

# Design and Implementation of GSM Radio Resource Management Protocol

張耀仁

Yao-Jen Chang

中華大學資訊工程學系

新竹市東香里東香 30 號

新竹市東香里東香 30 號

## 摘要

我們以 SDL 設計並實作了 GSM 手機端無線資源管理通訊協定。運用正規化的設計方法，我們將功能密切的無線資源管理層與實體層切割開來，使得實體層的複雜度減到最低；同時，我們設計了無線資源管理層的開機程序，使得它能在最短的時間內，提供給其他協定層實體必要的服務。另外，我們分別探討了無線資源管理層在閒置與連線模式的設計。

**關鍵詞:** Radio Resource, SDL, GSM, Protocol Engineering, Wireless Communications

## 1 簡介

泛歐數位式行動電話系統 (Global System for Mobile Communications; GSM) 是歐洲郵政及電信組織 (European Post Offices and Telecommunication; CEPT) 於 1990 年初所推動出來的一個蜂巢式行動電話 (Cellular mobile phone) 網路系統。由於 GSM 設計上擁有許多的優點，它很快地就被世界上許多的國家所採用。據統計，到目前為止 GSM 已被一百個以上的國家和地區總共超過兩百個以上的行動電話系統採用，佔有全球百分之三十的無線市場。

GSM 的標準規範由歐洲電信標準所 (European Telecommunications Standards Institute; ETSI) 所制定。在 ETSI 的標準文件中，將一個提供 GSM 服務的網路系

統稱為陸地公眾行動網路 (Public Land Mobile Network; PLMN) [1]。一個典型的 GSM PLMN 架構如 Figure 1 所示。其中行動臺 (Mobile Station; MS) 為用戶端的終端設備，一般習稱手機。基地收發臺 (Base Transceiver Station; BTS) 為負責發送無線電波的網路設備。其它如基地臺控制器 (Base Station Controller; BSC)、行動服務交換中心 (Mobile-services Switching Center; MSC)、本籍位置資料庫 (Home Location Register; HLR)、及訪客位置資料庫 (Visitor Location Register; VLR) 等，因不在本文所討論的範圍，故不予討論。

GSM 主要的控制信號協定 (Signaling Protocol) 結構如 Figure 2 所示 [12]。行動臺端的通訊協定主要包含三層。第一層是實體層 (Physical Layer)，其主要的工作包括語音編碼 (Speech Coding)、通道編碼 (Channel Coding)、位元交錯放置 (Interleaving)、訊號等化 (Equalization)、調變解調 (Modulation/Demodulation) 等。第二層是資料鏈路層 (Data Link Control)，使用 LAPDm 鏈路存取通訊協定，其主要功能為有效地為 Um 介面的收發兩方 (即行動臺與基地收發臺) 傳送第三層的控制信號 (Signaling Data)。LAPDm 與 ISDN 的 LAPD 通訊協定的差異在於對框的定界不同及增加了透通 (Transparency) 功能。第三層有三個子層 (Sublayer)，由下到上分別是無線電波資源管理子層 (Radio Resource Management; RR)、行動管理子層 (Mobility Management; MM)、與連結管理子層 (Connection Management; CM)。CM 又被細分為 Call Control (CC)、Short Message Service (SMS)、與 Supplementary Service (SS) 三個部份。CC 負責通話的建立、維持、與斷話控制；SMS 用來處理短訊息服務；SS 則負責處理增添服務 (Supplementary Services)。

RR 層功能為管理無線電波資源。當行動臺處於閒置模式 (Idle Mode) 時,RR 會根據所量測到的週遭基地臺電波的強度與訊號品質選擇其中一個基地臺,透過它與網路聯繫。這項工作稱為細胞選擇 (Cell Selection)。只要行動臺開機且處於閒置狀態下,RR 會持續測量週遭信號品質,以決定是否需重新選擇細胞 [2]。當上層協定要求某項網路服務,或收到網路所發出的呼叫要求 (Paging Request) 時,RR 即負責建立一條與選定基地臺之間的無線通道,此通道稱為 RR 連結 (RR Connection)。RR 連結的建立、維護、與中斷均由 RR 協定負責。

當 RR 連結建立後，即進入所謂的連線模式 (Connected Mode)。在此模式下，為確保送收品質及降低干擾，RR 必須維持行動臺與基地台間的時間同步，並進行發射功率控制 (Power Control) 的工作。行動臺 RR 同時必須將目前所收到基地臺的訊號強度 (包含目前選定基地臺與鄰近基地臺) 回報給基地臺控制器。當線路品質降到一

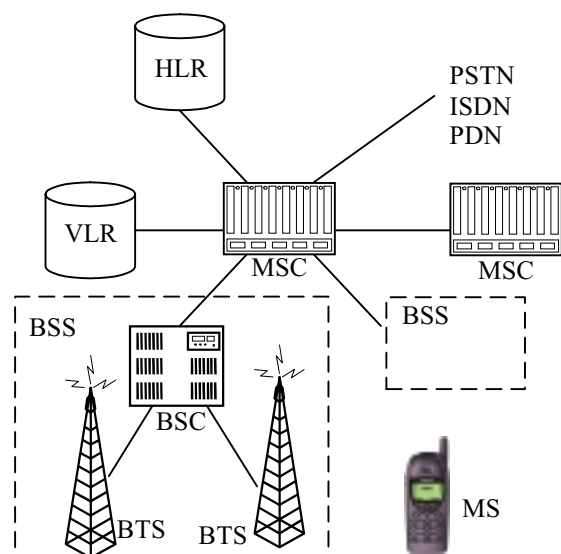


Figure 1: 典型的 GSM PLMN 架構

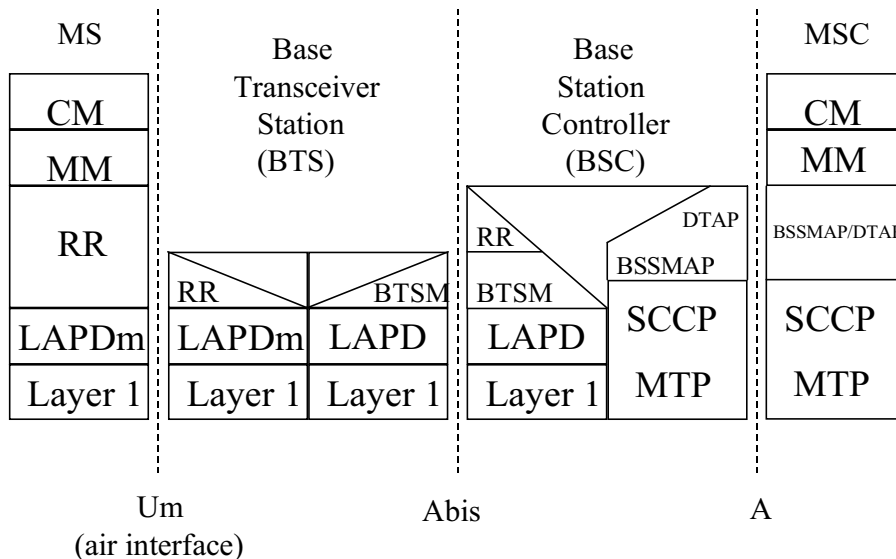


Figure 2: GSM 主要的控制信號協定結構

定程度時，基地臺會要求行動臺更換使用通道，這個動作稱為交遞 (Handover)。同時，為了降低多重路徑信號衰減 (Multipath Fading) 和同頻干擾 (Co-channel Interference) 對無線電波接收品質所帶來的負面效應，基地臺可指示行動臺依照一定的法則更換載波頻率 (Carrier Frequency)，這種動作稱為跳頻 (Frequency Hopping)。對行動臺而言，慢跳頻技術 (Slow Frequency Hopping) 可使信號品質不會因單一頻率干擾源的影響而顯著下降。

在 GSM 的標準文件中，有關 RR 通訊協定的相關規範已堪稱相當詳盡，目前亦有許多廠商已有成熟的產品在市面上販售，不過我們認為這方面的實作，仍有值得研究的空間。理由如下：

- 一、GSM 的標準文件雖然規範了 RR 通訊協定所應提供的服務，但並未說明應如何有效且快速的實現此服務。這點也是世界上各大通訊廠商可以展現其研發實力之處。舉例來說，當開啓行動臺電源之後，RR 層應儘可能快地進入閒置模式，以便當上層協定 (MM, CM) 要求建立連結以便傳送其協定資料單元 (Protocol Data Unit; PDU) 時，能夠在最短時間內達成此要求。可是 RR 層進入閒置模式前需先找到所謂的“合適細胞” (Suitable Cell)，而尋找合適細胞的某些條件，並非 RR 層所能掌握的。因此如何選擇一有效的細胞搜尋策略，使得 RR 層得以在只有部分資訊的情況下，仍能有效地達成其任務，就成為設計優劣的關鍵之處。GSM 的標準文件中，並沒有提供這方面的資訊。
- 二、由於 RR 層與實體層的關係密切，大部分研發廠商基於效能的考量，將此兩者合併在一模組內設計。我們覺得如此一來，雖然減少了層與層之間的介面負荷，但也喪失了通訊協定分層結構的優點。我們認為較為正規化的設計方式，是將 RR 層與實體層分開來，並以有限狀態機的運作模型來設計 RR 層。

本研究的目的，在嘗試以正規的設計方式，實作行動臺

端 RR 通訊協定 [13,14]。我們所採用的設計工具，是 ITU-T 所建議的規格描述語言 (Specification and Description Language; SDL)。

我們將在下一節介紹我們所設計的系統。第三節將探討 RR 層進入閒置模式前的細胞選擇策略。第四、五節分別介紹閒置模式與連線模式的設計。第六節總結本文。

## 2 RR 設計概觀

### 2.1 SDL

SDL 是 ITU-T 所建議的規格描述語言 [11]，它主要是建構在有限狀態機 (Finite State Machine) 的模型基礎上，並加入了必要的資料結構。新版的 SDL 並加入了物件導向的觀念。SDL 適合用來設計通訊協定及其他即時控制系統。

我們可用 SDL 來描述以樹狀階層架構起來的系統。整個系統由一至多個的區塊 (Block) 所組成；每個區塊又可切割成階層狀的子區塊 (Subblock)。區塊與子區塊只是整個系統的某個邏輯上的切割，它們並沒有真正的動態行為。在最底層的子區塊內含有一至數個的程序 (Process)。程序是擁有動態行為的有限狀態機。輸入特定的信號 (Signal) 時，程序會根據目前所處的狀態 (State) 及相關變數值，觸發執行特定的動作 (Task)。這些動作包含傳統程式語言中的算術與邏輯運算、決策與分支敘述、變數值的設定，以及設定計時器 (Timer) 的值、輸出信號、及轉移程序狀態等。區塊與區塊之間或者區塊與外界環境之間的信號交換，是透過通道 (Channel) 來達成的；程序與程序之間的信號流通管道則稱為路徑 (Route)。

SDL 有文字與圖表兩種表示方式，這兩種方式是可以互相轉換的。以下為了說明方便，我們就以圖表的表示方式為主。

### 2.2 系統要求

文獻上對於 RR 與實體層的工作區分並沒有很明確的規

範。我們的設計要求實體層提供下列的服務：

- 能夠測量並報告目前所接收的無線電波訊號強度
- 能夠判別 RR 所指定的某個載波頻率是否含有廣播通道 (Broadcast Control CHannel; BCCH) 的訊息；即判定某個載波頻率是否為 BCCH 的載送通道 (BCCH Carrier)
- 能夠應 RR 的要求將廣播通道的內容接收並輸出至 RR
- 根據 RR 所提供的目前呼叫通道 (Paging Channel; PCH) 的結構，接收所有應監聽的呼叫區塊，並將其內容輸出至 RR
- 根據 RR 的指示轉換載波頻率
- 於跳頻模式下運作時，會主動詢問 RR 某個碼框 (Frame) 的傳送載波頻率

我們的設計也要求 MM 層會以下列的方式運作：

- 每當有一個新的 PLMN 被選取時 [1]，無論是手動選取或是自動選取，MM 層會立刻將被選取的 PLMN 訊息通知 RR
- 當網路回應給行動臺特定的註冊回應訊息時，我們要求 MM 會以信號通知 RRKernel
- 當要知道目前環境中可用的 PLMN 有哪些時，MM 會以信號要求 RR 報告給它

## 2.3 RR 系統區塊

我們將系統切個為數個區塊，每一個區塊對應至一個通訊協定的實體 (Entity)，如 Figure 3 所示。由於我們關心的是 RR 層的动作，故只列出相關的實體，包移動管理層 (MM)、資料鏈路層 (DL)、以及實體層 (PHY)，其它連結管理子層的實體並未列入其中。Figure 3 中 C1 至 C5 為區塊間的通道名稱。通道中所傳送的信號以信號列示 (Signal List) 的名稱列在方括弧中。所謂信號列示即為一個信號集合的名稱。注意通道中信號的傳送具有方向性，其方向由箭頭標示出來。

以 SDL 實作通訊協定時，通道就相當於通訊協定層與層之間的服務擷取點 (Service Access Point)，而信號就

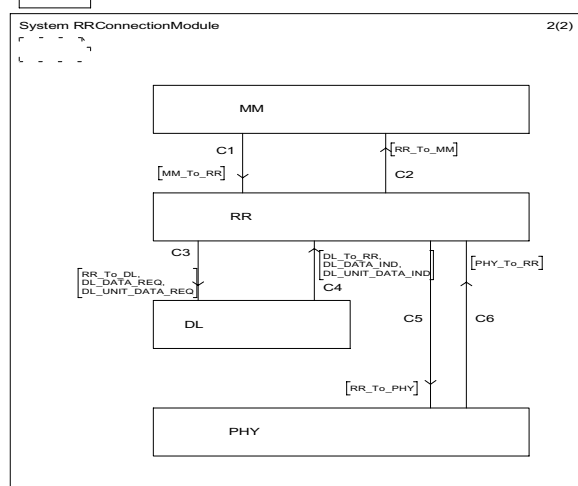


Figure 3: GSM 行動臺系統區塊圖

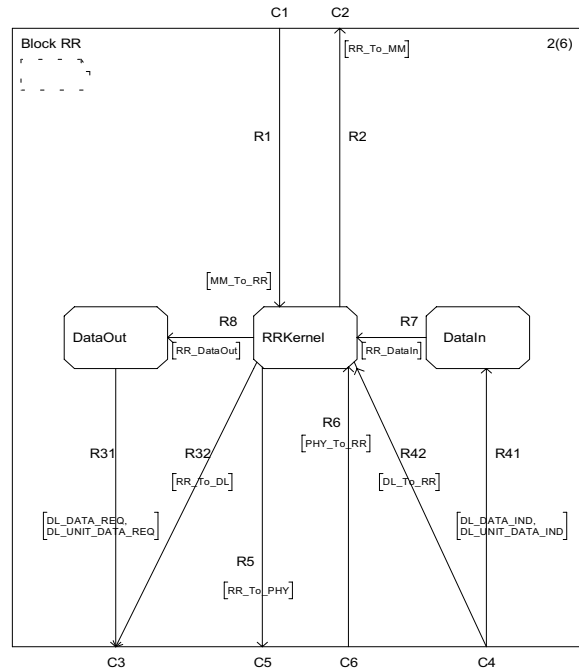


Figure 4: 我們所設計的 RR 系統區塊圖

相當於層與層之間溝通的原式 (Primitive)。圖中 C1 與 C2 通道為 RR 提供服務給 MM 層之用；C3 與 C4 主要為連線模式時請求 DL 傳送與接收 RR 協定資料單元之用；C5 為指示實體層傳送與接收無線電波時所需的各項參數；C6 為實體層報告 RR 其所測量到的電波強度等資訊，以及所監聽到的系統資訊之用。Figure 4 顯示了 RR 區塊的內容。我們可以看到此區塊內路徑 R1 與 R2 分別對應到通道 C1 與 C2；路徑 R5 與 R6 分別對應到通道 C5 與 C6。另外通道 C3 分成了 R31 和 R32 兩個路徑；通道 C4 分成了 R41 和 R42 兩個路徑。路徑 R7 和 R8 則是此區塊內部傳遞信號之用。

RR 區塊有 RRKernel, DataIn, 以及 DataOut 三個程序。DataIn 的功能主要是接收 DL 經由路徑 R41 所送來的協定資料單元，經解譯後以適當的信號由 R7 傳送給 RRKernel 作處理。有了 DataIn 的輔助，RRKernel 可以不必瞭解 RR 訊息的編碼格式，而可專注於核心的處理動作。DataOut 負責將 RRKernel 由路徑 R8 送出的信號編碼包裝成 peer 端可解譯的 PDU，委由 DL 送出。這樣子同樣可以簡化 RRKernel 的設計。

## 3. RR 開機程序

### 3.1 開機程序的意義與要求

行動臺電源開啓後，RR 層也開始啓動。它的首要目標是儘快地進入閒置模式，以滿足 CM, MM 或其本身所可能提出的連線要求。要進入閒置模式，意味著必須已經找到訊號強度最強的合適細胞，並持續接收此細胞基地臺所傳送的系統訊息及可能的呼叫要求。文獻上對所謂的“合適細胞”有很明確的定義，它必須同時滿足下列四個條件 [2]：

- 第一、它必須是屬於目前 MM 所選定的 PLMN 的細胞
- 第二、它必須是不被禁止 (barred) 的細胞

第三、此細胞所在的註冊區域 (Location Area; LA) 不屬於禁止漫遊註冊區域 (forbidden LAs for roaming) 的串列 (list) 中

第四、行動臺與此細胞基地臺之間的電波訊號衰減值不可大於該 PLMN 規定的極限值。

第一個條件我們暫且不談。細胞是否符合第二個條件，可由讀取該細胞 BCCH 資料得知。BCCH 的 System Information Type 1, Type 2, Type 2bis, Type 3 及 Type 4 訊息內皆含有 Cell Bar Quality 與 Cell Bar Access 兩個參數，由此兩參數值的組合即可判別該細胞是否為被禁止的。至於第三個條件，細胞所在的註冊區域是否屬於禁止漫遊的註冊區域，是必須待 RR 找到合適細胞後，由 MM 發出註冊要求給網路端，由網路端的回應訊息才可得知。如果網路端的回應訊息顯示這是一個禁止漫遊的註冊區域，則行動臺會將此註冊區域的識別碼 (Location Area Identification; LAI) 記錄在一個 “forbidden LAs for roaming” 的串列中。因此只要從 BCCH 中讀取該細胞的註冊區域識別碼 (存在於 System Information Type 3, Type 4 及 Type 6 訊息內)，即可判別該細胞是否符合第三項條件。第四項條件由實體層報告給 RR 的訊號強度資料，經計算後與 BCCH 中所廣播的極限值 (存在於 System Information Type 3 和 Type 4 訊息內) 比較即可得知。

唯一比較麻煩的是第一項條件。細胞所在基地臺所屬之 PLMN 識別碼可由其註冊區域識別碼中取得。行動臺開機後，MM 最初選定的 PLMN，一定是上次關機前所註冊的 PLMN [1]。這個 PLMN 的識別碼儲存在用戶識別卡 (Subscriber Identity Module; SIM) 中。如果行動臺設定了開機時需輸入個人識別碼 (Personal Identity Number; PIN) 方能正常使用，則在使用者輸入正確的個人識別碼前，儲存於用戶識別卡中的前次註冊的 PLMN 識別碼是無法被讀取的 [10]。這種情況下我們無從判別細胞所屬之 PLMN 是否是否即為選定的 PLMN。由於使用者輸入正確的個人識別碼所需的時間無法預測，因此何時可以得知 MM 選定的 PLMN 也變得無法預測。

### 3.2 細胞搜尋策略

我們希望電源開啓後，RR 就可以進行合適細胞的搜尋動作，而不必等到得知 MM 選定的 PLMN 後才開始。如此，一旦獲得了 MM 選定 PLMN 的資訊後，RR 就能夠在最短時間內找到並停佇在 (camp on) 訊號強度最強的合適細胞。

爲了確保我們所停佇的細胞，是所有合適細胞中訊號強度最強的，RR 首先請求實體層將所有 GSM 載波頻率的接收訊號強度值報告給 RR。RR 將所有載波頻率依接收訊號強度值由大至小排序後，依序一一詢問實體層該頻率是否為 BCCH 載送通道。實體層可藉由監聽此頻率是否載有頻率更正通道 (Frequency Correction Channel; FCCH) 和同步通道 (Synchronization Channel; SCH) 的資料來判別該頻率是否為 BCCH 載送通道。若不是，則 RR 會嘗試次強訊號的頻率；若是，則 RR 會要求實體層將從此頻率持續讀取 BCCH 資料，並傳送給 RR。

由於在未得知 MM 選定的 PLMN 之前，我們無法判定某個細胞是否為合適的，因此要讀取這個細胞多少資料，再去搜尋下一個可能的細胞，就成爲一件值得探討的事。很明顯的，如果在讀取某個細胞的 BCCH 資料時，

發現它並不滿足上節所述合適細胞四項條件中的任何一項，我們應該立即放棄對此細胞 BCCH 資料的讀取，繼續尋找其它可能的細胞。問題是，如果某個細胞滿足了後三項條件，而且知道了它所屬的 PLMN 識別碼，我們是否應該繼續對此細胞讀取更多的資料，還是應該中止讀取，繼續尋找其它可能的細胞？由上節的分析可知，只要讀取了 BCCH 中的 System Information Type 3 或 Type 4 訊息，我們即可判斷該細胞是否滿足了合適細胞的後三項條件，而且知道了它所屬的 PLMN 識別碼。一些其它的資訊，例如該基地臺細胞廣播通道 (Cell Broadcast Channel; CBCH) 的結構，以及屬於同一 PLMN 之鄰近細胞的 BCCH 載送通道等，雖然必須自其它的訊息中讀取，但是缺乏這些資訊並不妨礙我們對此細胞合適與否的判斷。

在細胞搜尋的過程中，一旦有了 MM 選定的 PLMN 資訊，則 RR 立即中斷目前的搜尋動作，並從已讀取 PLMN 識別碼的細胞中，依訊號強度由大至小的次序開始比對。一旦找到了符合的細胞，即輸出找到細胞的信號 (RR\_Camped\_IND) 給 MM。如果已讀取 PLMN 識別碼的細胞中，並沒有符合的合適細胞，則我們繼續剛才中斷的細胞搜尋動作。此後搜尋過程中，如果找到 BCCH 載送通道，我們皆可判定是否為一合適細胞。如果搜尋過一定數目的載波頻率後，仍未能找到任何的合適細胞，RRKernel 也會輸出對應的信號給 MM，並且進入所謂的有限服務 (Limited service) 狀態。這一部份我們將在下一節說明。

搜尋過程中所有讀取到的資訊，均建立表格記錄起來。這樣做的好處是可節省再次搜尋或讀取同一載波頻率的時間。舉例來說，假設目前 MM 選定的 PLMN 為 PLMN A。如果我們搜尋的結果，並沒有任何屬於 PLMN A 的合適細胞存在，當我們回應給 MM 這樣的信號後，MM 很可能選定另外一個 PLMN，比如說 PLMN B。因為我們在搜尋 PLMN A 細胞的時候，已經記錄了每個載波頻率是否為 BCCH 載送通道，以及 (如果是的話) 是屬於哪一個 PLMN，所以我們要尋找屬於 PLMN B 的合適細胞時，就不必重新搜尋 BCCH 載送通道，而只要進行簡單的表格搜尋動作即可。這樣做的缺點，是我們記錄的值無法即時反映週遭環境的變化。如果我們正在高速的交通工具上進行細胞搜尋，所找到的合適細胞也許就不是訊號強度最強的。

所有的系統訊息在 BCCH 中的傳送次序，都遵照一定的排程 (Scheduling) 規則。例如 System Information Type 3 訊息一定是在碼框號碼除以 51 再取 8 的模數 (modulo 8) 值為 2 及 6 時方才傳送 [7]。行動臺因此可以預先估計基地臺傳送特定訊息的時間。一個較為複雜的設計可利用等待特定系統訊息的空檔，轉換到其它的載波頻率進行細胞搜尋動作。不過爲了簡化我們的設計，我們並沒有採行這樣的策略。

### 3.3 有限服務狀態

如上一節所述，當 RR 無法找到某個選定 PLMN 的合適細胞時，它就進入了所謂的有限服務狀態。在此狀態中，RR 會設法找到並停佇在一個訊號強度最強的可接受細胞 (Acceptable Cell)。所謂可接受細胞，只要滿足合適細胞四條件中的第二與第四個條件即可。雖然在此狀態下，使用者無法獲得正常的電訊服務，但是可以撥出緊急電話 (Emergency Call) [2]。在有限服務狀態下，一旦

Table I: BCCH 通道傳送系統訊息的排程

多碼框號碼取 8 的模數之值	0	1	2	3	4	5	6	7
傳送的系統訊息	其它	其它	Type 3	Type 4	其它	其它	Type 3	Type 4

得知 MM 選定的 PLMN 時，RRKernel 將自動執行正常的合適細胞搜尋動作。如果 RR 是在已沒有可用的 (Available) 及允用的 (Allowable) PLMN [1] 的情形下進入有限服務狀態，則 MM 會定時請求 RR 尋找目前環境中所有可得的 PLMN，將之列表並傳給 MM。MM 可據此資訊進行自動或手動的 PLMN 選擇程序，並將選定的 PLMN 通知 RR。

另外尚有數種情況會使得 RR 進入有限服務狀態。例如使用者未插入用戶識別卡，或是行動臺向網路註冊時，網路回應了特定的訊息。我們並不假設當使用者未插入用戶識別卡時，會有其它的模組以特定信號通知 RRKernel；我們只設計當 RRKernel 搜尋完所有的載波頻率，仍然沒有 MM 選定的 PLMN 資訊時，即進入有限服務狀態。另外當註冊時，如網路回應給行動臺特定訊息，MM 會以信號通知 RRKernel，使其進入有限服務狀態。

#### 4. 閒置模式的設計

當 RR 選擇了一個合適或可接受細胞後，即進入了所謂的閒置模式。在此模式下，RR 會請求實體層定時報告所停佇細胞以及其鄰近六個信號強度最強的細胞的訊號強度，RR 可據此資訊決定是否需重新選擇停佇細胞。同時，RR 會檢視實體層從呼叫通道讀取的資料，以判別系統是否對此行動臺發出呼叫請求。RR 亦會應 MM 的請求，尋找目前環境中所有可得的 PLMN，將之列表並傳給 MM。

##### 4.1 細胞重新選擇

於考慮是否重新選擇停佇細胞時，最重要的兩個參數值為 C1 與 C2。GSM 標準文件中規定，至少需在 5 秒內將目前停佇細胞與週遭六個鄰近細胞的 C1 與 C2 值重新計算一遍 [8]。由於計算 C1 與 C2 值時，須參考到 System Information Type 3 或 4 訊息中所載的參數，因此我們所採行的設計方式，即是每次讀取 System Information Type 3 或 Type 4 訊息時，亦同時更新 C1 與 C2 之值。這種做法是否符合 GSM 標準文件中的規定呢？下列數據可由 GSM 的標準文件中得到：

- 每個多碼框 (Multiframe) 中只傳送一個系統訊息。
- 每個多碼框的傳送時間約為 235.4 微秒。
- 接收完整的一個 Type 3 或 Type 4 系統訊息需要 4 個碼框的時間（約為 18.46 微秒）。
- 每 8 個多碼框中，會傳送兩次 System Information Type 3 訊息與兩次 System Information Type 4 訊息 [7]，其排程如 Table I 所示。

在最佳的情況下，我們接收完某個細胞的 Type 3 或 Type 4 系統訊息後，轉換至另一個細胞的 BCCH 載送通道，即可立即接收該細胞的 Type 3 或 Type 4 系統訊息。這種情況下，C1 與 C2 值的更新動作一定可於 5 秒內完成。

最差的情況出現在當接收完某個細胞的 Type 3 或 Type 4 系統訊息後，轉換至另一個細胞的 BCCH 載送通道時，該細胞正好已經傳送完 Type 4 系統訊息，因此需要再等待三個多碼框來讀取系統訊息。這種情況下，更新一個細胞的 C1 與 C2 值需耗費三個多碼框的時間，故更新全部七個細胞的 C1 與 C2 值約需  $7 \times 3 \times 234.5 = 4943.4$  微秒，沒有超過 5 秒鐘的規定。

有了 C1 與 C2 的值，RR 檢視下列任一條件是否成立，以決定是否進行細胞重新選擇的動作 [8]：

- 目前停佇細胞的 C1 值已有超過 5 秒鐘以上的時間為降到 0 以下
- 最近 15 秒內未曾重新選擇細胞，且存在某鄰近細胞與目前停佇細胞屬同一註冊區域，其 C2 值超出停佇細胞的 C2 值達 5 秒鐘以上
- 最近 15 秒內未曾重新選擇細胞，且存在某鄰近細胞與目前停佇細胞非屬同一註冊區域，其 C2 值超出停佇細胞的 C2 值加上 Cell-Reselect-Hysteresis（載於 Type 3 系統訊息中）值達 5 秒鐘以上

設計上我們採用計時器來觸發重新選擇細胞的動作。例如，當我們重新計算目前停佇細胞的 C1 參數，發現其值小於 0 時，即將一計時器的值設為 5 秒並啟動之。如果下次計算 C1 參數時發現其值大於 0，即將此計時器停止。如果此計時器發出逾時 (Time Out) 信號，則 RR 進行細胞重新選擇的動作。

其它的事件亦可能造成 RR 重新選擇細胞，例如對呼叫通道資料的解碼錯誤率過高 [2,8]、接收的系統訊息顯示目前停佇細胞已變成被禁止 (barred) 的細胞、對網路發出的通道請求 (Channel Request) 訊息次數超過了系統的規定值卻仍未成功獲得通道、或者從連線模式返回閒置模式等。

##### 4.2 監聽呼叫通道

RR 在閒置模式的另一個重要任務是監聽呼叫通道的資料。除某些特殊狀況外，行動臺無須持續讀取呼叫通道的資料，只需在特定時間讀取即可。要明瞭何時方需讀取呼叫通道的資料，RR 需要從 BCCH 讀取系統訊息，並進行一些計算。系統的呼叫資料是以呼叫區塊 (Paging Block) 為最小訊息單位廣播出去的。我們可以由 BS\_CCCH\_SDCCH\_COMB 和 BS\_AG\_BLK\_RES 這二個參數計算得知一個實體通道 (Physical Channel) 的一個多碼框中含有多少個呼叫區塊，以及這些區塊將被廣播出來的時間（以碼框號碼為單位）。參數 BS\_CC\_CHAN 的值指示 BCCH 載波頻率中有多少個實體通道載送呼叫區塊；BS\_PA\_MFRMS 指示對應同一行動臺的呼叫區塊為間隔多少個多碼框後方重複出現。根據這幾個參數的值以及行動臺的使用者識別碼 (IMSI)，RR 可以算出應於哪個碼框號碼至哪個實體通道中讀取呼叫區塊的內容。

設計上我們先由 RRKernel 計算出下次需讀取呼叫區塊內容的碼框號碼，然後設定計時器，使其在到達該碼框

號碼之前發出逾時信號。此信號將驅使 RRKernel 輸出信號請求實體層轉換至正確之實體通道並讀取呼叫區塊內容。當實體層將讀取之呼叫區塊內容以信號送回給 RR 後，DataIn 即解釋其內容，檢視是否為呼叫此行動臺的呼叫訊息。

### 4.3 搜尋可得的 PLMN

MM 於選定 PLMN 的過程中，可能要求 RR 將目前週遭環境中可測出訊號的 PLMN 全部找出來，隨同其訊號強度值傳回給 MM（取屬於該 PLMN 細胞中訊號最強之值）。在我們的設計中，RRKernel 可以利用細胞搜尋過程中所建立之表格，取得 MM 所要的資訊。

## 5. 連線模式的設計

當 RR 於閒置模式中，收到 MM, CM, 或 RR 本身要求建立 RR 連結的信號時，RR 即嘗試進入連線模式。進入連線模式後，行動臺 RR 實體可能因收到系統的命令訊息，而執行特定的程序 (Procedure)。這些程序包括了通道配置 (Channel Assignment) 程序、交遞程序、頻率重定義 (Frequency Redefinition) 程序、變更通道模式 (Channel Mode Modify) 程序、加密模式設定 (Ciphering Mode Setting) 程序、額外配置 (Additional Assignment) 程序、部分通道釋放 (Partial Channel Release) 程序、類別變更 (Classmark Change) 程序、以及通道釋放 (Channel Release) 程序。所有的程序皆由網路端送出相關的訊息而發起，但類別變更程序亦可由行動臺主動發起。這些程序的設計皆將於本節中討論。

### 5.1 進入連線模式

RR 嘗試進入連線模式的第一個步驟是對網路送出通道請求訊息 (Channel Request) 訊息。為了避免可能的碰撞，RR 首先等待一段以亂數決定的時間後，再送出它的第一個通道請求訊息。訊息中載明了行動臺要求通道的原因以及一個隨機產生的亂數參考值 (Random Reference)。送出此訊息後，RR 即進入等待配置狀態 (Assignment Pending State)。於此狀態中，RR 會持續送出通道請求訊息，每個訊息之間的時間間隔為隨機決定。這個動作一直持續到收到網路的立即配置 (Immediate Assignment) 回應訊息，或者送出的通道請求訊息次數到達上限 [6]，方才停止。前者表示網路可能已配置信號通道給予行動臺，RR 接下來要進行衝撞化解 (Contention Resolution) 的程序。在後者的情形下，RR 需再等待一段時間，確定系統未對最後一次的通道請求訊息作出回應，方可回到閒置狀態。計時器 T3126 用來實現這一段必要的等待時間。

由於通道請求訊息中並未附帶行動臺的任何識別資料，RR 該如何判斷某個立即配置訊息是回應給該行動臺的呢？在立即配置訊息中，會載明對應該訊息的通道請求訊息中的亂數參考值，以及該通道請求訊息被基地臺收到的時間（以碼框號碼表示）。因此我們得到兩個結論：第一，每當我們產生一個通道請求訊息時，應將其亂數參考值記錄下來；第二，通道請求訊息被送出時的碼框號碼應亦被記錄下來。由於 RR 層並不維護碼框號碼資訊，只有實體層是與目前細胞基地臺的系統時脈同步的，所以請求訊息被送出時的碼框號碼，被設計成由實

體層實際送出訊息後，再以信號通知 RR 層將其記錄起來。這一點是比較特別之處。

當我們比較收到的立即配置訊息與送出的通道請求訊息，發現兩者相符時，仍無法百分之百確定系統已應允配置通道給我們，這是因為有可能兩部或兩部以上的行動臺產生相同的亂數參考值，並在同一碼框送出其通道請求訊息。衝撞化解程序即為解決這種問題的方法。當行動臺受到對應其通道請求之立即配置訊息後，會以信號通知實體層轉換至指定的通道，再要求資料鏈路層送出 SABM 碼框 [3,4] 請求建立資料連結。SABM 碼框中將帶著要求建立此 RR 連結的實體所要送出的第一個訊息，它可能是 MM 層的位置變更 (Location Update) 訊息、CM 層的呼叫建立 (Call Setup) 訊息，或者是 RR 本身的呼叫回應 (Paging Response) 訊息。網路端收到 SABM 碼框後，其資料鏈路層送出的 UA 回應碼框中，會帶著與應允配置通道之行動臺所送出 SABM 碼框中相同的內容。因此比較收到的 UA 回應碼框中，是否有與先前送出 SABM 碼框中相同的內容，行動臺可以確認系統先前送出之立即配置訊息是否無誤。

衝撞化解程序設計上的重點，是第三層或 RR 本身請求建立 RR 連結的信號 (RR\_ESTB\_REQ) 中，需有參數帶入連結建立後第一個欲送出訊息的內容。當收到網路端資料鏈路層的 UA 回應碼框，RR 僅比較其內容是否與先前送出之 SABM 碼框中的內容相同，而不解譯其內容，亦不將其內容傳至其上層。

### 5.2 通道配置程序的設計

當行動臺收到通道配置訊息時，表示網路配置一個新的通道給行動臺。行動臺應先將目前使用中的通道描述 (Channel Description) 資訊暫存起來，然後以信號 DL\_SUSPEND\_REQ 要求資料鏈路層暫停傳送其它第三層 (MM, CM) 的訊息，再以信號 DL\_REL\_REQ 釋放資料鏈路層目前所建立的連結。獲得資料鏈路層的確認信號 DL\_REL\_CNF 後，RRKernel 以信號 MPH\_ARFCNSW\_REQ 要求實體層切換至新配置的通道，並以信號 MPH\_CHMOD\_REQ 告知實體層新配置通道的模式。如有必要，RRKernel 亦會以信號 MPH\_CIPH\_MD\_REQ 告知實體層新配置通道的加密方式。之後，RRKernel 會以信號 DL\_RESUME\_REQ 要求資料鏈路層重新建立連結並恢復傳送第三層的訊息。最後，在獲得資料鏈路層的確認信號 DL\_RESUME\_CNF 後，RRKernel 以信號 CH\_ASN\_CPT\_REQ 使 DataOut 傳送通道配置完成 (Channel Assignment Complete) 訊息給網路端。

如果在上述程序完成之前，新配置的通道發生了低層失效 (Low Layer Failure)，RRKernel 應回復之前暫存的通道描述資訊，以信號 MPH\_ARFCNSW\_REQ 要求實體層切換回先配置的通道，再以 DL\_RECON\_REQ 要求資料鏈路層重新建立連結。最後，在獲得資料鏈路層的確認信號 DL\_RECON\_CNF 後，RRKernel 以信號 CH\_ASN\_FAIL\_REQ 使 DataOut 傳送通道配置失敗 (Channel Assignment Failure) 訊息給網路端。

通道配置訊息中對於新配置通道的通道描述，可能附帶一個時間參考值，表示此通道描述為某個時間之後方才生效。通道配置訊息中也可能有另一組的通道描述資訊，為上述參考時間之前方才有效的。通道的通道描述



資訊，包括有跳頻模式下運作時，計算載波頻率值所需的參數。在 GSM 的跳頻機制下，每一個碼框的載波頻率皆會改變。計算載波頻率值時，碼框號碼亦為所需的參數之一。前面我們曾經提過，RR 層並不維護碼框號碼資訊，只有實體層知道目前的碼框號碼。因此基於效能的考量，RR 層於通道配置訊息或其他訊息中獲得通道描述資訊並予以解譯後，應傳送給實體層。計算某個碼框的載波頻率，也應由實體層執行。不過我們並沒有採行這樣的設計。因為我們設計的目標之一，是對實體層的服務要求越少越好。除了必要的功能外，我們不希望實體層的設計太複雜。因此我們所採行的設計，是由實體層提出某個碼框號碼，而由 RR 來計算其載波頻率。

這樣的設計很容易引發一個疑問：實體層可否一次提出多個碼框號碼的頻率計算要求，以減少與 RR 間信號傳遞的次數？我們研究的結果是不可以。因為系統有可能藉由相同或不同的訊息，再度對行動臺送出新的通道描述資訊。新的通道描述資訊將在指定時間後取代原有的通道描述資訊。如果我們已經用原有的通道描述資訊計算出後續碼框的傳送頻率並傳送給實體層，實體層就會在錯誤的頻率上發送訊號。因此實體層提出的頻率計算請求，只能以一個碼框為單位，並且必須是目前的碼框號碼。

### 5.3 交遞與其它程序的設計

行動臺收到交遞命令 (Handover Command) 訊息後，即執行交遞程序。交遞命令訊息與通道配置命令訊息基本上擁有相同的內容，因此處理這兩個訊息的程序也就相當類似。唯一不同之處，就是交遞命令訊息多附帶了行動臺對新基地臺的時間前置量 (Timing Advance) 資訊。所謂時間前置量，就是基地臺指示行動臺下次傳送訊息時，應提前多少時間量，才不會造成時槽的偏移。一般狀況下，取得時間前置量並沒有太大的問題，但是當系統對行動臺進行交遞動作時，如何正確取得行動臺對新基地臺的時間前置量，就成為一個議題。依照新時間前置量的取得方式，交遞程序可以分為四類，即精確同步交遞 (Finely Synchronized Handover)、非同步交遞 (Non-synchronized Handover)、虛擬同步交遞 (Pseudo-synchronized Handover)、以及預先同步交遞 (Pre-synchronized Handover) [6]。前三種方式皆要求行動臺擁有度量兩基地臺系統時間差的能力，後一種方式則是由原基地臺負責提供對新基地臺的時間前置量。

設計上因為交遞命令中會指定交遞程序的類別，因此計算新的時間前置量並不會有太大的問題。唯一比較特別的是在非同步交遞方式中，當實體層切換到新基地臺配置的通道後，RR 需指示實體層連續送出 Physical Information 訊息，以利新基地計算時間前置量。另外，如同通道配置程序一般，當切換到新基地臺配置的通道前，應先將原基地臺通道描述資訊暫存起來。這是為了當新基地臺配置的通道發生實體上的問題時，可以轉換回原基地臺的原通道，並送出 Handover Failure 訊息。交遞命令訊息所帶的通道描述資訊的作用時機，則與通

道配置程序中所規定的相同。

其它連線模式的程序設計，基本上都很簡單。只要運用 SDL 提供的計時器、變數與其它機制，就不難設計出來。

### 5.4 結論與未來展望

我們以 SDL 設計並實作了 GSM 手機端 RR 通訊協定。我們的設計，將 RR 層與實體層切割開來，使得後者的複雜度減至最低。我們設計的細胞選擇策略，可以在資訊不足的狀況下運作。另外，我們分別探討了 RR 層在閒置與連線模式中的設計。所有設計的細節可以參閱 [13,14]。

RR 通訊協定的測試規範詳見 [9]。由於大部分的測試，皆須由實體層與 RR 共同合作方得以完成，而我們並沒有實作實體層的部分，故我們並沒有實際對我們的設計進行測試的工作。未來我們計劃以 SDL 建立虛擬的實體層，使得我們仍可以進行部分的測試工作。

本文係國科會補助研究計畫成果〈計畫編號 NSC 88-2218-E-216-007〉

### 參考文獻

- [1] ETSI, GSM 02.11, "Service accessibility", March 1996.
- [2] ETSI, GSM 03.22, "Functions related to Mobile Station (MS) in idle mode", March 1996.
- [3] ETSI, GSM 04.05, "Data Link (DL) layer: General aspects", April 1997.
- [4] ETSI, GSM 04.06, "Mobile Station - Base Station System (MS - BSS) interface: Data Link (DL) layer specification", September 1994.
- [5] ETSI, GSM 04.07, "Mobile radio interface signalling layer 3: General aspects", February 1995.
- [6] ETSI, GSM 04.08, "Mobile radio interface layer 3 specification", August 1997.
- [7] ETSI, GSM 05.02, "Multiplexing and multiple access on the radio path", July 1997.
- [8] ETSI, GSM 05.08, "Radio subsystem link control", July 1997.
- [9] ETSI, GSM 11.10, "Mobile Station (MS) conformance specification", August 1997.
- [10] ETSI, GSM 11.11, "Specification of the Subscriber Identity Module - Mobile Equipment (SIM - ME) interface", August 1997.
- [11] ITU-T Recommendation Z.100, "Specification and Description Language SDL."
- [12] M. Mouly and M.-B. Pautet, "The GSM system for mobile communications", Palaiseau, France, 1992.
- [13] 張耀仁, "GSM 無線資源管理連線模式實作之研究", 碩士論文, 中華大學電機工程學系, 民 88 年 7 月.
- [14] 邱英彥, "GSM 無線資源管理閒置模式實作之研究", 碩士論文, 中華大學電機工程學系, 民 88 年 7 月.