

GPRS/UMTS 網路之智慧型 GGSN 分派演算法

AN INTELLIGENT GGSN DISPATCHING ALGORITHM FOR GPRS/UMTS NETWORKS

塗冠驊 顏在賢* 沈怡瑄
林風** 傅立成†

Guan-Hua Tu Chai-Hien Gan* Yi-Shiuan Shen Phone Lin** Li-Chen Fu†

*博士候選人 **助理教授 †教授
國立台灣大學資訊工程系

*Ph.D. candidate **Assistant Professor †Professor

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

Abstract

In General Packet Radio Service (GPRS) and Universal Mobile Telecommunication System (UMTS) networks, each service (e.g., VOIP, WAP) is referred to as Access Point Name (APN). Before accessing a service, the Mobile Station (MS) has to perform PDP context activation procedure [1] to activate PDP contexts to the Serving GPRS Support Node (SGSN) and a specific Gateway GPRS Support Node (GGSN), which can support the service. The PDP context is used by GGSN to tunnel the packets of the attached MS to the corresponding SGSN or to external data network. To find a suitable GGSN to serve the mobile user, the MS has to indicate the APN to the SGSN when PDP context activation procedure is initiated. By this APN, SGSN can query the Domain Name Server (DNS) for an inventory recording suitable GGSNs' addresses. Then, SGSN chooses a GGSN from the inventory in sequence and issues a request of activating a PDP context. If the GGSN does not accept the request, the SGSN has to choose another GGSN until the inventory is exhausted. In this paper, we propose an Intelligent GGSN Dispatching Algorithm (IGDA) to generate a scheduled inventory for SGSN to choose the most suitable GGSN for the MS. Our study indicates that the IGDA mechanism could significantly reduce the number of signaling messages, which are initializing a service.

Keywords: APN, GGSN, PDP context, UMTS.

摘要

在整合封包無線電服務 (General Packet Radio Service, GPRS) 及通用行動通訊服務 (Universal Mobile Telecommunication system, UMTS) 中,任一種網路應用 (例如 VoIP 或 WAP 等) 皆對應到各自的存取點名稱 (Access Point Name, APN)。在啟動一個網路應用之前,無線裝置 (Mobile Station, MS) 必須在其所服務的 GPRS 支援節點 (Serving GPRS Support Node, SGSN) 及一可提供該服務的 GPRS 閘道支援節點 (Gateway GPRS Support Node, GGSN) 之間啟動 PDP context 建立程序 (PDP context Activation Procedure)。在此, PDP context 為在 GPRS/UMTS 內部網路中繞送封包時所需的路由資訊。當啟動 PDP context 建立程序時, SGSN 會依照 MS 所啟動的服務,來選擇一適當的 APN 來服務使用者,再尋找一個合適的 GGSN 服務該使用者。根據所對應的 APN, SGSN 可以查詢網域名稱伺服器 (Domain Name Server, DNS), 以提供一組合適的 GGSN 位址。SGSN 則選擇一個 GGSN 以開始建立 PDP context。若該 GGSN 不接受其建立 PDP context 之請求,則 SGSN 會繼續選擇其它 GGSN。如此一來有可能造成了網路產生許多不必要的訊息及增加額外的等待時間。在本文中,我們將提供一個智慧型之 GGSN 分派演算法 (Intelligent GGSN Dispatching Algorithm, IGDA), 以排程 GGSN 供 SGSN 作選取。在此研究所提供的結果中, IGDA 可以很明顯的減少在啟動 PDP context 建立程序之訊息的傳送次數, 以提供較好的系統效能。

關鍵詞: APN、GGSN、PDP context、UMTS。

1. 簡介

通用行動通訊服務 (Universal Mobile Telecommunication System, UMTS) [1] 是由整合封包

無線電服務及 (General Packet Radio Service, GPRS) [1] 所演進的第三代行動通訊系統, 可提供使用者各種不同的多媒體服務 [2-4]。UMTS 之架構如圖 1 所示, 其中封包交換服務由 GPRS 支援節

點 (Serving GPRS Support Node, SGSN) 所提供，其中 SGSN 連接了 UMTS 無線電存取網路 (Terrestrial Radio Access Network, UTRAN) 以提供繞送使用者封包的能力。而 GPRS 閘道支援節點 (Gateway GPRS Support Node, GGSN) 的主要功能是提供路由器 (Router) 以及做為與 GPRS 內部網路之閘道器的功能：如繞路 (Routing)，計算封包數等。當 MS 要存取一個外部網路的特定服務時 (例如 VoIP 或 WAP 等)，GPRS 網路會先執行 PDP context 啟動程序，而分別在 GGSN 及 SGSN 中建立 PDP context 作為繞送封包的路由資訊。其中，在 SGSN 的 PDP context 是用來提供在 MS 及 GGSN 之間的封包繞路資訊，而在 GGSN 的 PDP context 則是提供將內部 (包含 MS 及對應的 SGSN) 的封包傳送到外部網路或將外部網路的封包資料傳送到內部。在 UMTS 中，每一個服務皆對應到一個存取點名稱 (Access Point Name, APN)，而 GGSN 則會提供其可以支援的 APN 類別。在存取一個服務之前，MS 會啟動一個 PDP context 建立程序 (PDP context Activation Procedure)，分別在 SGSN 及 GGSN 產生一 PDP context 以提供封包的繞送資訊。在此程序中，MS 會將其要存取服務的對應 APN 及相關 QoS 描述傳送到 SGSN，當 SGSN 接收 MS 要求的 APN 內容時，SGSN 會查詢網域名稱伺服器 (Domain Name Server, DNS)，以取得可提供此服務的一組 GGSN。SGSN 可以由此組 GGSN 中選擇一個 GGSN 以建立 PDP context。若所選的 GGSN 不接受此要求時 (例如資源不足等因素)，則 GGSN 則選擇另一 GGSN 以要求建立 PDP context，直到有一台接受為止。在最差的狀況下，SGSN 必需找完所有的 SGSN 才可以發現沒有符合的 GGSN，因此，會有許多重複訊息及等待時間產生，這將會造成系統效能的下降。

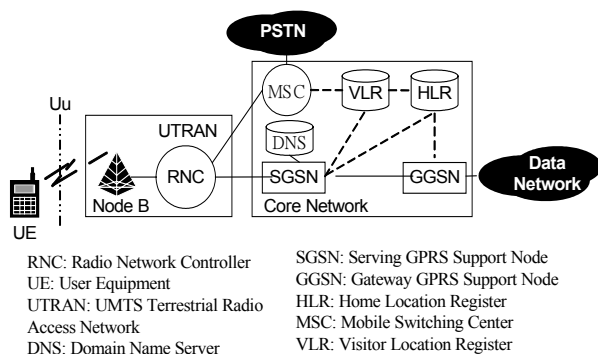


圖 1 GPRS/UMTS 網路架構
Fig. 1 GPRS/UMTS system architecture

本論文將提供一個新的 GGSN 分派演算法，可使得系統在 MS 要求啟動 PDP context 建立程序時，大量的減少相關訊息的產生及服務的阻斷率。在接下來的章節中，我們將在第二章節介紹動機及問題定義，第三章節則描述所提出的智慧型之 GGSN 分派演算法 (Intelligent GGSN Dispatching Algorithm, IGDA)，在第四章節，我們提供一個模擬實驗以驗證使用 IGDA 之系統的效能，最後，我們在第五章節提供一結論。

2. 動機及問題定義

在 GPRS/UMTS 網路，GGSN 主要的是提供連接 GPRS 網路與外部網路之間路由器的功能，包含一般位址對應，封包繞送，以及封包計算等功能。而 GGSN 的邏輯名稱則是根據其所支援的 APN 來命名，即其邏輯名稱代表此 GGSN 所支援的特定服務，例如，一個邏輯名稱為「voip_ggsn1」的 GGSN 表示其支援 IP 語音 (Voice Over IP) 的服務。利用此命名機制，SGSN 可以經由 DNS 很快的找到支援某一 APN 的 GGSN 來提供服務給 MS。在不同服務中，其傳輸流量皆不相同，故不可能將所有的服務經由單一的 GGSN 來提供。因此，比較合理的方式是每台的 GGSN 只提供某一些 APN 的服務。根據 GPRS/UMTS 的規格 [1]，在 MS 成功的啟動 PDP context 建立程序之後，會有一台固定的 GGSN 被指定來服務此 MS，圖 2 為 PDP context 建立程序的流程，各步驟之描述如下：

步驟一：MS 傳送一個啟動 PDP context 建立要求的訊息 (包含 APN, QoS Profile) 給 SGSN。

步驟二：SGSN 傳送一個 DNS-query (APN) 的訊息至 DNS。

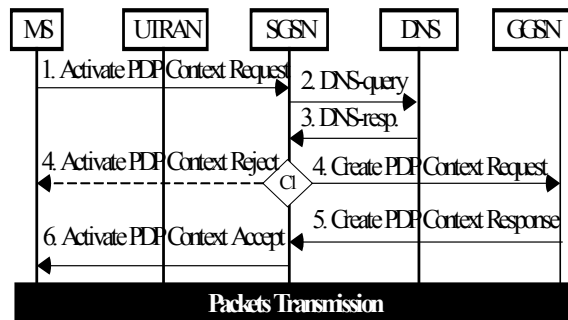


圖 2 PDP context 建立程序流程
Fig. 2 PDP context activation OProcedure

步驟三：當 DNS 收到 DNS-query 的訊息後，查詢本身的 GGSN 記錄，將支援該 APN 服務的所有 GGSN 記錄傳送給 SGSN。

步驟四：當 SGSN 接收到由 DNS 回覆的訊息 DNS-resp，SGSN 則檢查回覆的資料是否有 GGSN 的記錄，若存在 GGSN 的記錄，則 SGSN 選擇一個 GGSN，且傳送一個 Create PDP context Request (APN, QoS Profile) 的訊息給選定的 GGSN。若回覆的資料沒有 GGSN 的記錄，則傳送 Activate PDP context Reject 的訊息給 MS，告知它沒有可提供此 APN 服務的 GGSN 存在。

步驟五：當 GGSN 收到 Create PDP context Request (APN, QoS Profile) 的訊息，依照目前系統的狀況，決定是否要接受或拒絕此要求。若 GGSN 接受此要求，則產生一新的 PDP context，否則，不產生任何 PDP context。最後，GGSN 回應一個 Create PDP context Response 的訊息及其決定 (接受與否) 給 SGSN。

步驟六：當 SGSN 接收到 Create PDP context Response 訊息時，檢查請求是否被接受，若是，則 SGSN 傳送一 Activate PDP context Accept 給 MS 並且開始將資料封包傳送 (或接收) 至 MS 及傳送 (或接收) 至外部網路。若是 GGSN 沒有接受請求，則依照以下兩狀況處理：

1. 若所有步驟四的 GGSN 皆已被請求且拒絕，則回應 PDP context Activation Reject 訊息給 MS，拒絕此 MS 建立 PDP context；
2. 若還有其它未請求之 GGSN，則依步驟四將 Create PDP context Response 送給下一個 GGSN。

在 PDP context 建立程序成功的完成後，則在整個連線的過程中，提供服務的 GGSN 將不會被更換，直到整個連線終止才被釋放。在先前的研究中 [5]，提出一個改進的 GGSN，可提供正在被服務的 MS 重新導至一個新的 GGSN，使得在 GGSN 超載下其服務仍可不被中斷。為了到此目標，在 SGSN 及 GGSN 兩端皆需更改以到此重新導向的功能 [5]。且在此重新導向的功能中，為了到此重新導向的目標，可能產生更多的訊息，這將導至系統效能明顯的降低。此外，為了保持目前正在運作的系統

穩定，系統業者不太可能大幅的更動系統。因此，一個較低更動成本的 GGSN 分派演算法較可能被接受，我們提供一個以服務為基礎的 GGSN 分派演算法，只需要少許的系統更動，則可提供系統負載平衡，低阻斷率及減少 PDP context 建立訊息數量的演算法。

3. 智慧型之 GGSN 分派演算法

經由標準 PDP context 啟動程序可得知，若 GGSN 不能夠滿足 MS 要求之 QoS 需求 (描述於 QoS Profile) 時，則此要求將會被拒絕。接著，SGSN 將會再選擇其它的 GGSN 以繼續 PDP context 啟動程序，直到有一個要求被接受為止。這樣的流程，會造成在服務啟動時產生許多的訊息。在本文中，我們提出了一個智慧型之 GGSN 分派演算法 (IGDA) 來改進標準 PDP context 啟動程序，使得 SGSN 可以先請求最適當的 GGSN，以減少重新請求的機會及減少不必要的訊息。在我們所提出的改進之 PDP context 啟動程序，當 DNS 端收到查詢訊息時，並不立即將符合的一組 GGSN 回傳給 SGSN，而是將 GGSN 經處理及重新排序後再回傳。此外，為了不改變現有的 GPRS/UMTS 網路之架構，我們增加了兩個額外的網路節點：截取器 (Extractor) 及排程器 (Scheduler)。其架構如圖 3 所示，其中截取器負責截取經由 SGSN 至 GGSN 的連線 (即 GTP 連線 [11]) 及在 GGSN 至外部網路 (例如 IP 網路或 X.25 連線)。對於這些訊息，截取器收集各 GGSN 的統計資料 (例如資源配置，目前使用者數等)，儲存於本身的資料庫中。舉例來說，截取器可經由檢查 Create PDP context Response 訊息內的 Cause 欄位 [11] 而知道 Create PDP context Request 訊息是否被接受。此外，排程器為另一新

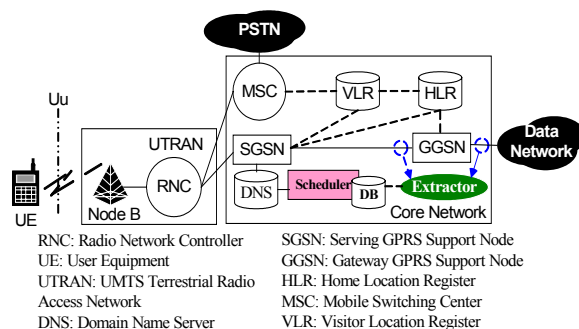


圖 3 改進之 GPRS/UMTS 網路架構圖

Fig. 3 Improved GPRS/UMTS system architecture

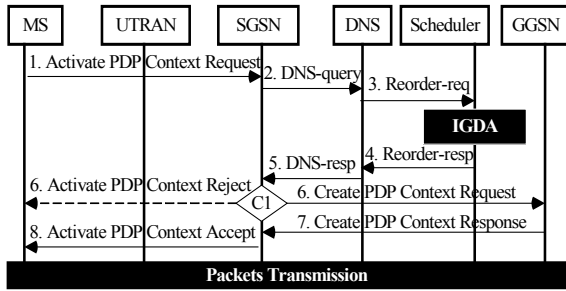


圖 4 改進的 PDP context 啟動程序之訊息流程
 Fig. 4 Improved PDP context activation Procedure

增的邏輯節點 (在實作上, 可與 DNS 結合為單一伺服器), 負責執行 IGDA 時, 對於符合的 GGSN 依適當性進行排程。圖 4 為此改進的 PDP context 啟動程序之訊息流程圖, 分別描述如下:

- 步驟一: MS 傳送一個啟動 PDP context 建立要求的訊息 (包含 APN, QoS Profile) 給 SGSN。
- 步驟二: SGSN 傳送一個 DNS-query (APN) 的訊息至 DNS。
- 步驟三: 當 DNS 收到 DNS-query 的訊息後, 查詢本身的 GGSN 記錄, 將支援該 APN 服務的所有 GGSN, 利用 Reorder-req 訊息傳送給排程器以產生依其合適性排列的一組 GGSN (此部分將在 IGDA 描述之)。
- 步驟四: 排程器利用 Reorder-resp 訊息將結果送回給 DNS。
- 步驟五: DNS 將收到的 GGSN 排列資料, 使用 DNS-resp 訊息回覆給 SGSN。
- 步驟六: 當 SGSN 接收到由 DNS 回覆的訊息 (DNS-resp (Inventory)), SGSN 則檢查回覆的資料是否有 GGSN 的記錄, 若存在 GGSN 的記錄, 則 SGSN 選擇第一個 GGSN, 且傳送一個 Create PDP context Request (APN, QoS Profile) 的訊息給選定的 GGSN。若回覆的資料沒有 GGSN 的記錄, 則傳送 Activate PDP context Reject 的訊息給 MS, 告知 MS 沒有可提供此 APN 服務的 GGSN 存在。
- 步驟七: 若 GGSN 接受此請求 (因經過排序, 因此大部分皆可被接受), 則 GGSN 傳送一個 Create PDP context Response 給 SGSN。

步驟八: 當 SGSN 接收到 Create PDP context Response 訊息時, 則 SGSN 傳送一 Activate PDP context Accept 給 MS 並且開始將資料封包傳送 (或接收) 至 MS 及傳送 (或接收) 至外部網路。

如上所述, IGDA 是改進之 PDP context 啟動程序的最主要的功能之一, 它負責對符合要求的 GGSN 進行排程。圖 5 描繪出 IGDA 的流程圖及分別描述如下:

- 步驟一: 首先, IGDA 等待經由 DNS 傳送回來的一組未經排序的 GGSN, 當接收到此組 GGSN 之後, IGDA 將所有的 GGSN 設定成未檢查狀態 (此目的為在後續的資源檢查時, 以所有的 GGSN 設定成已檢查狀態為終止條件)。
- 步驟二: 檢查是否存在未檢查狀態的 GGSN, 若不存在, 則執行步驟三。若有未檢查狀態的 GGSN, 則 IGDA 選擇一未檢查狀態的 GGSN 及檢查是否有足夠的資源可滿足 APN 的 QoS 需求。若不能滿足需求, 則將此 GGSN 移除。若此 GGSN 有足夠的資源, 則標示為已檢查狀態, 並保留此 GGSN。重複此步驟, 直到所有的 GGSN 皆為已檢查狀態或已移除為止。
- 步驟三: 基於所使用的排程策略 (例如負載平衡, 最大利益等, 可依系統業者需要設定), 我們可以重新排列此組 GGSN 的順序。

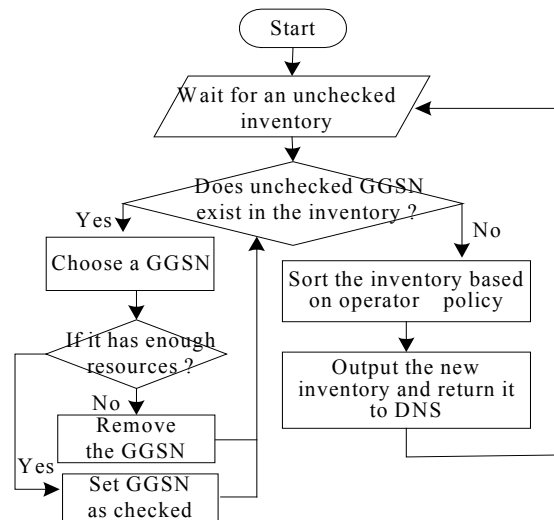


圖 5 IGDA 流程圖
 Fig. 5 IGDA flowchart

序。舉例來說，若使用負載平衡之策略，則將負載較輕的排在前面。

步驟四：回覆已排序好的 GGSN 給 DNS，回到步驟一等待由 DNS 傳送來的新請求。

4. 效能評估

在本章節中，我們使用實驗數據來探討標準的及改進的 PDP context 啟動程序之效能。為了方便本文之描述，我們使用 IPAP 表示改進的 PDP context 啟動程序，而使用 Basic 表示標準的 PDP context 啟動程序。在 3GPP TS 23.107 [6] 中，服務品質 (Quality of Service, QoS) 可分為四大類：交談 (Conversational) 式、資料流 (Streaming) 式、交互 (Interactive) 式、以及背景 (Background) 式。其中交談式類別主要為語音通話及視訊電話類之應用，而資料流式類別主要是串流式多媒體應用，相對於交談式，可容忍較大的延遲。另一方面，普通的網路應用如瀏覽網頁、網路遊戲等皆屬於交互式類別，而下載資料等則是屬於背景式類別。基於以上的分類，我們將 APN 分成四大類，APN1，APN2，APN3 及 APN4 分別表示上述四大類別。我們建立一個模擬模式來測量 Basic 及 IPAP 之效能。此模擬技術與 [12] 所用的技術相同，詳細細節可參考 [12]。在我們的模擬模式中，系統參數包含四類的 APN 及 6 台 GGSN，表 1 及表 2 分別列出各個的狀態及參數。

如表 1 所示，我們使用網路頻寬為 GGSN 的資源，當一台 MS 要存取一 APN 時，則服務的 GGSN 必須有足夠的資源 (即網路頻寬) 以支援此 APN。依照 GGSN 的能力，每個 GGSN 只能支援一些特定的 APN (例如表 1 所示的 GGSN1 只能支援 APN1 及 APN2)。因此，最大使用者數及相對 APN 最大使用者數參數則用來分別表示此 GGSN 可同時支援最多使用者的數目及支援特定 APN 之最多使用者的數目，例如 GGSN2 最多可支援三個使用者同時使用 (APN3 及 APN4 之總合)，且 APN3 最多只能有一個及 APN4 不能超過三個。使用者要求 APN 的時間間隔及 APN 的服務時間分別為期望值 $1/\lambda$ 及 $1/\mu$ 的子數分配函數。此外，排程器與 DNS 假設使用同一台伺服器，故 IPAP 之步驟三及四所需時間可以省略不計算之，因此 Basic 及 IPAP 機制的訊息數目可以一致。以下列出相關的輸出結果，分別描述如下：

表 1 GGSN 狀態
Table 1 GGSN status

ID	支援 APN	資源 (Mb/S)	最大使用者數	相對 APN 最大使用者數
1	APN: (1, 2)	1050	3	(2, 4)
2	APN: (3, 4)	1000	3	(1, 3)
3	APN: (2, 4)	1250	4	(4, 1)
4	APN: (1, 3, 4)	750	2	(2, 3, 1)
5	APN: (3, 4)	900	3	(2, 2)
6	APN: (2, 3, 4)	895	4	(2, 1, 2)

表 2 APN 參數
Table 2 APN parameters

ID	佔用資源 (Mb/S)	到率 (λ)	服務時間 ($1/\mu$)
1	150	1/sec	5 secs
2	300	3/sec	15 secs
3	600	2/sec	5 secs
4	175	2/sec	10 secs

N_{signal} ：啟動一 PDP context 建立程序所需的平均訊息傳送數量；

P_{block} ：啟動一 PDP context 建立程序的系統阻斷率，即建立失敗的機率。

圖 6 及圖 7 分別在各不同的 N_{PCAP} (執行 PDP context 建立程序之次數) 比較 N_{signal} 及 P_{block} 效能。由圖 6 的結果可以得知，IPAP 在所給的狀況下，其效能明顯的高於 Basic，其增進的效能約為 70%。造成此結果的原因在於，在 IPAP，當 SGSN 第一次選定一 GGSN 以建立 PDP context 時，大部分的狀況都是成功的，這是由於 GGSN 已在傳送給 SGSN 時已檢查並且其資源也足夠支援該 APN。因此，IPAP 大量減少許多在 GGSN 及 SGSN 之間不必要的訊息。圖 7 則描繪出 IPAP 的系統阻斷率

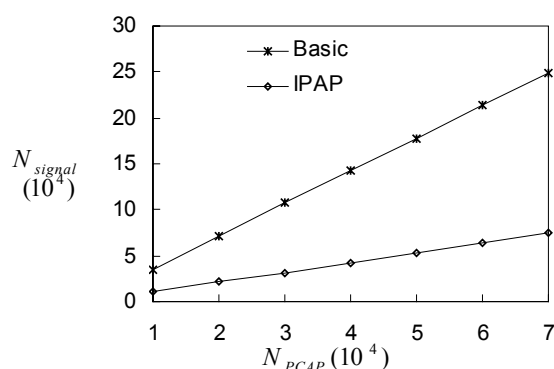


圖 6 訊息數量之比較

Fig. 6 Comparison for signal number

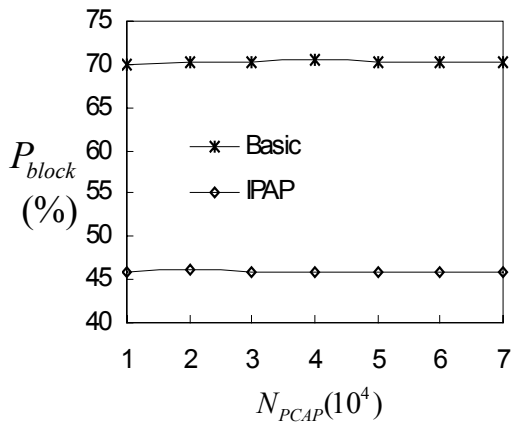


圖 7 系統阻斷率比較

Fig. 7 Comparison for system blocking rate

明顯的較 Basic 低，其原因在於當 GGSN 沒有足夠的資源時，DNS 不會將此 GGSN 傳送給 SGSN，因此，大量的減少了系統的阻斷率。

5. 結 論

在標準的 PDP context 建立程序中，SGSN 在要求 GGSN 提供服務給 MS 時，有可能詢問了所有的 GGSN 之後，才發覺沒有 GGSN 可支援此 MS 之需求。因此，造成了網路產生許多不必要的訊息及增加額外的等待時間，而使得系統效能下降。在本論文中，我們提出了一個智慧型之 GGSN 分派演算法，可以增進標準 PDP context 建立程序的效能。在這改進的程序中，我們增加一排程器來針對 GGSN 作排程，再將結果傳送給 SGSN，使得 SGSN 可以選擇一個較合適的 GGSN 來服務 MS，而且不需增加額外的訊息。我們的研究指出了 IGDA 可以大幅度的減少 PDP context 建立程序的訊息數，且其效能增進可以達到 70%。

參考文獻

[1] 3GPP, "3rd generation partnership project;

technical specification group service and systems aspects; general packet radio service (GPRS); service description; Stage 2, technical specification 3G TS 23.060," version 4.1.0, 2001-06, 2001.

- [2] UMTS Forum, "Enabling UMTS/Third generation services and applications," Technical Report 11, UMTS, 2000.
- [3] UMTS Forum, "Shaping the mobile multimedia future — An extended vision from the UMTS forum," Technical Report 10, UMTS, 2000.
- [4] UMTS Forum, "The UMTS third generation market — structuring the serving revenues opportunities," Technical Report 9, UMTS, 2000.
- [5] Shiao-Li Tsao, "Scalable gateway GPRS support node for GPRS/UMTS networks," *IEEE Vehicular Technology Conference 2002-Fall*, pp. 2239–2243.
- [6] 3GPP, "3rd generation partnership project; technical specification group service and systems aspects; quality of service (QoS) concept and architecture, Technical Specification 3G TS 23.107," version 5.7.0, 2002-12, 2002.
- [7] <http://www.blizzard.com>
- [8] J. Postel and J. K. Reynolds, "File transfer protocol (FTP)," Technical Report RFC 959, Oct. 1985.
- [9] J. Klensin, "Simple mail transfer protocol, RFC 2821," AT&T Laboratories, April 2001.
- [10] J. Myers, *Post Office Protocol—Version 3*, STD5.
- [11] 3GPP, "3rd generation partnership project; technical specification group core network; general packet radio service (GPRS); GPRS tunneling protocol (GTP) across the Gn and Gp interface, Technical Specification 3G TS 29.060," version 5.1.0, 2002-03, 2002.
- [12] P. Lin, Y.-B. Lin and I. Chlamtac, "Modeling frame synchronization for UMTS high-speed downlink packet access," accepted for publication in *IEEE Transaction on Vehicular Technology*, 2003.
- [13] D., Collins, *Carrier Grade Voice Over IP*, McGraw-Hill, 2001.



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.



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.



沈怡瑄 (Yi-Shiuan Shen) received the B.S.E degree in Computer Science and Information Engineering from National Central University in Taoyuan, Taiwan, in 2001. She received the M.S. degree in Computer Science and Information Engineering from National Taiwan University in Taipei, Taiwan, in 2003. Her research interests include genetic algorithms, modeling, scheduling and PCS network resource allocation.



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.



傅立成 (**Li-Chen Fu**) received the B.S. degree from National Taiwan University in 1981, and the M.S. and Ph.D. degrees from the University of California, Berkeley, in 1985 and 1987, respectively. Since 1987 till now, he has been on the faculty and currently is a Professor of both Department of Electrical Engineering and Department of Computer Science & Information Engineering of National Taiwan University. He has also served as the Deputy Director of Tjing Ling Industrial Research Institute of National Taiwan University from 1999 ~ 2001. Dr. Fu has been elected to be IEEE Fellow effective from 2004, and has been chosen to be a Distinguished Lecturer for IEEE Robotics and Automation Society during the period 2004 ~ 2005, and is also board members of Chinese Automatic Control Society and Chinese Institute of Automation Engineers. His areas of research interest include robotics, FMS scheduling, shop floor control, home automation, visual detection and tracking, e-commerce, and control theory & applications.

收稿日期 92 年 12 月 2 日、修訂日期 93 年 3 月 28 日、接受日期 93 年 5 月 8 日
Manuscript received December 2, 2003, revised March 28, 2004, accepted May 8, 2004