

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

高可靠度行動計算系統(II)

Highly Reliable Mobile Computing Systems(II)

計畫編號： NSC88-2213-E-002-040

執行期限：民國87年8月1日到88年7月31日

主持人：郭斯彥

國立台灣大學電機工程學系教授

一、中文摘要(關鍵詞：行動計算，固定處理機，行動處理機，無線通訊網路，容錯問題。)

行動計算 (Mobile Computing) 是目前一個熱門研究領域。它是由一群固定處理機 (fixed hosts) 和行動處理機 (mobile hosts) 所形成的一個分散式處理系統。在這種系統架構下，固定處理機 (fixed hosts) 彼此間是由一個靜態網路 (static network) 連接起來。而行動處理機和其它行動處理機間之通訊必需經由固定處理機。一個固定處理機連接多個行動處理機，形成一個無線通訊網路 (wireless network)。行動計算系統主要的特性是：使用者可在任何地點、任何時間存取所需資訊。

先前已有許多文獻在探討分散式系統容錯問題 (fault-tolerant problem)，在他們所提出的容錯方法，並未對錯誤如何被偵測加以說明，也不適用於行動區網路系統。

行動區網路系統具有下列三項特性：

- (一) 行動處理機具有隨意行動的特性。
- (二) 行動處理機的電能是由一個電池組 (battery pack) 供應，電池組所能供應的電能時間有一定的限度。
- (三) 行動處理機和固定處理機間無線網路頻寬，與一般有線網路頻寬比較起

來，有一大段差距。無線通訊也極易受到干擾。

本整合型計畫之最終目標是在研發一個行動區域網際網路，並在這種系統架構之下，提供立即反應資訊服務。但隨系統裏處理機數目以及在此系統上應用程式執行時間的增加，這時行動計算系統裏會發生錯誤 (failures) 的機率也隨之提高。這裏所指錯誤包括固定處理機和行動處理機內部錯誤 (processor failures)，以及行動處理機和固定處理機間無線通訊網路裏通訊錯誤 (communication failures)。錯誤發生後，系統裏所執行的程式必需重新開始執行。故一旦錯誤發生，系統無法對使用者需求 (requests) 立即回應。這種情況違反本整合型計畫目標。在第一年計畫，我們將一個用於分散式系統的容錯方法 log-based rollback recovery 加以修改後，設計出一個適用於行動資訊系統的容錯方法。這個容錯方法能容忍固定處理機和行動處理機的內部錯誤，也考慮到行動處理機的行動性 (mobility)、電能消耗量 (energy consumption)、無線鏈結低頻寬 (low bandwidth of wireless links)。在第二年計畫，我們發展一個新的錯誤偵測方法，它能偵測出較多錯誤，並區分錯誤是發生在通訊線路或是處理機、和降低因錯誤偵測對系統所引起 overhead。我們也利用 replication 方法重建因處理機發生錯誤所造成位址資訊遺失並且探討如何改進行動處理機之間無線通訊品質。

英文摘要 (Keywords : Mobile computing, fixed nodes, mobile nodes, wireless network, fault-tolerant problem.)

Mobile computing is a hot research area in recent years. It consists of a set of fixed hosts and mobile hosts to form a distributed processing system. In this system architecture, the fixed hosts are connected to each other by a static network. A mobile host communicates with other nodes in the system through a fixed host. The communication between the mobile host and the fixed host is via a wireless network. The main characteristic of the mobile computing system is as follows: The mobile computing system can provide users to access information at anywhere and anytime.

A large body of literature concerning the fault tolerance problem exists, but most of them deal with distributed systems rather mobile computing systems. The fault-tolerant approaches for distributed systems can not be directly applied to solve the fault-tolerant problem in mobile computing systems. The reasons are as follows.

(1) In mobile computing systems, the location of a mobile host changes with time.

(2) A mobile host is usually powered by a stand alone energy source, like a battery pack, that has to be replenished after a certain period of time.

(3) Wireless communication is lower bandwidth and higher error rate than wired communication

The goal of this integrated project is to design a responsive information service system for mobile environment. However, as the number of hosts in the system and running time of distributed applications increase, the probability of one or more failures also increase. Here, the failures

can occur in the fixed nodes and mobile hosts, or on the wireless links between the mobile host and the fixed host. The failures in the mobile computing system will result in the system to restart from beginning. Therefore, if an error occurs, the system can not respond the user request with a predetermined interval. This behavior contradicts the goal of our integrated project. In the first year, we utilized the log-based approach to implement a mobile information system with the capability for tolerating fixed hosts and mobile hosts' failures. In the second year, we proposed a new error detection method to detect more errors and identify the sources of errors correctly. In addition, we used the replication technique to reconstruct the lost location information, and used the dynamic channel allocation technique to improve the quality of wireless communication.

二、計畫緣由與目的

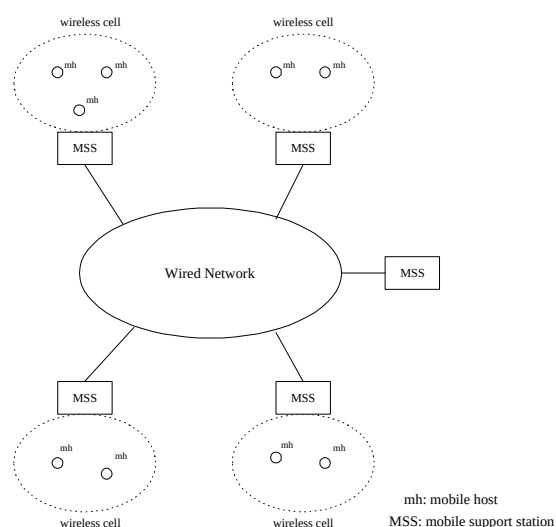
無線網路技術進步，造成傳統計算 (computing) 變化，進一步引發出一種新的計算形式：行動計算 (mobile computing)。行動計算系統可使使用者在任意時間可在任何地點存取所需資訊 (required information)。例如：假設醫院裏已架設好一個行動計算系統，當醫生或護士到病房巡房，如需存取病人的病歷資料，便可利用一台可攜式電腦 (portable computer) 透過行動計算系統網路存取到所需資料，而不需到檔案室拿取資料或在病房某處事先佈置好通訊線路。

行動計算系統結構如圖一所示。它是由一群固定處理機 (fixed hosts) 和行動處理機 (mobile hosts) 透過通訊網路 (communication network) 連接起來，形成一個分散式計算系統。這種系統架構下，固定處理機 (fixed hosts) 彼此間是由一個有線網路 (wired network) 連接起來。如果一個固定處

理機有連接多個行動處理機，這個固定處理機也被稱為行動供應站 (mobile support station)。一個行動供應站與它所連接的行動處理機之間通訊方式是用無線 (wireless) 的方式。當一個行動性處理機 *mh1* 要送訊息給另一個行動處理機 *mh2*，它們之間通訊方式如下。*mh1* 首先傳送訊息到它所屬的行動供應站，這個行動供應站尋找行動處理機 *mh2* 所屬行動供應站，然後轉送訊息到 *mh2* 所屬行動供應站。最後，*mh2* 所屬行動供應站再將訊息傳送給 *mh2*。

本整合型計畫，最終目標是在行動計算系統架構下，設計出一個立即回應資訊系統。但隨著系統裏處理機數目以及程式執行時間的增加，這時行動計算系統裏會發生錯誤 (failures) 的機率也隨之提高。這裏所指錯誤包括：固定性處理機和行動性處理機內部錯誤 (processor failures)。此外，無線通訊訊號極易受週圍環境影響，而遭受干擾。錯誤發生後，系統裏執行程式必需從新開始執行。故一旦錯誤發生，系統無法對使用者需求 (requests) 立即回應。這種情況違反本整合型計畫目標。本子計畫目的，在行動計算系統架構下，當有錯誤發生在本整合型計畫設計的行動資訊系統時，系統仍能在短時間內，對使用者需求立即回應。

在第一年計畫，我們利用 independent checkpointing 以及 logging 這兩種技術來設計一個能容忍固定處理機和行動處理機內部錯誤的行動資訊系統。在本計畫裏，主要是利用第一年所得到一些研究成果，繼續研究在行動資訊系統尚未解決的容錯問題 (錯誤偵測和位址資訊遺失) 及通訊品質問題。接下來，我們將本計畫工作項目之背景、目的、重要性以及國內外有關之研究，詳述如下：



圖一、行動計算系統架構。

(一) 錯誤偵測：

傳統上對於錯誤偵測大都採用 redundancy 方法。所謂 redundancy 方法，在原本系統中，對於所要偵測元件，在這元件裏增加一些額外資訊 (information)、資源 (resources)、執行時間 (run time)。根據所加進項目，redundancy 方法可細分成下列四種：Hardware redundancy, Software redundancy, Information redundancy 及 Time redundancy。截至目前為止，大多數錯誤偵測文獻，都是利用上述四種 redundancy 方法，選取一種或混合應用發展出他們各自錯誤偵測方法。

(二) 改進 checkpointing 時對系統所引起的 overhead

Checkpointing 是一種 "backward error recovery" 方式。系統定期將系統執行狀態儲存到 stable storage，每次所儲存起來系統狀態稱為一個 checkpoint。將來一但系統發生錯誤，系統便可從 stable storage，將先前所儲存某一 checkpoint，從 stable storage 重載回系統，系統從

那載回狀態開始執行。

在分散式系統做 checkpointing，要比在單一處理單元系統做 checkpointing 複雜許多。因分散式系統包含多個處理單元 (processing nodes)，程式在分散式系統執行時，是先被分成多個小執行單元 (processes)，然後再分別分派到這些處理單元上執行。所以在分散式系統上做 checkpointing，需考慮到各個處理單元之間關係。分散式系統之下，checkpointing 技術大致可分作兩大類：(1) Synchronous checkpointing (2) Asynchronous checkpointing。

(三) 重建遺失位址資訊

在行動計算系統的環境中，要掌握各個行動處理機的所在位置，是件相當重要的工作。這件工作我們稱之為「位址管理」 (location management)。位址管理主要由三個部分組成：「位址更新」 (location update)、「位址搜尋」 (location search)，以及「位址搜尋並更新」 (location search-update)。當某個行動處理機從 wireless cell X 移動到 cell Y，則我們需要作位址更新。若某處理機 A (可為固定處理機或行動處理機) 想要傳送訊息到行動處理機 B，而 A 並不曉得 B 的所在位置，則需要先執行位址搜尋，找到了以後才進行連線，然後開始資料的傳輸。位址搜尋並更新的動作則發生在位址搜尋執行成功之後，把行動處理機 B 的所在位置記錄下來，以便下次恰巧需要尋找行動處理機 B 時，不必重新進行搜尋。上述各項動作所處理的資訊，我們稱之為「位址資訊」 (location information)。

(四) 改善無線通訊品質

行動主機在網路上自由移動，

常常會從某一個 wireless cell 移動到另一個 cell 的範圍。行動處理機從 cell X 移動到 cell Y 的過程中，行動系統資訊需要作一些改變，我們稱此過程為 handover。我們可以想見，handover 的設計好壞，會直接影響到通訊品質。另一方面，由於網路頻寬有限，而使用者數量眾多；如何對有限頻寬作最有效的利用，成為我們設計的重點。無論是新使用者要求連線，或是使用者從隔壁 cell 進入後要求繼續通話，系統都必須執行的工作就是「指定頻道」 (Channel Assignment)。指定可用頻道給使用者的方式也有許多種，主要可分成三大類：Fixed Channel Assignment、Dynamic Channel Assignment，以及 Flexible

本子計畫將針對第三點及第四點，提出固定處理器發生錯誤時遺失位址資訊的容錯方式，並且探討並設計 dynamic channel assignment 的頻道分配方式，以期達到最好的無線網路服務品質。

三、研究方法與成果

本子計畫於第二年，完成的成果如下：

(一) 重建遺失位址資訊

在行動計算系統的環境中，要掌握各個行動處理機的所在位置，是件相當重要的工作。這件工作我們稱之為「位址管理」 (location management)。位址管理主要由三個部分組成：「位址更新」 (location update)、「位址搜尋」 (location search)，以及「位址搜尋並更新」 (location search-update)。當某個行動處理機從 wireless cell X 移動到 cell Y，則我們需要作位址更新。若某處理機 A (可為固定處理機或行動處理機) 想要傳送訊息到行動處理機 B，而 A 並不曉得 B 的所在位置，則需要先

執行位址搜尋，找到了以後才進行連線，然後開始資料的傳輸。位址搜尋並更新的動作則發生在位址搜尋執行成功之後，把行動處理機 B 的所在位置記錄下來，以便下次恰巧需要尋找行動處理機 B 時，不必重新進行搜尋。上述各項動作所處理的資訊，我們稱之為「位址資訊」(location information)。

行動處理機講求的是行動的便利性，機器本身要輕，因此其儲存空間不大；而且主要是因為行動處理機的可依賴度不高，所以我們不把位址資訊存放在行動處理機的儲存設備中。在固定網路上的主機，它有較大的儲存空間；而且因為它是固定在網路上，其可依賴度比起行動主機要高許多，所以把位址資訊存放在固定處理機的儲存設備是適當的。但是如果行動處理機的數量很多，則位址資訊的量也會相當大；如果每個固定處理機的儲存設備都存一份這樣的資訊，仍然將使得資源過度浪費。因此有階層式的位址目錄 (location directory) 產生，階層架構愈下層的處理機所存放的位址資訊愈少，而最上層處理機的則要保有相當大的資料量以供下層詢問之用。另外，也有人提出完全以分散式的架構來作為位址資訊的儲存。在本子計畫中，我們將考慮的是位址資訊的容錯；也就是，如果位址資訊因為固定主機壞掉而喪失，則我們需要有重建位址資訊的能力。

在 [Rangarajan and Ratnam 95] 的設計中，他們提出了一套各個處理機之間位址資訊溝通的協定。這套協定的基本架構是在每個固定處理機都存有所有的位址資訊，如此可避免向單位址資訊伺服器詢問而造成可觀的時間延遲。若行動處理機 A 原來在 cell X，後來離開 X 而進入 cell Y，則管理 cell Y 的固定處理機需要將 A 的位址資訊傳送給其他固定處理機，以使各個位址資料庫都獲得這個最新資訊。因為網路傳輸偶爾會

有延遲的情形，所以可能會發生有兩個關於行動處理機 A 的位址資訊同時傳遞，可是兩個資訊內容卻不一樣。也就是說，需要有個機制來區分「新、舊」資訊。[Rangarajan and Ratnam 95] 在位址資訊中加入了個時間標記 (location counter, LC)，其數值採用絕對遞增的方式，數值愈大表示是愈新的資料。LC 值將由各個行動處理機攜帶著，比起由某固定位置提供時間標記數值資料要方便許多。他們也定義了固定處理機傳遞位址資訊的方式，證明出最後所有固定處理機都將獲得最新的位址資訊。另外，如果在行動處理機上的 LC 值發生錯誤，這套協定也可以克服這個問題。至於固定處理機本身如果發生錯誤導致位址資訊遺失，則在另一篇參考資料 [Rangarajan 95] 有提到解決方式。

在行動計算系統中，行動處理機位址並不固定，行動供應站需記錄它目前所連接到的行動處理機。但這位址資訊會隨行動供應站發生錯誤而遺失。如何重建遺失位址資訊，在已提出行動計算系統的容錯方法並沒有考慮。在本子計畫，重建遺失位址方法如下：

每一個行動處理機有一預定行動供應站，記錄它目前所在位址。當行動處理機 mh_x (假設它預定行動供應站是 MSS_d) 從 cell A (一個 cell 是由一個行動供應站和多個行動處理機所形成無線網路) 移到 cell B，這時除 cell B 的行動供應站 MSS_B 會記錄行動處理機 mh_x 的位址。行動供應站 MSS_d 也記錄行動處理機 mh_x 的最新位址。如果 cell B 裏行動供應站發生錯誤，它所記錄行動處理機 mh_x 的位址資訊可從行動供應站 MSS_d 獲得。萬一行動供應站 MSS_d 也發生錯誤，系統會廣播 (broadcast) 發出一個尋找行動處理機 mh_x 位址的訊息。

(二) 改善無線通訊品質

行動主機在網路上自由移動，常常會從某一個 wireless cell 移動到另一

個 cell 的範圍。行動處理機從 cell X 移動到 cell Y 的過程中，行動系統資訊需要作一些改變，我們稱此過程為 handover。我們可以想見，handover 的設計好壞，會直接影響到通訊品質。另一方面，由於網路頻寬有限，而使用者數量眾多；如何對有限頻寬作最有效的利用，成為我們設計的重點。如果整個無線網路共用一套無線頻譜又要各個頻道不互相影響，則我們能區分出的頻道數目根本不夠供那麼多使用者同時使用。我們需要將頻譜分割成許多不互相重疊的頻帶，然後將這些頻帶分別指定給各個 wireless cell 使用。使用同一套頻帶的 cell 則要相距夠遠，才不致彼此受到對方的干擾。由以上的說明我們可以得知，上述的單一頻帶所能容納的傳輸頻道不會太多；如果使用者人數一多，則常發生頻道不足而迫使新使用者暫緩使用的情形。另外，某使用者在隔壁 cell 連上了網路，由於他的位置移動的關係，從隔壁 cell 進入了此一 cell，我們當然要供給這個使用者一個可用的頻道才不致因為改變 cell 卻使得連線中斷。強迫中斷或被迫暫緩使用的情形愈少，代表了愈高的服務品質。無論是新使用者要求連線，或是使用者從隔壁 cell 進入後要求繼續通話，系統都必須執行的工作就是「指定頻道」(Channel Assignment)。指定可用頻道給使用者的方式也有許多種，主要可分成三大類：Fixed Channel Assignment、Dynamic Channel Assignment，以及 Flexible Channel Assignment。分別簡述如下：

- (1) Fixed Channel Assignment: 每個 wireless cell 固定分配一套頻帶，如果不敷使用則向隔壁 cell 借頻道使用 (borrowing)。依此原理可再細分成 Basic Fixed、Simple Borrowing、Hybrid、Borrowing with Ordering 等四種指定方式。
- (2) Dynamic Channel Assignment: 不指

定某 cell 固定使用某個頻帶，而其使用頻道則由一個中央管理處來作動態分配。可謂之是 call-by-call optimized。

- (3) Flexible Channel Assignment: 同時兼顧 Fixed 及 Dynamic 的特性；某個 cell 有部份的使用頻道是事先指定的，而系統則保留一部份的頻道供中央管理處來作分配之用。這兩類頻道的分配比例，可由預先分配 (scheduled) 或預測 (predictive) 的方式來決定。

為了追求更好的無線通訊品質，我們在無線頻道的分配上將採用「動態頻道分配」(Dynamic Channel Allocation)。這種作法，需要有個中央分配單位來負責頻道的分配；我們稱這個中央分配單位叫作「行動交換中心」(Mobile Switching Center, MSC)。行動交換中心的設計將是重點，它需要訂出一套適當的 cost function，以 cost function 的最小化為目標。其中的重點項目包含有：

- (1) 選定適用頻道的演算法：因為相同的頻道重覆使用最短距離有個最小範圍(channel reuse distance)，所以在選定頻道時需要考慮這點，盡量使得 total channel reuse distance 為最小；也就是使得 blocking probability 降至最低。
- (2) 盡量使得使用者在作連線請求時，指定頻道所花費的時間延遲為最小。
- (3) 盡可能減輕行動交換中心的工作負荷。我們可以設計一套分散式的行動交換中心，把負擔分散到各個行動交換中心。但此時我們也面臨到分配效率的問題，以及分配中心彼此的溝通協調的問題 – 避免頻道相衝導致互相干擾。

四、結論與討論

在本子計畫中，我們在行動計算系統架構下，設計出一個有效率容錯方

法。當有錯誤發生在本整合型計畫設計的行動資訊系統時。系統仍能在短時間內，對使用者需求立即回應。此外，我們也提出新的錯誤偵測方法，這方法能偵測出較多錯誤、區分錯誤是發生在通訊線路或處理機。

藉由本子計畫的執行，我們於計畫執行上都獲得了許多寶貴的經驗。這些經驗包括行動處理系統的硬體架構、系統軟體、及研究上分析與比較方法。同時也謝謝國科會給予我們執行此計畫的機會。

五、參考文獻

- [1] N. H. Vaidya and S. Hameed, "Data Broadcast in Asymmetric Wireless Environments," First International Workshop on Satellite-based Information Services (WOSBIS),
- [2] D. K. Pradhan, P. Krishna, and N. H. Vaidya, "Recovery in Mobile Environments: Design and Trade-Off Analysis, "Proc. 23rd Int'l. Symp. on Fault-Tolerant Comput., June, 1996.
- [3] P. Krishna, N. H. Vaidya, and D. K. Pradhan, "Location Management in Distributed Mobile Environment," Proc. 3th Int'l. Conf. on Parallel and Distributed Information Systems, Sept., 1994.
- [4] P. Krishna, N. H. Vaidya, and D. K. Pradhan, "Recovery in Multicomputers with Finite Error Detection Latency, " Proc. 23th Int'l. Symp. on Fault-Tolerant Computing, June 1994.
- [5] A. Acharya, B. R. Badrinath, and T. Imielinski, "Checkpointing Distributed Applications on Mobile Computers, " Technical Report, Department of Computer Science, Rutgers, University, 1994
- [6] B. R. Badrinath, A. Acharya, and T. Imielinski, "Structuring Distributed Algorithms for Mobile Hosts," Proc. 14th Int'l. Conf. on Distributed Computing Systems, June 1994.
- [7] P. Bhagwat and C. E. Perkins, "A Mobile Networking System Based on Internet Protocol(IP)," Proc. of the USENIX Symp. on Mobile and Location-Independent Computing, pp. 69-82, Aug., 1993.
- [8] G. H. Forman and J. Zahorjan, "The Challenges of Mobile Computing," *IEEE Computer*, 27(4):38-47, April 1994.