

Failure Recovery of VLR Forwarding Pointer for PCS Networks

個人通訊服務網路中遞轉指標之容錯回復

賴宏彥

大葉大學電機工程學系
彰化縣大村鄉山腳路 112 號
xptelai@ms29.hinet.net

翁永昌

大葉大學電機工程學系
彰化縣大村鄉山腳路 112 號
ycwong@mail.dyu.edu.tw

摘要

本文提出一個 VLR 復原機制，能在 VLR 故障後修復所有受損的指標。相較於指標遞轉策略，call setup 時將不再有因 VLR 故障需要繞道而增加的延遲。藉由不同參數下的模擬，我們量化了 VLR 復原機制所能提升的效能。

關鍵詞：個人通訊服務、位置管理、指標遞轉、VLR 容錯

一、簡介

在行動通訊網路中，我們在意的是使用者的可移動性，因此系統必須能隨時掌握手機的所在位置，以便提供用戶各項服務。為了方便監控手機的位置資訊，大部分的行動電話系統都設置了二階層式的資料庫，分別為本籍註冊資料庫(home location register or HLR)和客籍註冊資料庫(visitor location register or VLR)。

系統為每個使用者建立一個永久記錄存放在 HLR 內(圖 1)。MSC(mobile switch center)是一種特別為行動通訊網路所設置的電話交換機，它是手機和公眾電話網路(public switched telephone network or PSTN)的界接設備。原則上每個 MSC 會設有一個 VLR，VLR 被用來記錄在其管轄區域內所有手機的相關資訊。

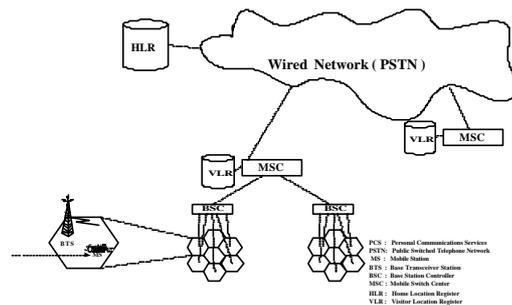


圖 1. 行動通訊網路架構

系統管理手機位置的機制有二[1,8]: 位置註冊 (registration) 與 位置追蹤 (location tracking)。當行動用戶從舊的 VLR 移動至另一個新的 VLR 時，手機必須向新的 VLR 註冊，新的 VLR 會告知該手機所屬的 HLR 去更新手機的位置記錄。完成後，HLR 會發出回應訊息給新的 VLR，VLR 再通知手機註冊成功；另一方面，HLR 也會送一個刪除記錄的訊息給舊的 VLR，以取消該手機的相關記錄。上述過程稱為手機的註冊程序。當手機被呼叫時，系統須經由位置追蹤程序來找出手機所在的位置：撥進來的電話由初始交換機 (origination switch) 所處理，初始交換機藉由查詢 HLR 找出手機目前所在的 VLR，同時 HLR 會要求該 VLR 傳回一個繞路地址 (routable address) 給初始交換機，以便建立初始交換機到手機間的語音通道。

為了減少註冊程序所產生的信令傳輸負載，文獻 [3,4,7,9,10] 提出指標遞轉 (pointer forwarding) 這種位置管理策略。指標遞轉策略的註冊程序不同於傳統的程序，並非每次手機

移動至新的 VLR 時，都需要去更新 HLR 內的位置記錄。以圖 2 為例，當新的 VLR (VLR 2) 接受手機註冊要求後，VLR 2 並不將此更新位置的訊息傳送給 HLR，而是將此訊息傳向舊的 VLR (VLR 1)，通知它該手機已離開其服務範圍。VLR 1 收到此訊息後，它會刪除屬於該手機的記錄，並另外建立一個指標 A，指向手機新的位置 VLR 2。若手機再移往 VLR 3，同樣地 VLR 2 會建一指標 B 指向 VLR 3。

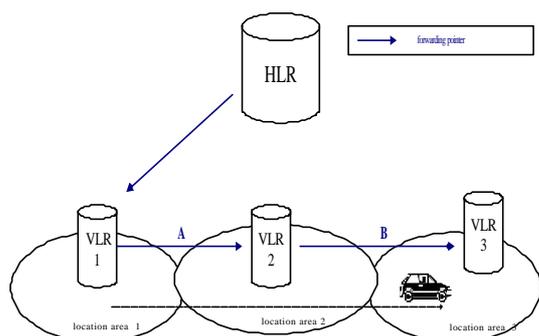


圖 2. 指標遞轉策略之手機註冊程序

承圖 2，當手機被其他使用者呼叫，系統藉查詢 HLR 找到 VLR 1 (圖 3)。當 VLR 1 收到來自 HLR 的詢問後，發現手機已不在它的服務範圍內，此時 VLR 1 會透過指標 A 將這個詢問訊息轉送到 VLR 2。如此，藉由指標鏈 (pointer chain) A-B，HLR 將可獲知手機最新的位置 VLR 3。此時 VLR 3 除了傳回繞路地址外還必須負責向 HLR 註冊以便更新手機在 HLR 的位置紀錄。在追蹤手機的過程中所使用過的指標 A 和 B，指標的狀態會被系統從有效 (active) 改為過時 (obsolete)，每個 VLR 可在適當時機刪除這些不會再被用到的過時指標。

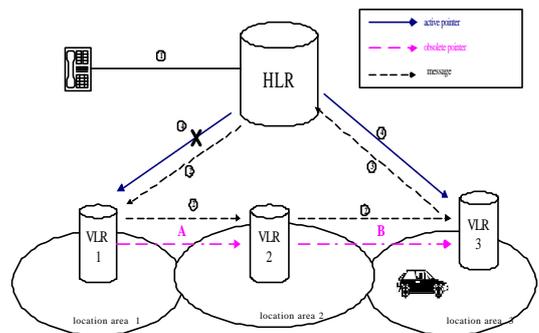


圖 3. 指標遞轉策略之手機位置追蹤過程

如果 VLR_x 發生故障而流失資料， VLR_x 必須盡可能回復下列兩種資訊：(1) 所有目前在 VLR_x 管轄下之手機的相關記錄，以及(2) 已離開 VLR_x 的手機的未過時遞轉指標，以免嚴重影響系統的服務品質。針對第一種資訊，GSM 藉著手機與 VLR 之間新的接觸 (如手機要求註冊、手機要求撥出電話、或手機被其他使用者呼叫) 重新取得手機位置，而逐步恢復原有的記錄 [1,6]。

倘若 VLR 發生故障而遺失手機的指標，那麼位置追蹤程序將無法完成。針對這個問題，Biaz 等人提出繞道遞轉策略 (Bypass Forwarding Strategy or BFS) [2,5]，利用繞道的方式，避開指標鏈上故障的 VLR，繼續往下找出手機的位置。然而繞過故障的 VLR 會增加 call setup 的延遲，而且每支手機若 call setup 時需用到故障的 VLR，都必須承受這種延遲。本文提出一個 VLR 復原機制，能修復故障的 VLR 上流失的指標記錄，而且可以在 VLR 進行復原的這段期間搭配指標遞轉策略，來達成手機追蹤的功能。根據作者的知識，尚沒有文獻在探討類似的問題。

本文的架構如下：在第二節裡，我們會介紹繞道遞轉策略及路徑選擇的方法。在第三節裡，我們將說明所提出的 VLR 復原機制。在第四節中，我們利用模擬來觀察復原機制的效能。最後是本文簡短的結論。

二、相關研究

本小節將介紹繞道遞轉策略及其最佳化等相關研究。

在指標遞轉策略中，如果指標鏈中的某一個 VLR 發生故障而流失了儲存的遞轉指標，那麼系統在執行位置追蹤程序時，將無法正確

找到被呼叫手機的位置，因此 Biaz 等人提出繞道遞轉策略來解決這個問題。如圖 4 所示，當一行動電話用戶 K 由 VLR 1 的服務範圍移動至 VLR 2、VLR 3 最後移動到 VLR 4 的服務範圍，指標 A、B 及 C 會依次被建立。假若有其他用戶要對手機 K 進行呼叫，初始交換機會依相關的程序去詢問 HLR。HLR 藉由指標鏈 A-B-C 獲知手機 K 的位置 VLR 4。倘若 VLR 2 發生故障而遺失所有手機的指標記錄，那麼位置追蹤程序將無法完成，因為 VLR 1 將無法經由已遺失的指標 B 而找到 VLR 3。

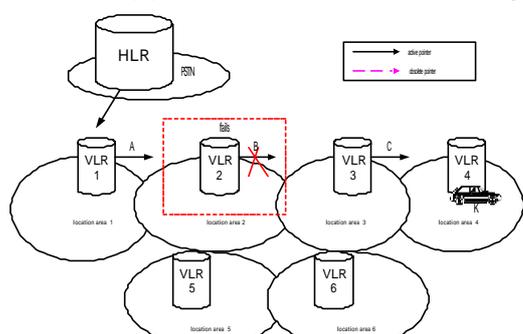


圖 4. 繞道遞轉策略的位置追蹤程序

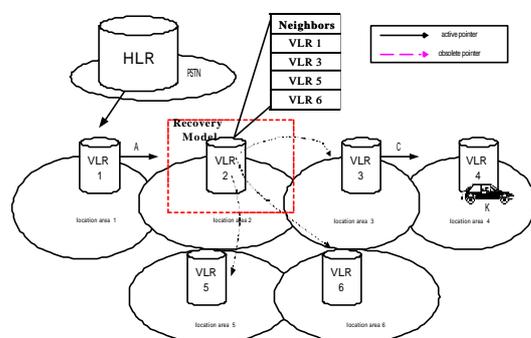


圖 5. 繞道遞轉策略的位置追蹤程序

繞道遞轉策略的解決方法如圖 5 所示。令 $nb(VLR_i)$ 代表 VLR_i 所有的鄰居所成的集合。例如 $nb(VLR_2) = \{ VLR_1, VLR_3, VLR_5, VLR_6 \}$ 。首先，當 VLR 1 收到 HLR 轉送來的詢問訊息，由於 VLR 1 無法透過指標 A 將詢問訊息轉送給 VLR 2，於是 VLR 1 送出 FNV(find next VLR) 訊息給 VLR 2 所有的鄰居 (i.e., $VLR_i \in nb(VLR_2) \setminus VLR_1$)，試圖繞過 VLR 2 而將詢問訊息直接送給 VLR 3。當 VLR

i 收到 FNV 訊息，如果 VLR i 位於手機 K 的指標鏈上，那必須回覆一個“正”訊息給 VLR 1；否則回覆一個“負”訊息。在圖 5 中，只有 VLR 3 符合條件，因此 VLR 3 將回覆給 VLR 1 “正”的訊息。然後 VLR 1 便將位置詢問訊息轉送到 VLR 3，最後轉送至 VLR 4。如此，HLR 便可以順利地找到手機 K。

雖然繞道遞轉策略能夠避開故障的 VLR，但卻衍生出路徑最佳化的議題。如圖 6 所示，手機 K 繼續移動至 VLR 6。我們發現當 VLR 1 送出 FNV 後將收到來自於 VLR 3 與 VLR 6 的“正”訊息，因此將有 VLR 1 VLR 3 VLR 4 VLR 6 與 VLR 1 VLR 6 這兩條路徑可供選擇，這就是路徑選擇的問題。

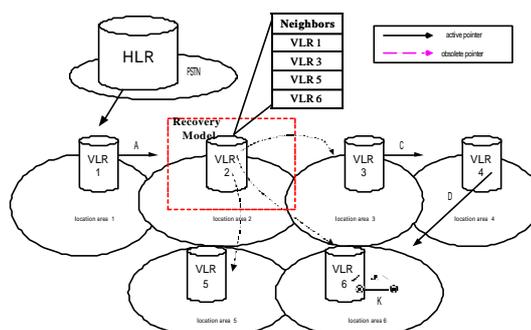


圖 6. BFS 所衍生出的路徑選擇問題

就路徑選擇的問題，文獻[10]提出改良型繞道遞轉策略並建議二種解決方法：快速回應法(First-Reply Method or FRM)以及最佳路徑法(Optimal Path Method or OPM)。

快速回應法的運作方式說明如下：以圖 6 為例，VLR 1 送出 FNV 後，將以第一個收到的正訊息作為路徑選擇的依據。如 VLR 3 較先回應正訊息，系統就採用路徑 VLR 1 VLR 3 VLR 4 VLR 6。快速回應法的優點在於 call setup 的延遲較短，缺點是不保證能選用最短路徑。

若是我們著眼於能夠選出最短的路徑，則

最佳路徑法將可派上用場。在最佳路徑法中，每個指標記錄的資料結構多了 counter 的欄位，作為計算路徑長度之用，初始值被設定為 0。當手機每移動至新的 VLR 時，新建立之指標的 counter 值為前一個指標的 counter 值加 1。最佳路徑法的位置追蹤程序和快速回應法的一樣，差別只是每個相鄰 VLR 回應的 FNV 訊息中，包含有 counter 值。VLR 1 收到所有的回應後，會判斷全部正訊息中哪一個的 counter 值是最大的(e.g., VLR 6 所回應的)，於是 VLR 1 便將詢問的訊息轉送到 VLR 6。

三、VLR 遞轉指標之復原機制

在這小節裡，我們首先說明所提出復原方法，接下來在 3.2 節中，我們討論異常指標之處理。

3.1 基本觀念

為了清楚說明我們方法設計的原理，我們簡化指標記錄的資料結構(圖 7)。除了 MS 表示手機編號，Next 記載了手機拜訪的下一個 VLR 之外，我們新增了 Previous 欄位，用以記載手機是重哪一個 VLR 到來的。

MS	Previous	Next

圖 7. 指標記錄的資料結構

我們利用圖 8-圖 10 來說明 VLR 的復原方法。當一手機 K 由 VLR 1 的服務範圍內依次移動至 VLR 2、VLR 3 而最後到達到 VLR 4 的服務範圍，指標 A、B 及 C 依序被建立(圖 8)。每個指標記錄分別利用 Next 和 Previous 欄位來記錄前一個和下一個拜訪 VLR，若是沒有上一個拜訪的 VLR，則指標的 Previous 欄位被記為“-”(如指標 A)；而沒有下一個拜訪的 VLR，指標的 Next 欄位將記為“-”(如指

標 C)。假設此時 VLR 2 發生故障而失去手機記錄(圖 9)。系統會重新啟動 VLR 2，接著執行 VLR 復原程序。VLR 2 將藉由詢問其相鄰的 VLR(即 VLR1、VLR3、VLR5 和 VLR6)，嘗試還原失去的指標記錄。

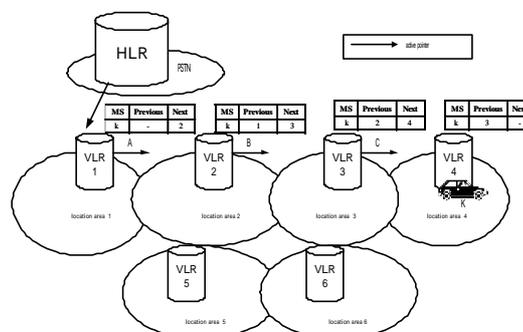


圖 8. 手機移動

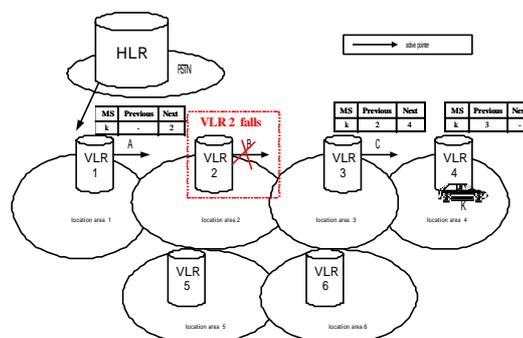


圖 9. VLR 2 發生故障而失去手機記錄

假設 VLR 2 依順時針方向詢問他的鄰居。首先 VLR 3 被 VLR 2 詢問(圖 10)，VLR 3 搜尋本身資料庫中所有的指標，發現手機 K 的 Previous 欄位記載著 VLR 2，於是 VLR 3 將這個資訊傳送給 VLR 2，幫助 VLR 2 回復手機 K 的 Next 欄位。接著 VLR 2 會詢問 VLR 5 和 VLR 6，最後再詢問 VLR 1。當 VLR 1 被 VLR 2 詢問，VLR 1 搜尋本身資料庫中所有的指標，發現手機 K 的 Next 欄位記載著 VLR 2，於是 VLR 1 將這個資訊傳送給 VLR 2，幫助 VLR 2 回復手機 K 的 Previous 欄位。如此 VLR 2 內所有手機的指標即可完成復原(i.e., 指標的 Next 欄位和 Previous 欄位都不是“-”)。

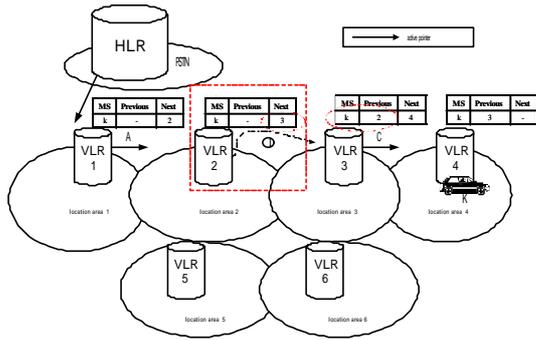


圖 10. VLR 2 輪流詢問其相鄰的 VLR

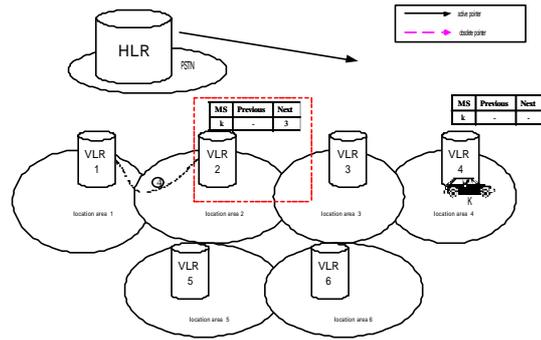


圖 12. VLR2 中復原一半的指標 K

3.2 異常指標之處理

指標的復原可能會遭遇許多突發狀況，造成指標的 Next 欄位或 Previous 欄位有一個是 null “-”。第一種情況是在 VLR 進行復原的期間，系統曾經利用繞道遞轉策略來追蹤手機的位置。以圖 10 為例，由於 VLR 2 是輪流地詢問其鄰居以進行指標的復原，因此在詢問完 VLR 3 後，VLR 2 中手機 K 的指標可能只復原完成一半(i.e., 僅復原 Next 欄位)。當此之際若手機 K 被呼叫，系統須藉指標鏈 A-C 找到手機的位置，同時把指標 A 和 C 標成過時指標(圖 11)。稍後當 VLR 1 被 VLR 2 詢問時，VLR 1 將讓 VLR 2 把手機 K 的 Previous 欄位填成 obsolete(圖 12)。若指標的 Previous 欄位和 Next 欄位都是 obsolete，那這是一個過時指標，可以直接刪除掉。

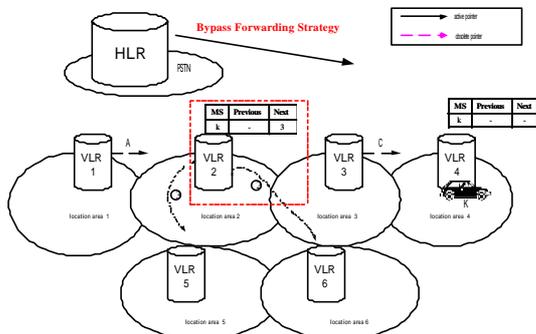


圖 11. 系統利用繞道遞轉策略追蹤手機 K

第二種情況如圖 13 所示，對手機 K 而言 VLR 2 是指標鏈的第一個節點，理所當然地復原結果是如此(i.e., Previous 欄位是 null)。另外，若手機 K 的位置就在 VLR 2 的範圍內，那麼 Next 欄位應是 null (圖 14)。

在 VLR 進行復原的這段期間，這個 VLR 是不提供任何服務的，直到 VLR 整個資料庫復原完畢。若有使用者想要呼叫相關手機，可以透過 BFS 的方法來達成。所以難免有已經復原完成的指標，可是來不及提供系統作為追蹤手機位置之用(圖 15)，我們可以在下一次手機在進入此 VLR 時，如同路徑迴圈的問題來做解決。

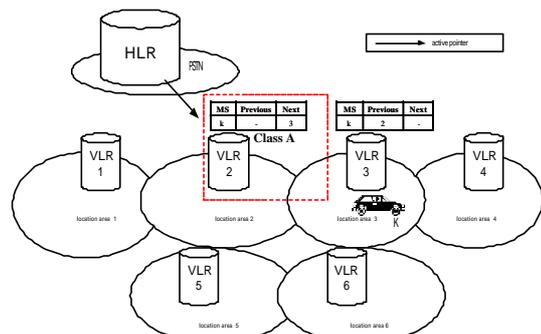


圖 13. VLR 2 是指標鏈的第一個節點

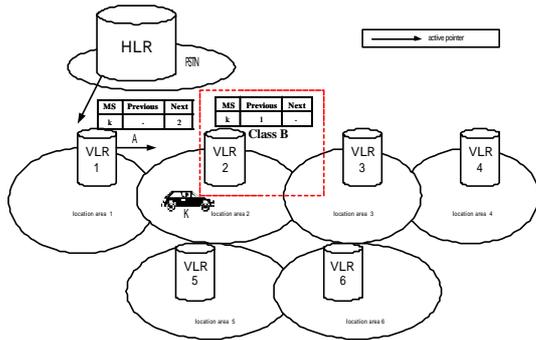


圖 14. VLR 2 是指標鏈的終點

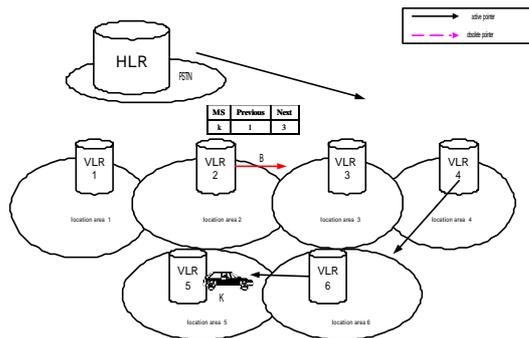


圖 15. VLR 復原後指標 B 成為多餘的指標

當手機所在位置與 HLR 內所記載的是相同時(圖 16), 利用我們的指標復原方法是無法重新掌握手機的位置, 我們可以等到這支手機主動撥出電話或是移動至新的 LA (location area) 時, 再要求手機註冊。

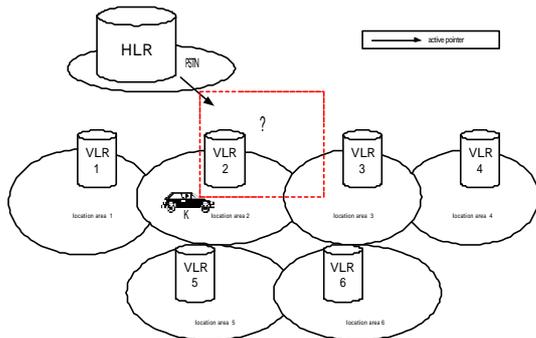


圖 16 手機所在位置與 HLR 內所記載的相同

四、數值分析

在這小節裡, 我們藉由模擬來了解 VLR 復原機制的效能。我們統計了每一個需要復原的指標是位於多長的指標鏈之中, 來分析這些指標記錄的復原價值。

4.1 分析模型

在分析模型中, 我們所使用的參數與其所代表的意義如下:

- N : 模擬手機的數目。在模擬的過程中, 我們選定的手機數目為 800 和 1000 支。
- S : 手機所能移動的區域, 為一 5×5 的 mesh(即我們的分析模型有 25 個 LA)。位於任何一個 LA 的手機, 它可以任意往上、下、左、右四個方向移動, 其機率是皆是 0.25。
- λ_c : 為使用者接聽電話的頻率。我們假設接聽兩通電話之間的時間分佈為指數分佈(exponential distribution), 其平均時間為 $1/\lambda_c$ 分鐘。
- λ_m : 使用者移動的頻率。我們假設手機停留在一區域的時間為指數分佈, 其平均停留時間為 $1/\lambda_m$ 分鐘。
- α : call-to-mobility ratio ($\alpha = \lambda_c / \lambda_m$)
- λ_r : VLR 發生故障的頻率。我們假設 VLR 發生故障的間隔為指數分佈, 其平均時間為 $1/\lambda_r$ 。在我們模擬的環境裡, $\lambda_r = 0.0005$, 代表平均每 15 天就有一個 VLR 會發生故障。

在指標遞轉的環境下, 很容易出現指標路徑迴圈(由 active pointer 所形成)。在我們模擬的過程裡, 倘若遇到此一情況, 我們立即將迴圈部分的 active pointer 直接從 VLR 中刪除。

4.2 模擬結果與討論

指標遞轉策略並沒有重建原本儲存在故障 VLR 中的指標記錄, 只是採取繞道方式來突破因 VLR 故障而造成的指標鏈中斷的問題。手機被呼叫時, 繞道將增加 call setup 的延遲; 故障的 VLR 中指標的數目愈多, 代表

受影響的手機愈多，call setup 所增加的延遲總和也愈多。

我們的 VLR 復原機制，會復原故障 VLR 中所有儲存的指標；手機被呼叫時，沒有因繞道而增加的延遲。故障的 VLR 中指標的數目愈多，代表能減少的 call setup 延遲總和也愈多，VLR 復原機制也就愈大。

圖 17-圖 20 是統計在 $K = 800/1000$ 和 $=0.25/1/4$ 等情況下，故障的 VLR 內所要復原的指標是位在多長的指標鏈中。由這些圖，我們可以明顯發現，當愈小時，所要復原的指標所在的指標鏈，大都比愈大時還要長。這是因為使用者接聽電話頻率遠小於移動頻率時，使用者較不容易接聽到其他通訊用戶的呼叫，因此指標鏈通常較長。相反地，當愈大時，指標鏈也就較短。

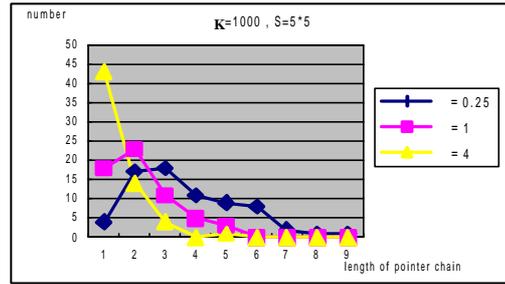


圖 19. 指標鏈長度統計圖($K=1000, S = 25$)

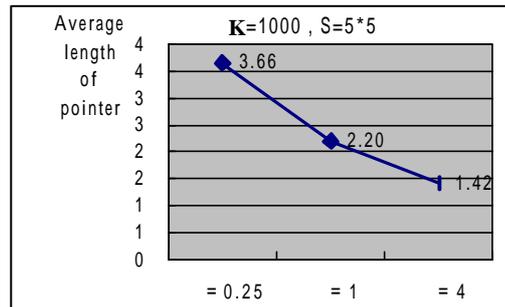


圖 20. 指標鏈平均長度 ($K=1000, S = 25$)

五、結論

本文提出一個 VLR 復原機制，能在 VLR 故障後修復所有受損的指標。相較於指標遞轉策略，call setup 時將不再有因繞道而增加的延遲。藉由不同參數下的模擬，我們量化了 VLR 復原機制所能提升的效能。

通常可以要求當手機的指標鏈長度等於 N 時，必須要向 HLR 進行註冊。一旦手機重新註冊，這整條指標鏈都將不再有用。基於這樣的觀察，因 VLR 故障而受損的指標如果離指標鏈的起點很遠，其實可以考慮不要修復，以減少復原指標所需傳送的訊息量。這是 VLR 復原機制可以進一步研究的方向。

參考文獻

[1] I.F. Akyildiz and S.M. Ho, "On Location Management for Personal Communications

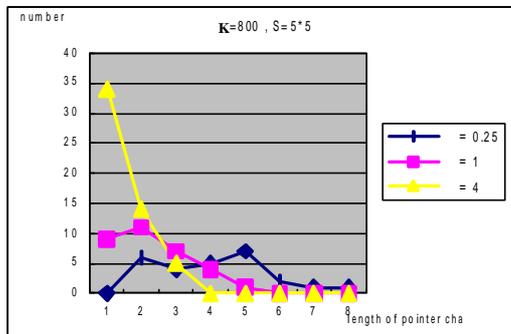


圖 17. 指標鏈長度統計圖($K=800, S = 25$)

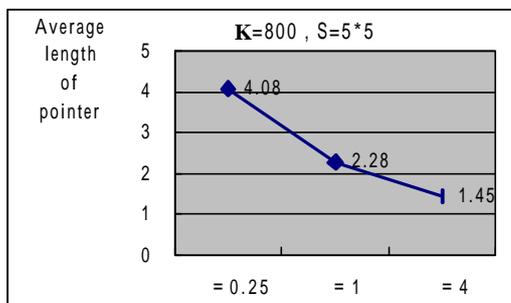


圖 18. 指標鏈平均長度 ($K=800, S = 25$)

- Networks”, IEEE Communications Magazine, Vol. 34, No. 9, pp.138-145, Sep. 1996.
- [2] S. Biaz and N.H. Vaidya, “Tolerating Visitor Location Register Failures in Mobile Environments”, Technical Report 97 015, Dep. of Computer Science, Texas A&M, Dec.1997.
- [3] R. Jain and Y.B. Lin, “An Auxiliary User Location Strategy Employing Forwarding Pointers to Reduce Network Impact of PCS”, Wireless Networks, Vol. 1, No. 2, pp. 197-210, 1995.
- [4] Y.H. Lai, C.C. Tseng and Y.B. Lin, “Performance Study of K-Step Pointer Forwarding Strategies in Distributed HLR Environment”, Dep. of Computer Science and Information Engineering, National Chiao-Tung University, Master Thesis, June 1998.
- [5] Yung-Chang Wong and Jun-Da Liao, "A New Scheme for Locating User around Mobility-Database Failures", To appear in Journal of Internet Technology (Special Issue on Wireless Internet: Applications and Systems), Jan. 2002
- [6] Y.B. Lin, “Determining the User Location for Personal Communications Services Networks”, IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 43, No. 3, pp. 466-73, Aug. 1994.
- [7] Y.B. Lin and W.N. Tsai, “Location Tracking with Distributed HLRs and Pointer Forwarding”, IEEE Transaction on Vehicular Technology, Vol. 47, No. 1, pp. 58-64, 1998.
- [8] M. Mouly and M.B. Pautet, The GSM System for Mobile Communications. Palaiseau, France, 1992.
- [9] K.L. Sue and C.C. Tseng, “One-Step Pointer Forwarding Strategy for Location Tracking in Distributed HLR Environment”, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 15, No. 8, pp. 1455-1466, 1997.
- [10] Y.C. Wong, “Garbage Collection of Forwarding Pointers in Distributed HLR Environment”, in Proc. of IEEE ICC 2000, Vol. 2, pp. 680-684, June 2000.