

# 智慧型連結快取管理

## Intelligently Managing Binding Cache

林熾雯(Yen-Wen Lin)

張欣榮(Hsin-Jung Chang)

劉嘉惠(Chia-Hui Liu)

國立嘉義大學

國立嘉義大學

國立嘉義大學

資訊工程研究所

資訊工程研究所

資訊工程研究所

ywlin@mail.ncyu.edu.tw

hjchang@mail.csie.ncyu.edu.tw

chliu@csie.ncyu.edu.tw

du.tw

### 摘要

在無線網路的環境下，為了管理行動使用者的位置，IETF 提出 Mobile IP 以解決此問題。然而，Mobile IP 仍有些未解決的缺點，包括三角繞送、無法達到快速換手和註冊次數過多等問題。Route Optimization 的方法使得 CN (Correspondent Node) 可以利用 Binding Cache 存放 MN (Mobile Node) 的 CoA (Care-of Address) 資訊，減少三角繞送發生機會，但此法未對 Binding Cache 善加管理而產生新的問題。本文提出一套智慧型的連結快取管理策略，以改善快取管理的效能，包括：快取共用機制(Cache Sharing Scheme)、動態快取更新機制(Adaptive Push Scheme)和快取置換方法(Cache Replacement Mechanism)等三部份。由模擬實驗的結果可以得知，本文所提出的智慧型的連結快取管理方法的確可以提升 Binding Cache 的有效使用率，增加快取命中率，並使系統花費達到最佳。

**關鍵詞：**Mobile IP、Route Optimization、連結快取(binding cache)、快取管理(cache management)、應變式快取更新(adaptive cache update)

### 一、簡介

為了解決目前在行動環境下的位置管理，在 IETF 制定的 Mobile IP [02] 中，利用 Home Agent (HA) 與 Foreign Agent (FA) 完成使用者的位置管理，當行動使用者改變位置時，會先取得一個暫時的位置 Care-of-Address (CoA)，並透過當地 FA 向 HA 註冊並更新其 Mobility Binding (即 Home Address 與 CoA 的對應關係)，每當有其它使用者傳送資料給該行動使用者時，便會先傳送到 HA，再由 HA 依照 Mobility Binding 將資料轉送至行動使用者所在的 FA，最後才送給行動使用者。雖然 Mobile IP 在無線網路下提供一個通用的 (Global) 移動性管理 (Mobility Management)

方法，但仍有些既有的缺點和問題 [09、10、06]，包括：三角繞送 (Triangle Routing) 問題、無法有效支援在 Intra-domain 下具高移動性的使用者、無法支援快速換手 (Fast Hand-off)、不支援 QoS (Quality of Service) 與未提供錯誤處理機制等問題。

由於 Mobile IP 的三角繞送問題，造成缺乏效率的資料繞送，因此 Route Optimization [03] 試圖解決此一問題，但其設計的 Binding Cache 卻未提供適當的快取更新機制，造成使用 Binding Cache 卻有可能比 Mobile IP 的三角繞送問題更為嚴重，即傳送資料時可能發生 cache miss 的情況增加，誤送資料而產生更大的成本。此外，Route Optimization 也未考慮如何使 Binding Cache 的效能達至最佳，包括如何增加 Binding Cache 的有效使用以及快取置換方式。基於上述 Route Optimization 對於 Binding Cache 的管理未盡完善之故，因此本論文的目的是在於改善原有 Route Optimization 機制的缺失，探討應該如何有效管理 Binding Cache。

本文分三個部份設計智慧型的連結快取管理機制，即快取共用機制、快取更新機制和快取置換策略。首先，在快取共用機制的設計上，將原本存放在 CN 的 Binding Cache 移至 FA，使有效的快取可被同一 FA 下的 CNs 共同使用，大量減少更新訊息與傳送資料所產生的花費。在快取更新機制方面，本文設計一 Adaptive Push Scheme，經學習機制預測 CN 傳送資料的時間間隔，由 HA 根據此預測值，以在最佳時機動態更新 Binding Cache，使得 Binding Cache 的更新機制更有效率。最後，在快取置換策略方面，本文設計一 Weighted Scheme，針對 FA 下所有的 CNs 對不同 MNs 之傳送資料次數為依據，將 CNs 傳送次數較多的 MN 之優先權 (Priority) 提高，每次要置換快取時，將優先權最低的置換，改善快取置換次數及所產生的花費。經實驗結果可以證明本文確實提供了一套較佳的 Binding Cache 管理機制，也增進了 Binding Cache 的效能，使得系統的花費能夠達到最佳。

接下來本文的第二節將就相關研究作一介紹，第三節介紹系統架構與提出的方法，第四節將就模擬結果加以討論，第五節作一簡單結論。

## 二、相關研究

因為 Mobile IP 的缺點，所以有些這方面的研究 [12, 01]，其中，[12] 將原本的 Mobile IP 加入 paging 的機制，CN 可利用 paging 的方式找到 MN，稱之為 P-MIP，此法能減少 MN 向 HA 的註冊次數，所以亦能節省 MN 的電力消耗，但由於在 paging 時所花費的時間較長，故無法達到 fast handoff。[01] 則是使用階層式 (hierarchical) 的 FAs，讓彼此間皆能互相溝通，使 MN 只需作 regional 的 registration，以最小化 MN 的註冊花費。

Route Optimization [03] 利用在 CN 快取 (Cache) 一份 MN 的位置資訊之方式來管理行動使用者的位置，解決 Mobile IP 的三角繞送問題，並採用 forwarding 機制達到 smooth handoff。採用 Binding Cache 的好處是讓 CN 能利用有效的 Binding Cache 將資料直接傳送至 MN 所在的 Foreign Network，免除每次皆需經由 HA 轉送資料。然而 Route Optimization 仍有些問題存在，包括未對 Binding Cache 的有效性、共用性與置換策略詳加考慮，而產生新的問題。

在快取的管理方面有許多研究，包括：在 [13] 中，作者根據使用者的 mobility 和 call arrival 兩參數，推導出 T-threshold 的方法，依照使用者所接收到 call 的頻率動態調整 T-threshold 的大小，以決定何時該將放在快取的位置資訊清除，減少 call delivery 所產生的花費。[04] 使用 systematic caching，在每次使用者存取遠端的資料時便將資料庫複製一份在本地端，如果使用者發生非預期的斷線 (unpredictable disconnections) 時，使用者仍能不受影響地繼續使用資料。而傳統快取置換的方法有 FIFO (First In First Out)、LRU (Least Recently Used) 與 OPT (Optimal)，此外，還有許多相關研究提出各式快取置換改善方法，包括 [08、11、05]。其中，[08] 中的研究發現某些 web 物件較 popular，亦即該物件被查詢的頻率較高，而查詢頻率的高低便會影響快取置換的策略，通常要置換快取時會優先把被查詢頻率低的物件從快取中置換掉，以獲得較佳的效能。[11] 提出了 Segment LRU (SLRU) 的快取置換方式，將快取分為兩個 segment，包括 unprotected segment 和 protected segment。當物件第一次被查詢時，會放到 unprotected segment，若之後再次被查詢，即 cache hit，則會被放置到 protected segment。無論是 unprotected segment 或 protected segment 都是

採用 LRU 的方式置換，如果 protected segment 中的物件要被置換時，會放到 unprotected segment，而在 unprotected segment 中的物件便無條件被置換。[05] 提出 LRU-K 的置換策略，以物件被查詢的次數和最近是否有被查詢兩個準則決定是否該置換快取。利用參數 RP 限制每個物件存放在快取的時間，並將被查詢次數小於 K 次的物件優先置換。

此外，快取的更新頻率亦相當重要，如要使快取的效能達到最佳，即快取的資訊該保持最新，減少 cache miss 的機會，在 [07] 中對於 push 和 pull 的優缺點及差異性有詳細的探討，採用 push 的好處是如果 MN 向 HA 註冊並更新其 mobility binding，HA 可主動通知其他 CNs 更新 binding cache 的資訊，節省 CNs 取得資訊的時間，但 MN 要額外記錄 CNs 的資訊以便通知更新，且如果某 CN 不常需要該 MN 的位置資訊，一直採用 push 的方式不僅浪費且會造成 HA 的負擔；而 pull 的優點在於 HA 不必額外記錄 CNs 的資訊，但缺點是 CNs 要求和回應資訊的時間較長。觀察以上相關研究中，並未對 Binding Cache 有整體的考量，本文則分別針對快取的共用、更新與置換提出全面的管理策略。

## 三、系統概觀

我們的系統作業環境描述如 Figure 1 所示。Network A, B, C 分別連結上 Internet，每一 Subnet (Network A, B, C) 下皆有個別負責的路由器 (HA 與 FA) 管理使用者 MN 的位置資訊。其中，在各網路下的節點，無論 MN 或 CN 欲傳送資料至不同網路時，皆須經由該網路的閘道路由器 (即 HA 或 FA) 將資料傳送至 Internet 後，再傳送到目的端的網路。

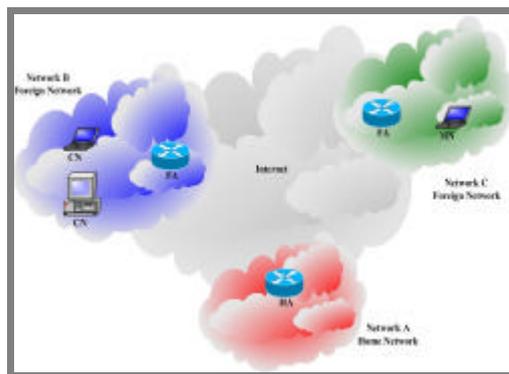


Figure 1 : System Model

本文針對 Route Optimization 做了一些改善的工作，包括快取共用、快取更新和快取置換等三部份。

### (一) 快取共用部份 (Cache Sharing)

Route Optimization 雖然在每個 CN 加入

Binding Cache 記錄 MN 的 CoA 資訊，卻無法讓在同一個 FA 下的其它的 CN 共用，假如其中一個 CN 的 Binding Cache 記錄過時的 CoA，則資料傳送時將會發生 Cache Miss，雖然 HA 會更新該 CN 的 Binding Cache，但其它在同一 FA 下的 CNs 記錄 MN 之 CoA 的 Binding Cache 皆未更新，若要更新這些 CNs 的 Binding Cache 將會產生許多更新訊息的花費，因此本論文將 Binding Cache 的存放位置設計至 CN 所在的 FA 上，即 Cache Sharing Scheme，使得該 FA 下的 CN 皆可共用一份 Binding Cache，節省更新訊息的花費。

## (二) 快取更新部份 (Cache Update)

由於 Route Optimization 未設計更新快取的時機，若發生 cache miss 的情形時，將增加更新成本 (Update Cost) 與搜尋成本 (Search Cost) 的額外花費，使得 Binding Cache 的效能不彰。本文設計一動態快取更新的機制，降低使用 Binding Cache 產生的更新與搜尋成本，依實驗結果，計算每個 FA 的 Eager 值，若其值大於系統的 Threshold<sub>sys</sub> 值，HA 便主動推播 Binding Update Message 至該 FA。為了達到更好的 Cache Hit Ratio 與減少多餘的更新訊息，所以設計一學習機制，動態預測每次 CN 傳送資料至 MN 的時間間隔，以決定由 HA 主動推播 Binding Update Message 的時間，稱之為 Adaptive Push Scheme。

其中，為了以最小成本達成最佳效能，以傳送最少的 Binding Update Message，卻又能使 CN 傳送資料時減少 Mobility Binding 的 cache miss 情況發生，故考慮 LCMR<sub>MN, FA</sub> (指 MN 和 FA<sub>CN</sub> 間的 LCMR) 和 d<sub>FA, HA</sub> (FA<sub>CN</sub> 與 HA 間距離) 此兩項參數，故將定系統的 Threshold<sub>sys</sub> 定為 0.12 (設計一組模擬實驗求得，參見第四節實驗一的介紹)。另外，定義 Eager<sub>FA</sub> 為 FACN 相對於 MN 的 LCMR 和 FA<sub>CN</sub> 與 HA 間距離之比值，即：

$$Eager_{FA} = \frac{LCMR_{MN, FA}}{d_{FA, HA}} \quad (1)$$

若 FA<sub>CN</sub> 之 Eager<sub>FA</sub> > Threshold<sub>sys</sub>，則每次 MN 移動時，HA 馬上推播 Binding Update Message 給該 FA<sub>CN</sub>；相反地，如果 FA<sub>CN</sub> 之 Eager<sub>FA</sub> < Threshold<sub>sys</sub>，則當 MN 的 Mobility Binding 更新時，並不傳送 Binding Update Message 給 FA<sub>CN</sub>。

另外，為了使 CN 傳送資料時有更高的 cache hit ratio 並花費系統最小成本，故我們設計一學習機制，可因 CN 不同的傳送資料之時間間隔，動態調整並有效預測下次 CN 將傳送資料給 MN 的時間，以便 HA 推播 Binding Update Message 至 FA<sub>CN</sub>，在推播次數較少的

情況下，提升 cache hit ratio，以減少系統的花費。其作法是將每次 FA 下的 CNs 傳送資料予 MN 的時間間隔總和之平均值，以及最近一次 CN 傳送資料至 MN 的時間間隔，分配不同的權重 (weight)，計算出預估的傳送資料時間間隔，並由 FA 定期將預估的傳送資料時間間隔傳送至 MN 的 HA。其中，預測最佳傳送資料的時間間隔為  $Send\ Duration\ Time_{dynamic}$ ，計算方式如 (2) 式。

$$Send\ Duration\ Time_{dynamic} = w \times Send\ Duration\ Time_{estimate} + (1 - w) \times Send\ Duration\ Time_{latest} \quad (2)$$

其中， $Send\ Duration\ Time_{estimate}$  為過去每次從 FA<sub>CN</sub> 內之 CNs 傳送資料予同一 MN 之間隔時間總和的平均值，定義如式 (3) 所示， $Send\ Duration\ Time_i$  為 FA<sub>CN</sub> 內的 CNs 第 i 次傳送資料的間隔時間； $Send\ Duration\ Time_{latest}$  為目前最後一次傳送資料的間隔時間；而 w 表權重， $0 < w < 1$ ，w 越大表預測的時間間隔以過去平均每次傳送資料時間間隔的經驗值為主，反之，w 越小則表預測的時間間隔以最後一次的傳送資料時間間隔為主。

$$Send\ Duration\ Time_{estimate} = \frac{\sum_{i=1}^n Send\ Duration\ Time_i}{n} \quad (3)$$

FA 將每次計算得到的  $Send\ Duration\ Time_{dynamic}$ ，定期傳送至 MN 的 HA，而 HA 記錄此預測最佳傳送資料的時間間隔，每隔此時間間隔 HA 將檢查該 FA 的 Eager 值是否大於 Threshold<sub>sys</sub> 及目前 MN 的 CoA 是否與上次傳送至該 FA 的 CoA 相同，藉以決定推播 Binding Update Message 至 FA。每次 MN 註冊時，HA 並不馬上推播 Binding Update Message 至 FA，直到同時滿足下列三條件時，HA 才會主動推播 Binding Update Message 至該 FA。其中：

- ✓ 條件 1: FA 所預測此時 CN 將會傳送資料至 MN，故此時應通知 FA 更新快取。
- ✓ 條件 2: 更新 Binding Cache 後，資料傳送和訊息更新的花費總和小於未更新時所產生的花費。
- ✓ 條件 3: FA 端所存放 MN 的 CoA 和目前 MN 最新的 CoA 相異，故應更新。

此三項條件同時成立後，HA 便馬上推播 Binding Update Message 至該 FA

## (三) 快取置換部份 (Cache Replacement)

快取的大小並非無限制，如某一 MN 的 Binding 資訊要存入快取時，且快取空間已滿，便須從整份快取中選擇置換的對象。為了保持較低的快取置換次數，進而減少快取更新

成本和發生 Cache Miss 的機會，本文設計一 Weighted Scheme，根據 FA 下的 CNs 對不同 MNs 的傳送資料次數，將傳送次數越多的 MN 之 Binding Cache 給予較高的優先權，目的在於依照過去的歷史記錄，以保留 CNs 較感興趣的 Binding Cache，即每次 CN 傳送資料予 MN 時，便提升其優先權，當要置換快取時，選擇優先權最低的 Binding Cache 置換。

#### 四、實驗模擬與結果分析

此處假設一個  $10 \times 10$  的網狀拓樸 (mesh topology)，用以模擬行動環境的網路，每個方格皆表示一個子網路 (subnet)，共有 100 個子網路，每個子網路皆有一 HA 或 FA，負責傳送該網路下 MN 或 CN 的傳送與接收資料。MN 的初始位置為隨機 (random) 產生，在每個子網路的停留時間則以指數分佈 (exponential distribution) 產生，每隔一停留時間後，MN 會隨機移動至相鄰的子網路，共有四個移動方向可供選擇，且每個方向的機會相等。CN 的位置也是隨機產生，每隔一段時間會傳送資料給 MN，此間隔時間亦以指數分佈產生。在計算傳送資料所產生的花費方面，為了量化方便起見，故將子網路內傳送的花費省略，只計算某子網路到另一子網路之間的傳送距離。實驗參數的設定如 Table 1 所示。

Table 1 : Parameter Settings

Parameter	Setting
Simulation Time	10000.0 time units
Number of MNs	1 - 10
Number of CNs	1 - 100
Number of HAs	1 - 10
Number of FAs	1 - 10
Distance between CN's FA and MN's HA ( $d_{FA, HA}$ )	3 - 15
Mean Send Duration Time of CN	0.1 - 10.0 time units (exponential distribution)
Mean Stay Time of MN	1.0 time units (exponential distribution)
Cache Size	1 - 9 entries

- **實驗一：Threshold<sub>sys</sub> 值大小對 Threshold Scheme 效能的影響**

由 Figure 2 中可以看出，在 Threshold<sub>sys</sub> 值過小的情況下，因 HA 推播 Binding Update Message 至 FA 的次數過於頻繁，產生大量 Update Cost，也使得 Total Cost 過高；反之，若 Threshold<sub>sys</sub> 值太大，則 HA 較少傳送 Binding Update Message 至 FA，因此可能增加發生 cache miss 的次數，造成 Data Routing Cost 升

高，所以 Total Cost 也偏高。而 Threshold<sub>sys</sub> 值為 0.12 時所產生的 Total Cost 最低，表示在傳送資料與更新訊息的花費取得較佳的平衡。

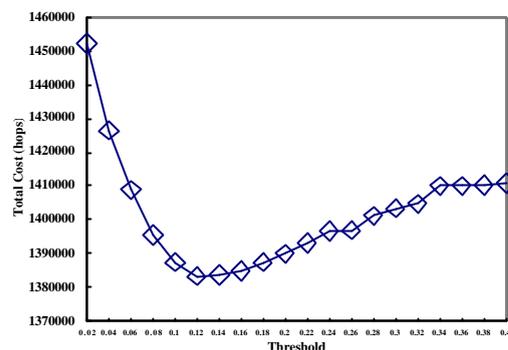


Figure 2 : Threshold Scheme 在不同 Threshold<sub>sys</sub> 大小下所產生的 Total Cost

- **實驗二：LCMR 大小對採用 Adaptive Push Scheme 對系統效能的影響**

在 Adaptive Push Scheme 的 Average Case 下，每次預測 CN 傳送資料的時間與實際上每次所產生的實際值並不一定完全相符。在 Figure 3 中可以發現，在 LCMR 小於 1 的情況，Adaptive Push Scheme 因 CN 傳送資料次數較少，使得預測的時間較不準確，且增加了一些更新訊息的花費，所以 Total Cost 高於 MIP 和 MIPRO，但隨著 LCMR 升高，Data Routing Cost 所佔 Total Cost 的比例亦增加，且預測的 CN 傳送資料時間也漸準確，使得 Adaptive Push Scheme 所產生的 Total Cost 皆低於 MIP 和 MIPRO。

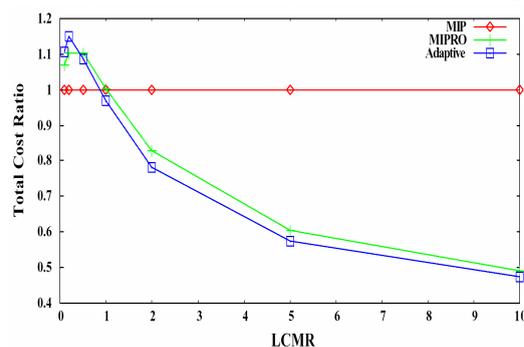


Figure 3 : Total Cost Ratio

- **實驗三：多個 CNs 共用快取對系統效能之影響**

Figure 4 為使用 Cache Sharing 的 Adaptive Push Scheme 和 MIPRO 比較之結果。在圖中可見採用 Cache Sharing 的 Adaptive Push Scheme 因共用快取的關係，隨著每個 FA 下的 CN 數目增多，比 MIPRO 產生較少的 cache miss 和減少更新 Binding Cache 的次數，故在 Total Cost 明顯優於 MIPRO 的方法。

## 五、結論

本文提出一套在 Mobile IP 下具有智慧的連結快取管理策略，包括快取共用機制、快取更新機制與快取置換方法等。首先，將 Binding Cache 存放至 CN 的 FA 下，使得有效的快取可被同一 FA 下的 CNs 共用，不僅減少更新快取的訊息傳遞，也使得傳送資料時產生 Cache Miss 的次數降低。此外，在設計快取更新機制部分，在 Adaptive Push Scheme 中，更新 Binding Cache 的時間依學習機制預測而動態調整，即預測 CN 傳送資料予 MN 的時間，使得 Binding Cache 能達到更高的 Cache Hit Ratio 及更佳的效能表現。最後，對於快取大小有限的問題，本論文也提出一快取置換方法，Weighted Scheme，將使用率較高的 MN 之 Binding Cache 保留，降低快取置換次數及所產生的花費。透過的模擬實驗結果，得以驗證本論文所提出的方法，無論在快取命中率、更新訊息花費、傳送資料花費和總的花費等方面均優於 Route Optimization 的表現，並進一步提升了 Binding Cache 的使用效能。

## 誌謝

本研究由中華民國行政院國家科學委員會補助，計劃編號：NSC90-2213-E-415-003、NSC91-2213-E-415-001。

## 六、參考文獻

- [01] A. Abdel-Hamid and H. Abdel-Wahab, "Local-area Mobility Support through Co-operating Hierarchies of Mobile IP Foreign Agents," in Proc. IEEE ISCC' 2001, pp. 479-484, Hammamet, Tunisia, July 2001.
- [02] C. Perkins, "IP Mobility Support," IETF, RFC 2002, Oct. 1996.
- [03] C. Perkins and D. B. Johnson, "Route Optimization in Mobile IP," IETF, Internet Draft, draft-ietf-mobileip-optim-11.txt, Sep. 2001.
- [04] D. B. Terry, M. M. Theimer, K. Petersen, A. J. Demers, M. J. Spreitzer, and C. H. Hauser, "Managing Update Conflicts in Bayou, a Weakly Connected Replicated Storage System," in Proc. of the 15th ACM Symposium on Operating System Principles, vol. 29, no. 5, pp. 172-183, Dec. 1995.
- [05] E. O'Neil, P. O'Neil and G. Weikum, "The LRU-K Page Replacement Algorithm for Database Disk Buffering," in Proc. of the 1993 ACM SIGMOD Conference, pp. 297-306, May 1993.
- [06] J. Solomon, "Mobile IP: The Internet Unplugged," Prentice Hall, 1998.
- [07] K. Cheverst and G. Smith, "Exploring the Notion of Information Push and Pull with

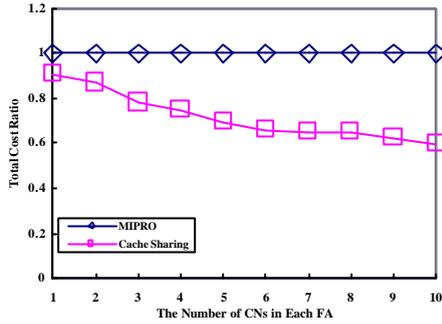


Figure 4 : Total Cost Ratio

### ● 實驗四：Cache Size 大小對不同 Cache Replacement Scheme 的影響

Figure 5 (a) 圖中所呈現的是 cache size 大小對各種快取置換方法，在置換次數方面的影響。置換次數在四種方法中，皆因 cache size 變大而減少，而在 cache size 大小皆相同的情況下，OPT 因為能預先得知最不可能用到的 cache，故其置換次數最低，FIFO 所置換的次數最高，LRU 稍次之，Weighted Scheme 因考量到不同的 FA 對不同的 MN 之 LCMR 大小，故其置換次數優於 FIFO 和 LRU。Figure 5 (b) 則是 cache size 大小對三種不同的快取置換方法，在資料和訊息傳送時的花費。由於快取置換的次數越小，表示存放在快取內的資料使用率越高，所以減少了 Data Routing Cost 和 Update Message Cost，故在 Total Cost 方面，OPT 產生的花費最少，而 Weighted Scheme 的方法仍明顯優於 FIFO 和 LRU。

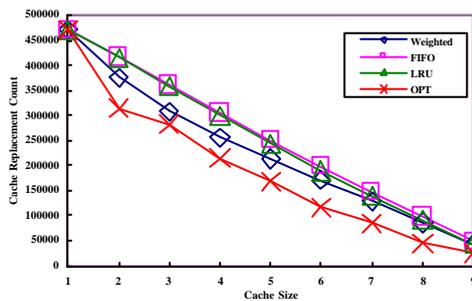


Figure 5 (a): The Number of Cache Replacement

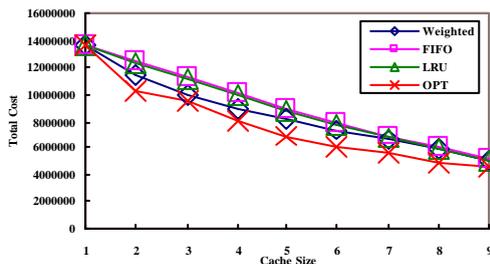


Figure 5 (b) : Total Cost

- Respect to The User Intention and Disruption,” in Proc. of the International Workshop on Distributed and Disappearing User Interfaces in Ubiquitous Computing, pp. 67-72, Nov. 2001.
- [08] M. Arlitt and C. Williamson, “Internet Web Servers: Workload Characterization and Performance Implications,” IEEE/ACM Transactions on Networking, vol. 5, no. 5, pp. 631-645, Oct. 1997
- [09] P. Reinbold and O. Bonaventure, “A Comparison of IP Mobility Protocol,” University of Namur, Infonet Group, Tech. Rep. h-fonet-TR-2001-07, June 2001.
- [10] R. Jain, T. Raleigh, D. Yang, L. F. Chang, C. Graff, M. Bereschinsky, and M. Patel, “Enhancing Survivability of Mobile Internet Access Using Mobile IP with Location Registers,” in Proc. IEEE INFOCOM, vol. 1, pp. 3-11, Mar. 1999.
- [11] R. Karedla, J. Love and B. Wherry, “Caching Strategies to Improve Disk System Performance,” IEEE Computer, vol. 27, no. 3, pp. 38-46, Mar. 1994.
- [12] X. Zhang, J. Castellanos, and A. Campbell, “P-MIP: Paging in Mobile IP,” The Fourth International Workshop on Wireless Mobile Multimedia, Rome, Italy, July 2001.
- [13] Y. B. Lin, “Determining the User Locations for Personal Communications Services Networks,” IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 43, no. 3, pp. 466-473, Aug. 1994.