] 均建議使用 SAW HARQ，優勢在於不增加 UE 記憶體容量，且夾帶的控制信號少，減少頻寬的要求。但傳統 SAW 具頻寬利用率不佳問題。針對此狀況，[14] 提出雙通道 (Dual-Channel) SAW 技術改進，雙通道 SAW 主要的做法是，在手機端增加一接收器，當網路端傳送資料給手機時，會將資料分成兩部分，奇數與偶數，手機端的接收器亦分為兩個，奇數封包接收器與偶數封包接收器。各自負責封包之控制信之傳送，例如：ACK 與 NACK 之傳送。此做法可確保永遠有一個封包在無線電網路上傳輸 (最佳狀況)，但必須增加硬體成本。

實作 HARQ 的方法有 Chase combining、Incremental redundancy (IR) 與 Rate compatible punctured turbo codes [15]。Chase combining 主要透過自我解碼 (self decodable) 的功能，加上重送時除了重送原來的封包，也重送相同重複的部分，直到成功為止，故重傳的資料能與先前在暫存器中錯誤的資料結合解出原始資料。而 IR 的方式是每次都重送不同的 redundancy，利用多個重送 redundancy 解碼出原來的資訊。而第三種 Turbo Codes 技術則是利用多 bits 來傳送 bit 的技術，換句話說，若編碼率 (code rate) 為 3/4，表示傳送三個 bits，實際上會透過傳送四個 bits 來表達原來的三個 bits。由於重傳表示通道的品質不好，因此每次重傳都增強了編碼率，及透過更多的 bits 來表達原來的 bit，例如從 3/4 變成 3/8 再變成 1/4 [6]。

3.2 適應型調變編碼 (Adaptive Modulation and Coding, AMC)

AMC 所扮演的角色是根據通道狀況與系統限制，適時地去改變調變與編碼的方法，若 UE 在通訊情況好的地方 AMC 會分配高等級的調變與高速率的編碼方式給這個 UE，而在不好的通訊情況下，AMC 會分配低等級的調變與低速率的編碼方式給此 UE

[1,6]。HSDPA 定義 HS-DSCH 所使用的 TTI 為 2ms，而在一個 TTI 中可以傳送一個傳輸區塊集合，如圖 7，即為 MAC-hs PDU，而一個傳輸區塊集合中傳輸區塊的數目也由 AMC 來決定。在 Node B 的排程器透過 AMC 與 HARQ 在每一個 TTI 決定要傳送新資料還是重傳（重傳是將整個 TTI 來重傳），若傳送新資料時是否要改變速率（透過改變一個傳輸區塊集合中的傳輸區塊數目以改變傳輸速率）；若重傳時是否要用上節所提及的不同編碼方式來重傳。由於 TTI 的縮小（由 10ms 縮小為 2ms），因此即使是突然性的暴增資料，HSDPA 也可以有效地配置通道與資源。HSDPA 定義了七種不同等級的調變與編碼組合（modulation and coding scheme, MCS）來讓 HARQ 依照通道品質來改變 [12]。舉例來說，如果在一個 MAC-hs PDU 內只要包含一個 MAC-d PDU，即使通道的狀況允許使用較低的 MCS 階層，傳送端也會在這個 TTI 中直接選擇最強健的 MCS 階層和最少的 codes 來傳送，這樣會提高 MAC-d PDU 被正確接收的機率。

在 [16] 中提出了三種方法來決定 HS-DSCH 之傳輸格式：

1. 以 CPICH 為基礎的方式：Node B 根據 UE 預測或測量下載通道的品質（CPICH E_c/N_t ），即透過 UE 回傳的 CQI 作為調整 MCS 階層的參考。
2. 以 DL DPCH 為基礎的方式：Node B 直接選擇根據本身的下載傳送功率（power）決定 MCS 階層。
3. 以 CRC 為基礎的方式：Node B 根據 UE 回傳的 ACK 與 NACK 選擇 MCS 階層。

3.3 多重輸入多重輸出 (Multiple Input Multiple Output, MIMO)

在 [12] 中對多重輸入多重輸出 (MIMO) 技術有詳細的說明，此機制主要是利用在傳送端 (Transmitter) 與接收端 (Receiver) 均使用多重天線，比只在發送端使用多重天線系統與使用便利單一天線 (Conventional Single Antenna) 系統多出許多優點，最大的優勢在於可利用 Code 重新使用技術增加最高產量 (Peak Throughput)。其工作原理為：當有資料欲傳輸時，將其切割為 N 組資料，每組有 M 筆子資料流（其中 M 代表發送端的天線數目，N 代表目前實體通道的數目 (Spreading Code Number)），將第一組資料用第一個 Spreading Code 編碼並用第一支天線傳輸資料，第 N 組用第 N 個 Spreading Code 編碼並用第 N 支天線傳輸資料。在此機制中一個 Spreading Code 可對 M 筆子資料流編碼，這便是 Code Re-use 的技術核心。藉由 Code 重新使用 (re-use) 技術，每一對配置給 HS-DSCH 傳輸的 Channelisation/

Scrambling 編碼可調整達 M 組不同的資料串流 (Data Stream)，以達到高速下載的需求。

3.4 快速細胞選擇 (Fast Cell Selection, FCS)

使用 FCS 機制，手機可以指定一個通道品質最佳的細胞作為服務細胞。雖然手機中的 Active Set 中有許多可收到訊號的細胞，但在 FCS 機制中，手機只能由單一細胞下載資料封包。此做法可以有效地降低干擾狀況與增加系統之容納量。在 [7] 中提議使用 Dedicated Physical Control Channel (DPCCH) 來告知所有於手機 Active Set 中之細胞，目前手機是使用哪個細胞作為其服務細胞，而服務細胞會決定使用何種編碼與調變方法下載資料給手機。

FCS 機制中，主要的運作方式有兩類：(1) Intra-Node B FCS；(2) Inter-Node B FCS。在 WCDMA 中，一個 Node B 可控制三個細胞，所謂 Intra-Node B FCS 就是在同一 Node B 所控制的細胞中進行 FCS 運作。如第一章所描述的：當無線網路控制器欲傳送封包給 UE 時，必須將此封包傳送給所有包含於手機之 Active Set 中的 Node B，並且選擇一 Node B 直接傳送資料給手機，因此 Intra-Node B FCS 模式並不會造成資料同步上的問題，因為即使手機更換的服務細胞，資料仍由同一個 Node B 負責傳輸。而 Inter-Node B FCS 模式為手機執行 FCS 機制時，所更換的新服務細胞，並不屬於原先的 Node B 所控制，也就是跨 Node B 執行 FCS 運作。此模式會導致資料同步問題，因為新舊 Node B 中序列 (Queue) 所存放的資料不一致，在傳輸資料給手機時會導致許多問題，因此序列同步管理技術就顯得十分重要，在 [7] 提出兩種方式來實作序列同步管理技術：(1) Over-The-Air；(2) Network Based Queue Management。在 Over-The-Air Queue Management 中提出兩個方法：(1) Frame-by-Frame Update；(2) Event Based Update（當改變服務細胞時，才做更新序列）。Frame-by-Frame Update 就是在每一次手機收到資料時，皆會利用上傳信號通道 (Uplink Signaling Channel) 傳送 ACK 給在 Active Set 中所有 Node B。而 Event Based Update 只有在手機更換服務細胞時，才會利用上傳信號通道更改新 Node B 中之序列狀態。事實上 Over-The-Air Queue Management 最引人爭議在於無法保證 Node B 一定可以接收到手機上傳的信號，所以便提出由網路來傳送此信號以達到序列狀態同步的功能，但是由網路傳遞信號會有較長的延遲。基於 Over-The-Air 與 Network Based Queue Management 各有優缺點，所以一般認為混合使用是較佳的做法：使用 Over-The-Air 更新加搭配定期網路更新。

4. 結 論

為了因應上傳下載不對稱的傳輸速率，3GPP 在 R5 中提出了 HSDPA 的機制，在本文中，我們介紹了 HSDPA 的架構，也詳細敘述了一個應用層的封包當要使用 HSDPA 所提供的 HS-DSCH 時，如何在無線電介面協定中一層一層地往下傳送，也提到 HSDPA 如何利用其所提供的新技術 HARQ 來減少傳送的延遲、透過 AMC 來提升傳送的成功率。經由這些描述，我們可以了解 HSDPA 可以有效改善下載的傳輸速率、消除干擾、提高傳輸正確率、降低傳輸延遲，但卻又不需要改變已經存在的 UMTS 網路架構，因此，HSDPA 將會是一個相當嶄新且值得研究的主题。

本文雖針對 HSDPA 技術作一概括性的介紹，但也試圖指出目前在 HSDPA 上重要的關鍵技術與議題，以提供對於 HSDPA 技術有興趣的讀者可以此為入門基礎。在 HSDPA 中，許多規範制訂並不明確，故有許多議題可以討論及研究，例如在 Node B 上的排程器的演算法研究、位於 Node B 上對於 Cell 的流量控制研究，都是值得探討的議題。

參考文獻

- [1] H. Holma and A. Toskala, *WCDMA for UMTS, Radio Access for Third Generation Mobile Communications*, 2nd Edition, John Wiley & Sons. 2002.
- [2] Y.-B. Lin and I. Chlamtac, *Wireless and Mobile Network Architectures*, John Wiley & Sons. 2001.
- [3] 3GPP TS 25.301, "Radio interface protocol architecture," Vol. 5.2.0, Sep. 2002.
- [4] 3GPP TS 25.322, "Radio link control (RLC) protocol specification," Vol. 5.6.0, Sep. 2003.
- [5] 3GPP TS 25.321, "Medium access control (MAC) protocol specification," Vol. 5.6.0, Sep. 2003.
- [6] X.-D. Lian and C. Dou, "The study of the scheduling algorithm for HSDPA," A Master Thesis of EE, YunTech, TW, Jun 2003.
- [7] 3GPP TS 25.308, "High speed downlink packet access (HSDPA)—overall description," Vol. 5.4.0, Mar. 2003.
- [8] 3GPP TS 25.425, "UTRAN Iur interface user plane protocols for Common Transport Channel data streams," Vol. 5.5.0, June 2003.
- [9] 3GPP TR 25.877, "High speed downlink packet access: Iub/Iur protocol aspects," Vol. 5.1.0, June 2003.
- [10] 3GPP TSG RAN WG2 Tdoc R2-02-0078, "Scheduling function in MAC-hs," LG Electronics Inc., Jan. 7-11, 2002.
- [11] 3GPP TSG RAN WG2 Tdoc R2-02-0783, "Priority queue distribution and delivery," Lucent Technologies, Apr. 8-12, 2002.
- [12] 3GPP TR 25.858, "High speed downlink packet access: physical layer aspects," Vol. 5.0.0, Mar. 2002.
- [13] 3GPP TSG RAN WG2 Tdoc R2-02-0138, "Multiplexing in HSDPA," Siemens AG, Jan. 7-11, 2002.
- [14] 3GPP TSG RAN WG1 Tdoc R1-00-1083, "Comparison on RLC HARQ and fast HARQ complexity," Nokia, Aug. 22-25, 2000.
- [15] P. Frenger, S. Parkvall and E. Dahlman, "Performance comparison of HARQ with chase combining and incremental redundancy for HSDPA," *Vehicular Technology Conference*, Vol. 54, No. 3, Oct. 2001, pp. 1829–1833.
- [16] 3GPP TSG RAN WG1 Tdoc R1-01-0589, "Selection of MCS levels in HSDPA," NEC, May 21-25, 2001.



鄭欣明 (Shin-Ming Cheng) received his BSCSIE degree from Nation Taiwan University, Taiwan, R.O.C. in 2000. He is a Ph.D. candidate of Department of Computer Science and Information Engineering (CSIE), National Taiwan University, R.O.C. His current research interests include wireless network, performance modeling, and wireless security.



顏在賢 (Chai-Hien Gan) received his BSCSIE degree from Tamkang University and MSc CSIE degree from National Taiwan University, Taiwan, R.O.C. in 1994 and 1996, respectively. He is a Ph.D. candidate of Department of Computer Science and Information Engineering (CSIE), National Taiwan University, R.O.C. His current research interests include wireless networks, computer algorithms, and performance modeling.



林 風 (Phone Lin) (IEEE membership No. 41506403, M02) received his BSCSIE degree and Ph.D. degree from National Chiao Tung University, Taiwan, R.O.C. in 1996 and 2001, respectively. In 2001, he was appointed as an Assistant Professor of Department of Computer Science and Information Engineering (CSIE), National Taiwan University, R.O.C. Dr. Lin is a Guest Editor for IEEE Wireless Communications special issue on Mobility and Resource Management. His current research interests include personal communications services, wireless Internet, and performance modeling.



塗冠驊 (Guan-Hua Tu) received the B.S.E degree in Computer Science and Information Engineering from National Central University in Taoyuan, Taiwan, in 2001. He received the M.S. degree in Computer Science and Information Engineering from National Taiwan University in Taipei, Taiwan, in 2003. His research interests include design and analysis of PCS networks, mobile computing, PCS radio resource allocation, PCS mobility management and performance modeling.