

南 華 大 學
資 訊 管 理 研 究 所
碩 士 論 文

應用二次規劃來解決無線廣播資料排程之問題

Using Quadratic Programming for Data Broadcast

Scheduling in Wireless Environment



研 究 生：蕭 如 卿

指 導 教 授：吳 光 閔 博 士

中 華 民 國 九 十 四 年 十 二 月 一 日

應用二次規劃來解決無線廣播資料排程之問題
Using Quadratic Programming for Data Broadcast
Scheduling in Wireless Environment

研 究 生 : 蕭 如 卿 Student :Hsiao Ju-Chin

指 導 教 授 : 吳 光 閔 博 士 Advisor :Dr. Wu Guang-Ming

南 華 大 學

資 訊 管 理 研 究 所

碩 士 論 文

A Thesis

Submitted to Department of Information Management
College of Management

Nan-Hua University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master of Business Administrator

in

Information Management

December 2005

Chaiyi Taiwan, Republic of China.

中華民國 九 十 四 年 十 二 月

南 華 大 學
資 訊 管 理 研 究 所
碩 士 學 位 論 文

應用二次規劃來解決無線廣播資料排程之問題

研究生：蕭如卿

經考試合格特此證明

口試委員：吳 敏

蔡德海

吳光閔

指導教授：吳光閔

系主任(所長)：

口試日期：中華民國 94 年 12 月 1 日

誌 謝

感謝指導老師吳光閔老師的用心與不厭其煩的教導，使得研究面臨問題時得以順利解決，感謝口試老師的指導修訂，感謝老和尚教導正知見的觀念，感謝爸媽的關心支持，感謝星价無微不至的照顧與星价的爸媽，感謝所有教導我們的老師與奎佑學長、建億學長及一群可愛的同學元安、建磐、美倫、閔皓、俊杰、乾訓、明哲、建榮、素蜜、俊男、文天、伊帆……與各位學弟妹……，謝謝你們的鼓勵。

最後祝福每一位身體健康心想事成，知福、惜福之人才有資格追求幸福。

蕭如卿 謹識

于南華大學

民國九十四年十二月

應用二次規劃來解決無線廣播資料排程之問題

學生：蕭如卿

指導教授：吳光閔

南 華 大 學 資 訊 管 理 學 系 碩 士 班

摘 要

經歷無線通訊技術及行動計算快速的成長，由於無線通訊的頻寬和能源的限制，於是提出無線廣播的議題，本論文的焦點集中於對資料項有效的進行廣播排程，以縮短用戶端的存取時間。本研究於「多項請求」的廣播模式，提出二次規劃的方法。由實驗結果得知縮短用戶端的存取時間，本論文的方法可以建造較 QEM 方法佳的廣播排程。

關鍵字：二次規劃、廣播排程、無線廣播

Using Quadratic Programming for Data Broadcast Scheduling in Wireless Environment

Student : Ju-Chin Hsiao.

Advisors : Dr. Guang-Ming Wu.

Department of Information Management
The M.B.A. Program
Nan-Hua University

ABSTRACT

Wireless communication technology and mobile computing are experiencing rapid growth. Because of the inherent restrictions of wireless communication, such as bandwidth and energy restrictions, the broadcasting method is preferred. In this work we mainly focus on effective data scheduling for wireless broadcast to reduce the access time of mobile clients. In this paper, we propose a quadratic programming method for complex-query-based broadcasting. Experimental results show that our algorithm can construct a better scheduling than QEM method in total access time.

Keywords: quadratic programming, scheduling, wireless broadcast

目 錄

書名頁	i
推薦書	ii
論文口試合格證明	iii
誌謝	iv
中文摘要	v
英文摘要	vi
目錄	vii
圖目錄	viii
表目錄	ix
第一章 緒 論	1
第一節 研究背景與動機	1
第二節 研究目標與限制	4
第三節 論文架構	6
第二章 問題描述	7
第一節 無線廣播的運作方式	7
第二節 存取時間問題的定義	9
第三章 我們的演算法	12
第一節 配置策略	12
第二節 二次規劃	15
第四章 實驗結果與討論	22
第一節 模擬環境	22
第二節 實驗資料產生	24
第三節 廣播效能比較	26
第五章 結論與未來研究方向	34
參 考 文 獻	35

圖 目 錄

圖 1	廣播架構圖	7
圖 2	廣播資料項的存取	10
圖 3	分割樹	13
圖 4	q_i 配置圖	14
圖 5	二次規劃模式	16
圖 6	二次規劃過程	19
圖 7	均勻分佈中改變查詢資料物件數，QEM 與 QP 的 TAT 改變情形	26
圖 8	均勻分佈中改變查詢使用者數量大小，QEM 與 QP 的 TAT 改變情形	27
圖 9	均勻分佈中改變查詢選擇率，QEM 與 QP 的 TAT 改變情形	28
圖 10	常態分佈中改變查詢資料物件數，QEM 與 QP 的 TAT 改變情形	29
圖 11	常態分佈中改變查詢使用者數量大小，QEM 與 QP 的 TAT 改變情形	30
圖 12	常態分佈中改變查詢選擇率，QEM 與 QP 的 TAT 改變情形	31

表 目 錄

表 1	符號定義表	9
表 2	變數定義表	15
表 3	P_{01} , P_{11} 和 P_{12} 之演算表	20
表 4	實驗資料條件設定數據	24
表 5	均勻分佈中改變資料物件大小的實驗數據	26
表 6	均勻分佈中改變使用者查詢種類的實驗數據	27
表 7	均勻分佈中改變使用者查詢選擇率的實驗數據	28
表 8	常態分佈中改變資料物件大小的實驗數據	29
表 9	常態分佈中改變使用者查詢種類的實驗數據	30
表 10	常態分佈中改變使用者查詢選擇率的實驗數據	31

第一章、緒論

在目前無線（wireless）網路技術普及的發展及被廣泛的運用於行動商務（MC, mobile commerce）之中，頻寬（bandwidth）的不足，是限制無線環境發展的問題之一。因此解決頻寬限制，本論文集於廣播（broadcast）技術的研究。本章將就廣播的議題及研究方法與其相關文獻做探討，期望在無線通訊基礎建設中現有頻寬不足之問題，得以獲取幫助。

第一節 研究背景與動機

在無線網路技術不斷發展與推廣下，愈來愈多的服務運用於無線系統上，任何人僅需擁有行動上網裝置如筆記型電腦、PDA、手機等，在任何時間、地點不但可享有無線網路的相關應用，並可即時獲得所需要的資訊內容。應用無線技術，除了可創造便利的生活環境外，例如查詢股票資訊、尋找餐廳、開車方向查詢、線上購物等行為及政府相關單位可提供與人民生活息息相關的服務，免去民眾來回奔波之苦，對企業而言更因佈建基礎建設，讓工作者不再受限傳統地理環境限制，隨時隨地接收公司內外最新資訊，同時簡化所有交易行為產生的商業程序並提升公司生產力，藉以獲取最大效益及加強企業的競爭力。例如行動工作者透過可攜式裝置，可立即將公司相關產品資訊提供給客戶參考，並透過內部 ERP 系統做資訊更新動作。

無線傳輸的技術為人們帶來生活便利及商業契機，無所不在存於大眾的日常生活中，但目前無線通訊基礎建設中，面臨一項挑戰，現有頻寬不足。針對無線網路環境頻寬不足的問題，於是產生廣播的議題，以解

決現有頻寬限制的問題。廣播的議題，即為伺服器（server）如何有效率地將各用戶端（client）所請求之資料，經由廣播給予各用戶端。有效率分為兩部分加以說明。第一、伺服器必須從用戶端發出請求，直到用戶端完整的收到其所請求的資料，此段時間愈短愈好，即所謂存取時間（access time）愈短愈好。第二、各用戶端如何節省能源的問題。也就是，當伺服器所廣播的資料不是本用戶端所請求的，用戶端即進入省電模式（doze mode）反之，如果伺服器所廣播的資料，正是本用戶端所請求的，本用戶端即可收下（active mode）。換言之，不要浪費各用戶端的電源，即縮短用戶端的調整時間（tuning time）。

因此廣播議題的發展，針對兩大主題進行研究：一、如何降低用戶端的存取時間，二、如何縮短用戶端的調整時間。本研究探討降低用戶端的存取時間為主軸，解決無線網路環境下頻寬不足的問題。無線系統實為有線系統的其中一環，有線系統竭盡所能讓各用戶端的畫質清晰[34]，無線系統竭盡所能降低各用戶端資料的存取時間[28]。有線系統及無線系統的網路觀點方面，本研究專注於無線系統的發展。網路架構方面，有 Ad Hoc[10, 11, 12, 31, 41]及 Client-Sever 的網路架構[53]，本研究為 Client-Sever 的網路架構。廣播伺服器的運作有兩種方式：pull[17, 40, 46, 48, 50, 54]及 push[44]的方式，本研究以 push 為廣播伺服器的運作方式，尚有其他研究為混合（hybrid）式，即 pull 與 push 結合運用[4, 35]。

用戶端提出請求（query）的資料項（data item），其資料的特性可分為：即時（real-time）[36, 37] 及非即時（non-real time），本研究用戶端請求的資料項為非即時的特性。廣播議題分為兩部份：用戶端為低的調整時間[16, 19]及短的存取時間[45, 55]，本文提出降低用戶端之存

取時間為研究主軸。每一用戶端每次提出請求，請求所包含的資料項之個數可分為：單一請求（single query）及多項請求（complex query），單一請求指每個請求只有一個資料項，反之多項請求即每個請求有二個以上的資料項，本研究用戶端提出的請求為多項請求。當廣播伺服器在廣播頻道(channel)進行資料項的傳送時，廣播頻道分為：多重頻道(multiple channel) [8, 20, 38, 56, 58, 61]及單一頻道(single channel) [13, 21, 59]，本研究以單一頻道為資料項傳遞時的通道。

本研究架構於無線系統的網路環境中進行研究，並於 Client-Sever 的網路架構上運作，運作的方式以 push 為導向，資料的特性是非即時性，廣播議題是降低用戶端的存取時間為主題。每個請求每次提出皆包含二個以上的資料項，資料項於單一的廣播頻道上被傳送。

第二節 研究目標與限制

本研究為當廣播伺服器對資料項於廣播頻道上進行廣播時，在同一個廣播週期內，資料項不會被重覆廣播。每個用戶端發出的每一個請求，所請求的資料皆沒有順序性[18, 22]，但有其他研究用戶端所發出請求的資料具有順序性[23]。有些研究運用資料重覆 (data item non-uniform) 廣播、caching 技巧和多重頻道，降低存取時間[1, 2, 25, 42, 43]。有些研究運用 indexing 的技巧及多重頻道以降低調整時間[6, 9, 26, 32]。

本研究集中於無線廣播的資料在單一頻道上有效的配置，以縮短各用戶端從發出請求到完整收到資料的時間 (reduce access time)。在廣播週期資料項的更新[3, 5]被提出。每一個資料項應該配置於那個廣播位置，由於考量長度及頻率[1, 2, 42, 43]被提出，本研究假設每個資料項的長度相同及每個請求 (query) 的頻率相同。尚有其他研究考慮時間因素及資料的時序性[7, 29, 33, 47, 52, 57]。亦有研究針對資料項進行 Clustering 的分類技巧[24, 27, 39]及 Rang Query 的技巧 (屬於 uniform , 即資料不重覆) [30, 49, 60]以降低存取時間。

運用資料項重覆在單維的廣播頻道[1]上進行廣播，固然可以降低存取時間，但其廣播週期卻被增長。運用 VF^k 演算法，產生多重頻道進行資料項的廣播[2]，未能確實的降低存取時間，只有通道數恰為 2 的次方數時，其實驗結果才會接近最佳。本研究方法採用資料項不重覆 (uniform)，運用配置策略 (placement strategy) 分割 (partition) 技巧，縮短大量資料的演算時間，提出二次規劃目標式及多元一次限制式，求得每個資料項的座標值。故進行廣播時每個資料項對應的所在座標值，即為資料項被廣播的順序，且廣播週期沒增長；同時，也考慮了資料項間的關係，因為在二次規劃目標式中，被考慮每個資料項的座標值，距

離其所請求的中心點座標值之距離愈短愈好，而能降低用戶端的存取時間。本篇論文提出二次規劃(Quadratic programming, QP)方法與 QEM[15] 方法進行實驗效能評估，QEM 方法為貪婪演算法的運作方式，因此在「多項請求」的廣播模式，其未能確切的考量同一請求資料項間的關係，故其建造的廣播排程、用戶端花費的存取時間較 QP 方法為長。本文 QP 方法若能結合多重頻道的廣播通道，資料項的廣播排程將趨近最佳解。

本研究於 Client-Sever 的網路架構上進行運作，而非 peer-to-peer 的網路架構[14, 51]。廣播伺服器進行廣播時，在同一個廣播週期的資料不重覆廣播，且每個用戶端請求的資料不具順序性，也就是沒有哪一個資料項必須先被用戶端收到，其他的資料項才能被用戶端收下的道理。又每個資料項的長度相同及每個請求的頻率相同，每次的請求包含二個以上的資料項，資料項於單一的廣播頻道上被廣播。

因此本論文，運用配置策略，採用分割技巧，縮短大量資料的演算時間，並執行二次規劃，以產生較佳的廣播排程，來降低用戶端的存取時間。

第三節 論文架構

本文組織如下：第二章、問題描述，明確定義無線廣播議題中存取時間的問題，包含無線廣播的運作方式和存取時間問題的定義。第三章、本論文的演算法，說明二次規劃為本研究降低存取時間的方法，包含配置策略和分割技巧的運用。第四章、實驗結果與討論，進行效能的評估與比較。第五章提出結論及未來研究方針。

第二章、問題描述

本章說明在無線廣播的運作方式，與廣播有關的名詞解釋（例如，廣播週期和資料項），及本研究要解決問題的定義，包含前提假設、存取時間的符號定義、廣播資料項的存取與本研究針對，解決降低每個請求的存取時間之問題，予以明確定義。

第一節 無線廣播的運作方式

在無線廣播的環境中，因為頻寬的限制，所以產生廣播的議題。故進行廣播時，廣播伺服器連續且重覆的廣播資料給用戶端，在這樣的無線廣播的運作過程中，伺服器所廣播的資料為用戶端所需要的資訊時，用戶端就將資料取回。其架構如圖 1 所示。

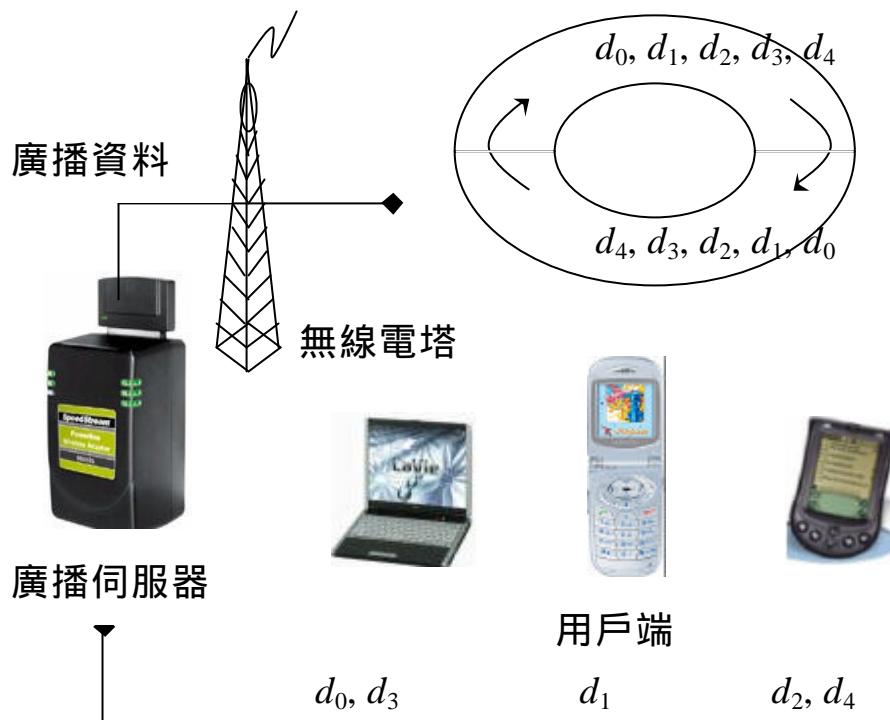


圖 1：廣播架構圖

針對圖 1 的廣播運作方式加以說明，有三個用戶端分別向廣播伺服器提出請求，用戶端 1 向廣播伺服器提出一個請求，包含 d_0, d_3 兩個資料項，用戶端 2 向廣播伺服器提出一個請求，此 d_1 資料項，用戶端 3 向廣播伺服器提出一個請求，包含 d_2, d_4 兩個資料項，此時廣播伺服器將會產生，依序為 $\langle d_0, d_1, d_2, d_3, d_4 \rangle$ 此五個資料項的廣播順序，稱為一個廣播週期，廣播伺服器將會一個廣播週期接著一個廣播週期的廣播資料項，當廣播伺服器廣播 d_0 資料項時，用戶端 1 即收下 d_0 資料項，廣播伺服器廣播 d_1 資料項時，用戶端 2 即收下 d_1 資料項，廣播伺服器廣播 d_2 資料項時，用戶端 3 即收下 d_2 資料項，直到所有的用戶端完整的收到其所請求的資料項。

因此如何在有限的頻寬，讓用戶端用最少的時間收到廣播伺服器中的資料，也就是各用戶端的存取時間最短，所以本研究提出如何降低用戶端資料存取時間的方法，並於第二節針對用戶端資料存取時間的問題予以明確的定義。

第二節 存取時間問題的定義

在定義存取時間之前，先行說明本研究問題的前提假設：一、廣播伺服器進行廣播時，同一個廣播週期所廣播的資料項不會重覆。二、每個用戶端或用戶端間，所請求的資料項沒有順序性。三、每個用戶端每次提出請求時，皆包含二個以上的資料項。四、資料項在單維的廣播通道上進行廣播。五、所有資料項的長度相同。六、每個用戶端提出的請求頻率相同。七、考慮每個用戶端之資料項間的關係。

接著說明存取時間的符號定義：

表 1：符號定義表

符 號	定 義
d_i	廣播的資料項
q_i	為某一請求
Q	所有請求的集合
$AT(q_i)$	q_i 的存取時間
s	廣播的順序， $\langle d_i, d_j, \dots, d_k \rangle$

以下將對 AT_i 進行表示並說明之：如圖 2 所示。

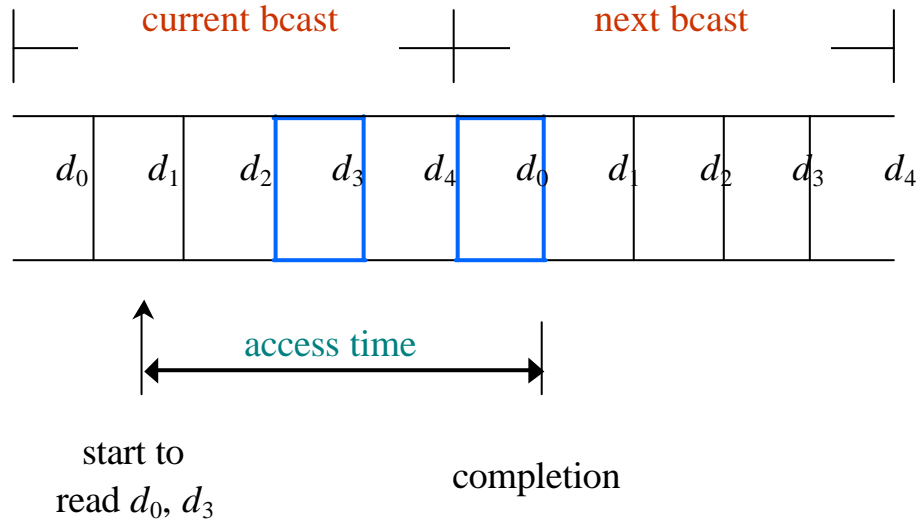


圖 2：廣播資料項的存取

假設目前廣播伺服器要廣播的資料，依序為 $\langle d_0, d_1, d_2, d_3, d_4 \rangle$ 共五個資料項，為一個廣播週期 (bcast)。目前的廣播週期是 current bcast。廣播週期是以循環的方式進行廣播，所以下一個廣播週期為 next bcast。當有一個用戶端向伺服器請求兩個資料項， $q_i = \{ d_0, d_3 \}$ 。且用戶端發出請求點，正是廣播伺服器廣播 d_1 資料項，因此 d_0 資料項必須等待下一個廣播週期，用戶端才能完整的收到 d_0 及 d_3 兩個資料項。所以其 $AT(q_i)$ 是從發出請求到完整的收到資料此段時間，換言之伺服器廣播 $\langle d_1, d_2, d_3, d_4, d_0 \rangle$ 此段時間即為 $AT(q_i)$ 。當廣播週期的資料排程為 $\langle d_1, d_2, d_0, d_3, d_4 \rangle$ 時，則其 $AT(q_i)$ 為伺服器廣播 $\langle d_1, d_2, d_0, d_3 \rangle$ 此段時間。因此廣播的資料排程為降低 $AT(q_i)$ 的方法。

本研究針對解決降低 $AT(q_i)$ 的問題予以定義如下：

Input $Q = \{ q_1, q_2, \dots, q_n \}$

Output $s = \langle d_i, d_j, \dots, d_k \rangle, \forall d_m \in Q$

$$\text{Min } \sum AT(q_i)$$

Input 部份為所有用戶端提出請求的集合，且各用戶端的存取時間須為最短，而 Output 部份將產生所有資料項依序被廣播伺服器廣播的順序，因此進行廣播排程時，每個用戶端資料項間的距離愈短，它就能於愈短的時間內，完整的收到其請求的資料，用戶端的 $AT(q_i)$ 也就愈短。



第三章、我們的演算法

由第二章得知，如何降低 $AT(q_i)$ 的問題，也就是廣播伺服器進行廣播時資料項的排程問題。本章對此，本論文應用配置策略，提出二次規劃的方法，於是產生較佳之廣播資料的順序，以降低各用戶端 $AT(q_i)$ 的時間，解決無線網路頻寬不足之問題。

第一節 配置策略 (Placement strategy)

如何有效的解決無線廣播議題中，用戶端 $AT(q_i)$ 的問題，即如何產生最適的資料廣播順序。本研究提出配置策略的手法，並運用階層式分割 (partition) 技巧，將一群用戶端請求的資料置於 root node (第 0 層第 1 個，如圖 3) 進行分割的動作，因此資料會被分為左半邊 (第 1 層第 1 個) 及右半邊 (第 1 層第 2 個)，繼續往下進行分割，直到每一資料項位於某一位置時，分割動作就可停止。每一資料項所在位置即為廣播伺服器對資料進行廣播的順序。

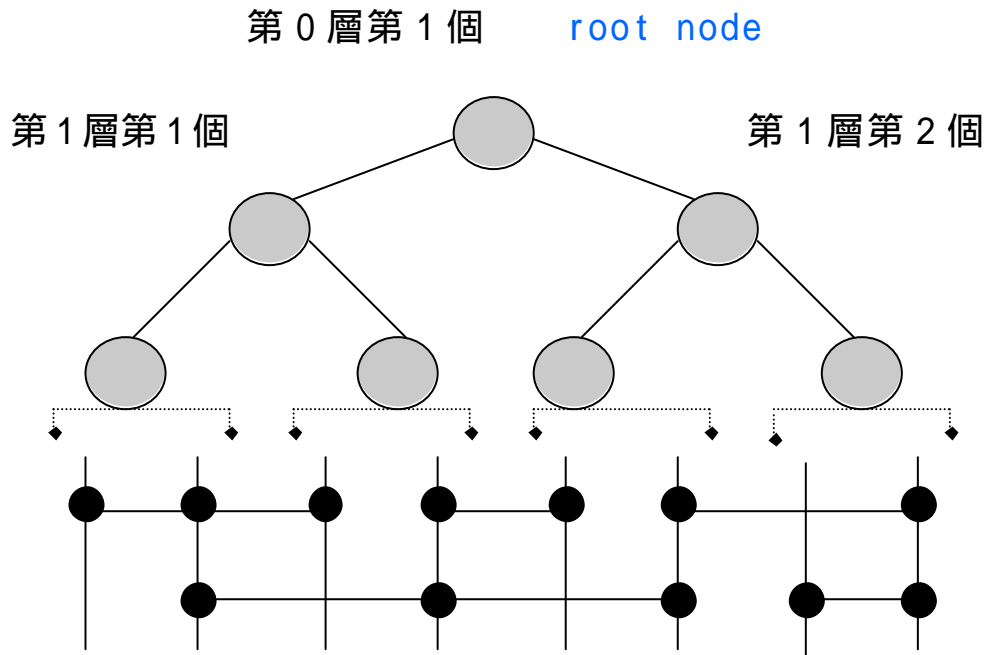


圖 3：分割樹 (partition tree)

然而在分割的過程中，因為考量 q_i 資料項間的關係，如圖 4 所示：例如，有兩個請求分別為 $q_1 = \{d_0, d_1, d_2\}$ $q_2 = \{d_2, d_3\}$ ，故廣播順序為 $\mathbf{s} = \langle d_0, d_1, d_2, d_3 \rangle$ 。因為 q_1 的 $AT(q_1)$ 為伺服器廣播 $\langle d_0, d_1, d_2 \rangle$ 此段時間， q_2 的 $AT(q_2)$ 為伺服器廣播 $\langle d_2, d_3 \rangle$ 此段時間；反之，如果廣播順序為 $\mathbf{s} = \langle d_0, d_2, d_1, d_3 \rangle$ ，則 q_1 的 $AT(q_1)$ 為伺服器廣播 $\langle d_0, d_2, d_1 \rangle$ 此段時間，雖與原來的廣播順序為 $\mathbf{s} = \langle d_0, d_1, d_2, d_3 \rangle$ 之 $AT(q_1)$ 相同，但 q_2 的 $AT(q_2)$ 為伺服器廣播 $\langle d_2, d_1, d_3 \rangle$ 此段時間，卻比原來的廣播順序多一個資料項 (d_1) 的存取時間。

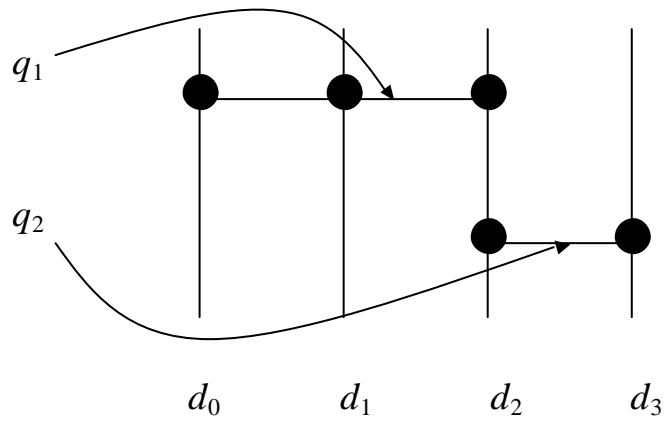


圖 4： q_i 配置圖

所以提出 q_i 資料項間的距離愈短愈好，換言之 q_i 中各資料項座標值距離 q_i 的中心點座標值總和為最短，於第二節二次規劃進行說明。因此圖 4 得出最適的廣播順序為： $\mathbf{s} = \langle d_0, d_1, d_2, d_3 \rangle$ 。

第二節 二次規劃 (Quadratic programming)

首先定義二次規劃的變數如下表：

表 2：變數定義表

符 號	定 義
$X(d_i)$	資料項 d_i 的座標值
$G(q_i)$	q_i 的中心點座標值
$ q_i $	q_i 的資料項數
P_{ij}	第 i 層第 j 個分割的資料項集合
$ P_{ij} $	第 i 層第 j 個分割的資料項數

例如有兩個請求分別是 $q_1 = \{ d_0, d_1, d_2 \}$ 及 $q_2 = \{ d_2, d_3 \}$ ，廣播順序為 $s = \langle d_0, d_1, d_2, d_3 \rangle$ ，資料項座標值分別為 $X(d_0) = 0$ ， $X(d_1) = 1$ ， $X(d_2) = 2$ ， $X(d_3) = 3$ ，且 q_1 及 q_2 的中心點座標值分別是 $G(q_1) = 1$ 及 $G(q_2) = 2.5$ 並予以圖形說明之，如下圖 5：

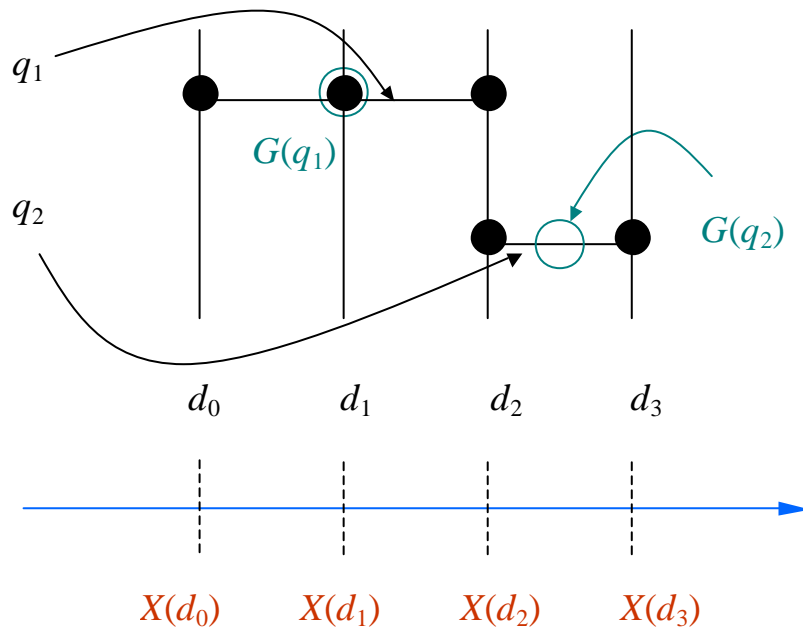


圖 5：二次規劃模式

由於進行分割動作時，考量 q_i 資料項間的關係，所以提出二次規劃，亦即 $X(d_i)$ 距離 $G(q_i)$ 須為最短，依此進行分割動作完成後，產生 $X(d_i)$ ，即為廣播伺服器對資料廣播的順序。所以廣播伺服器依此進行廣播資料， q_i 會於最短的時間內完整收到其請求，因而解決 $AT(q_i)$ 的問題。

二次規劃目標式如下：

$$\text{Min} \sum_{q_i \in Q} \sum_{d_i \in q_i} \left(X(d_i) - G(q_i) \right)^2 \quad (\text{實驗資料為均勻分佈})$$

$$\text{Min} \sum_{q_i \in Q} \sum_{d_i \in q_i} w_i * \left(X(d_i) - G(q_i) \right)^2 \quad (\text{實驗資料為常態分佈，} w_i \text{ 為查詢頻率})$$

公式 (1)

限制式如下：

$$G(q_i) = \frac{\sum X(d_i)}{|q_i|}, \quad \forall d_i \in q_i \quad \text{公式 (2)}$$

此外 $X(d_i)$ 須設為整數，在每一層的第 j 個分割 P_{ij} 必須介於下列範圍中：

$$2(j-1) \leq X(d_i) \leq [2(j-1)]+1 \quad \text{下限: } 2(j-1) \quad \text{上限: } [2(j-1)]+1$$

公式 (3)

換言之，當所有用戶端請求置於 root node 時，是第 0 層的第 1 個 node 進行分割 (partition) 動作 (請參見圖 3、表 2，即 P_{01})，且 P_{01} 的 $X(d_i)$ ，須設為整數，故其中哪些資料項座標值為： $X(d_i)=2(j-1)$ (j 表示第 0 層第 j 個 node) 哪些資料項的座標值為： $X(d_i)=[2(j-1)]+1$ ，即限定 $X(d_i)$ 座落範圍介於 0 至 1 之間 ($X(d_i)$ 等於 0 或 1)。得知座標值為 0 是左半邊優先座標值為 1 右半邊的廣播順序。

繼續往下分割， P_{11} (第 1 層的第 1 個 node，左半邊) 及 P_{12} (第 1 層的第 2 個 node，右半邊)，其資料項座標值分別介於 0 至 1 (P_{11} 的 $X(d_i)$) 及 2 至 3 (P_{12} 的 $X(d_i)$) 之間，表示這些資料項座標值分別是， P_{11} 的 $X(d_i)$ 等於 0 或 1， P_{12} 的 $X(d_i)$ 等於 2 或 3。廣播順序將依座標值由小而大進行廣播，故座標值為 0 或 1 是左半邊優先座標值為 2 或 3 右半邊的廣播順序，即 $X(d_i)=0$ 優先於 $X(d_i)=1$ ， $X(d_i)=2$ 及 $X(d_i)=3$ 。繼續第 2 層分割，第 3 層分割，直到所有的 $X(d_i)$ 皆得一座標值時，即宣告停止不再往下分割。

而進行分割 (partition) 動作, d_i 必須被平均的分佈在左半邊及右半邊。限制式如下：

$$\sum_{d_i \in P_{ij}} X(d_i) = |P_{ij}| * (0.5 + 2(j-1)) \quad \text{公式 (4)}$$

例如分割第 0 層的第 1 個 node 時 (P_{01}) 的 $X(d_i)$ 總和為： $X(d_i) = 2(j-1)$ 即 $X(d_i) = 0$ 加 $X(d_i) = [2(j-1)] + 1$ 即 $X(d_i) = 1$ 平均後，乘以 P_{ij} 的資料項數即 $|P_{ij}|$ ，故為 $|P_{ij}| \times 0.5$ 。

繼續分割，求得 P_{11} 的 $X(d_i)$ 總和及 P_{12} 的 $X(d_i)$ 總和，分別為：

$$|P_{ij}| \times 0.5 \text{ 及 } |P_{ij}| \times 2.5。$$

故 $\sum_{d_i \in P_{ij}} X(d_i) = |P_{ij}| * (0.5 + 2(j-1))$ 。

本研究提出二次規劃的方法，配合配置策略分割技巧的運用，產生較佳的廣播順序，縮短用戶端的存取時間，解決現今無線網路頻寬不足的問題。

對二次規劃之方法，予以舉例說明：

假設有 2 個用戶端，向廣播伺服器分別提出請求，為 $q_1 = \{ d_1, d_2, d_4 \}$ $q_2 = \{ d_3, d_4 \}$ 且兩請求的查詢頻率 $w_i = 1$ ，則伺服器對資料項的廣播順序之產生，為如下過程：

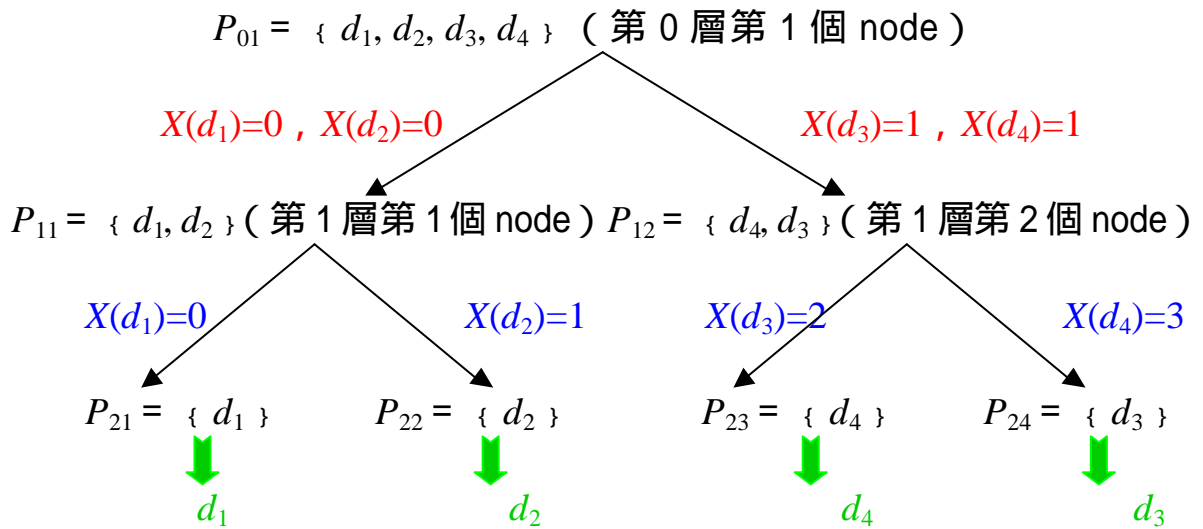


圖 6：二次規劃過程

故產生之廣播順序為 $s = \langle d_1, d_2, d_4, d_3 \rangle$ 。

執行 P_{01} , P_{11} 和 P_{12} 之演算過程 , 如表 3 :

表 3 : P_{01} , P_{11} 和 P_{12} 之演算表

P_{01}	P_{11}	P_{12}
Model: Min=(X1-g0)^2+(X2-g0)^2 +(X4-g0)^2+(X3-g1)^2 +(X4-g1)^2; X1+X2+X3+X4=4*0.5; X1+X2+X4=3*g0; X3+X4=2*g1; X1>=0; X1<=1; X2>=0; X2<=1; X3>=0; X3<=1; X4>=0; X4<=1; @gin (X1); @gin (X2); @gin (X3); @gin (X4); end	Model: Min=(X1-g0)^2+(X2-g0)^2; X1+X2 =2*0.5; X1+X2 =2*g0; X1>=0; X1<=1; X2>=0; X2<=1; @gin (X1); @gin (X2); end	Model: Min=(X3-g0)^2+(X4-g0)^2; X3+X4=2*2.5; X3+X4=2*g0; X3>=2; X3<=3; X4>=2; X4<=3; @gin (X3); @gin (X4); end

二次規劃虛擬碼：

Model :

$$\text{Min } \sum_{q_i \in Q} \sum_{d_i \in q_i} \left(X(d_i) - G(q_i) \right)^2 ;$$

S.T.

$$\sum_{d_i \in P_{ij}} X(d_i) = |P_{ij}| * (0.5 + 2(j-1)) ;$$

$$G(q_i) = \frac{\sum X(d_i)}{|q_i|} , \quad \forall d_i \in q_i ;$$

$$2(j-1) \leq X(d_i) \leq [2(j-1)] + 1 ;$$

下限： $2(j-1)$

上限： $[2(j-1)] + 1$

P_{ij} 的 $X(d_i)$, 須設為整數；

@gin ($X(d_i)$)

End

第四章、實驗結果與討論

此章介紹本研究的模擬環境，包括使用的硬體平台、作業系統、開發模擬程式的語言及設定廣播環境，進行問題假設。接著實驗資料的產生，是模擬用戶端對資料項請求的情形；而查詢頻率的分佈，在實驗環境中本論文使用均勻分佈（uniform）及常態分佈（normal），來模擬現實生活中使用者的查詢狀況。在一切的假設之中，本論文簡化所有的環境，將焦點集中於解決廣播排程所縮短的存取時間，計算總存取時間來評估廣播的效能。

第一節 模擬環境

本論文的模擬平台，所使用的硬體是 centrinio 1.3G 和 DDR-RAM 256M，模擬程式的開發，使用 Delphi 及 LINGO 來實作演算法，並於作業系統為 MS Windows 2000 Professional 上進行實驗測試。

本篇設定的廣播環境，每一個使用者都可以透過上傳頻道，送出請求到伺服器端，送出請求的資訊可以包含二個以上的資料項，這些資料項「大小固定」亦即「長度相同」。當伺服器端接收到這些「多項請求」後，將它放置在伺服器中進行廣播排程的演算，經由演算產生資料項的廣播順序，依此順序資料項在廣播頻道上被廣播。使用者透過監聽廣播頻道，辨別是否為本用戶端請求的資料項到達，是的話即透過下載頻道接收資料，直到所有提出請求的資訊都被滿足。

本論文假設用戶端皆可儲存任何在廣播頻道中所請求的資料項，且所有資料項皆可於廣播頻道中獲得，因此如何縮短用戶端的平均資料存取時間，是本研究的方向。在一切的假設之中，本論文簡化所有的環境，

將焦點集中於解決廣播排程所縮短的存取時間，計算總存取時間來評估廣播的效能。

第二節 實驗資料產生

表 4：實驗資料條件設定數據

名稱	設定值	單位
資料庫大小	32, 64, 128, 256	種
使用者查詢種類	50, 70, 90, 110	個數 / 請求
查詢選擇率 %	3, 4, 5, 6, 7	百分比

無線廣播環境進行實驗測試，首要造出實驗用的資料檔，這些資料檔主要用來模擬用戶端對資料項請求的情形，採隨機的方式產生。就查詢頻率分佈狀況而言，實驗環境使用均勻分佈（uniform）及常態分佈（normal），模擬現實生活中使用者的查詢狀況。

均勻分佈主要模擬資料主機所廣播的資料物件，是一般使用者都有興趣的資料，例如：每日頭條新聞、每日氣象預測和每日證券投資明細表等大眾化的資訊提供，因此使用者所查詢的資料物件頻率呈現均勻分佈的狀況。

使用常態分佈的查詢資料環境進行實驗，目的在模擬一般廣播環境中的資料查詢頻率，因為資料查詢有熱門資料，相對也有其冷門資料，因此建置常態分佈的資料環境，是符合一般廣播使用者查詢的習慣而建置。

本研究的實驗資料以均勻分佈及常態分佈為主，並配合其他可變動因素，如資料庫大小、使用者查詢種類及查詢選擇率，且用戶端請求資料

之模擬，係採隨機方式產生。

第三節 廣播效能比較

無線廣播環境之模擬後，依本研究提出的演算方法（Quadratic programming, QP）所得到的 $AT(q_i)$ 總和（TAT），比較 QEM[15]演算法與 QP 演算法之優劣。兩演算法是相同演算時間的基礎點上，進行優劣之比較，以下就廣播的資料庫物件數、使用者查詢種類，及查詢選擇率進行廣播效能之比較。

第一個實驗運用均勻分佈為使用者的查詢資料環境，且固定查詢選擇率值 5%，和固定 50 筆的使用者查詢種類，進行資料物件數大小 32 256 個資料庫物件數的改變。所得實驗數據如下：

表 5：均勻分佈中改變資料物件數的實驗數據

Data Objects	QEM (TAT)	QP (TAT)	QP (TAT reduction)
32	4560	1470	67.76 %
64	9020	5410	40.02 %
128	24080	19760	17.94 %
256	63720	59470	6.67 %

實驗結果如圖 7 所示：

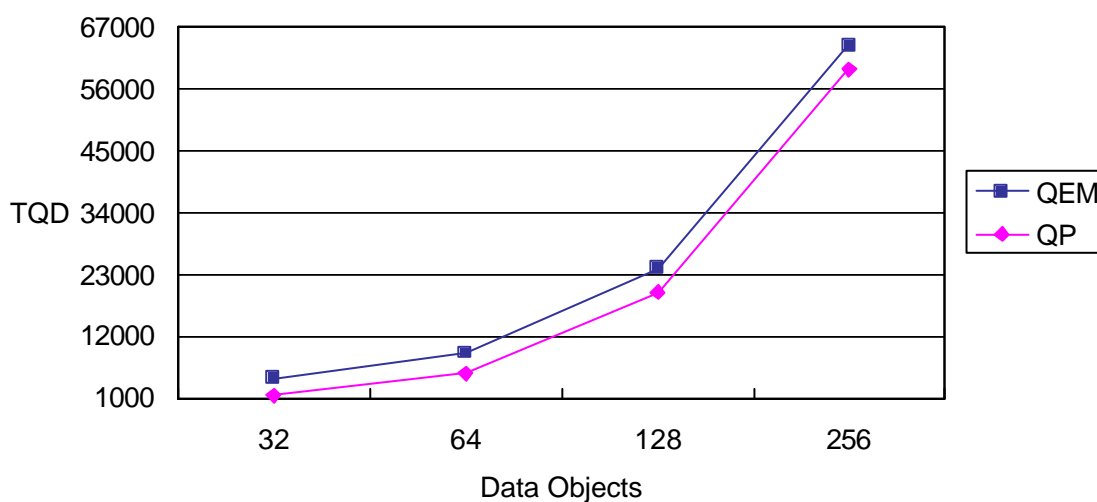


圖 7：均勻分佈中改變資料物件數，QEM 與 QP 的 TAT 改變情形

第二個實驗運用均勻分佈為使用者的查詢資料環境，且固定查詢選擇率值 4%，和固定 128 個資料物件的資料庫大小，進行使用者查詢種類 50 110 的改變。所得實驗數據如下：

表 6：均勻分佈中改變使用者查詢種類的實驗數據

Querys	QEM (TAT)	QP (TAT)	QP (TAT reduction)
50	20720	16790	18.97 %
70	33280	28230	15.17 %
90	47830	41650	12.92 %
110	62150	56320	9.38 %

實驗結果如圖 8 所示：

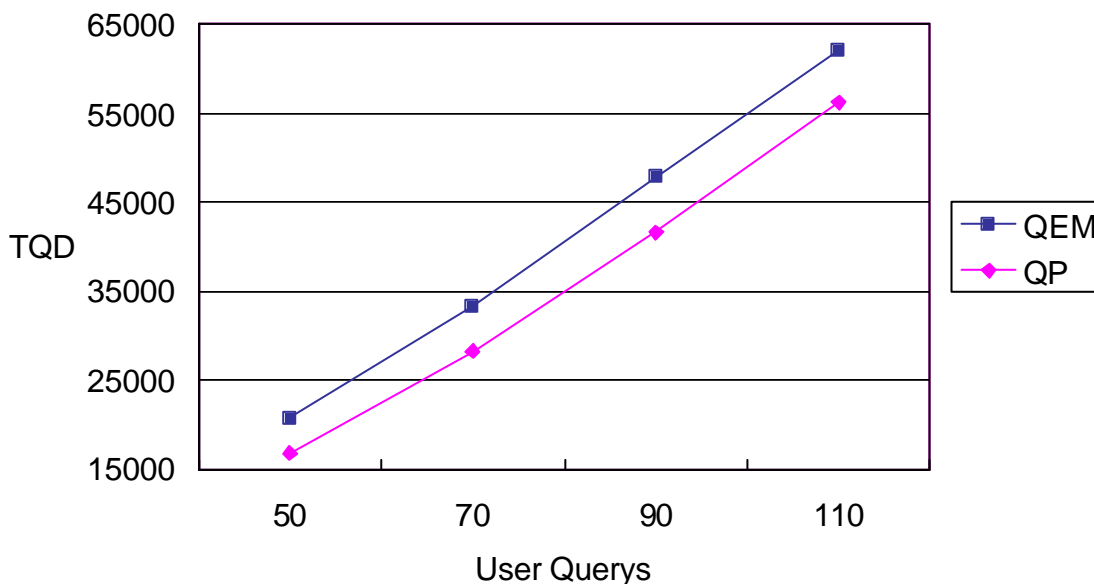


圖 8：均勻分佈中改變使用者查詢種類，QEM 與 QP 的 TAT 改變情形

第三個實驗運用均勻分佈為使用者的查詢資料環境，且固定資料庫大小為 128 個資料物件，和固定 50 筆的使用者查詢種類，進行查詢選擇率值 4 % 7 % 的改變。所得實驗數據如下：

表 7：均勻分佈中改變查詢選擇率的實驗數據

Selectivity (%)	QEM (TAT)	QP (TAT)	QP (TAT reduction)
4	20980	17130	18.35 %
5	24470	20250	17.24 %
6	29250	24610	15.86 %
7	37060	32140	13.28 %

實驗結果如圖 9 所示：

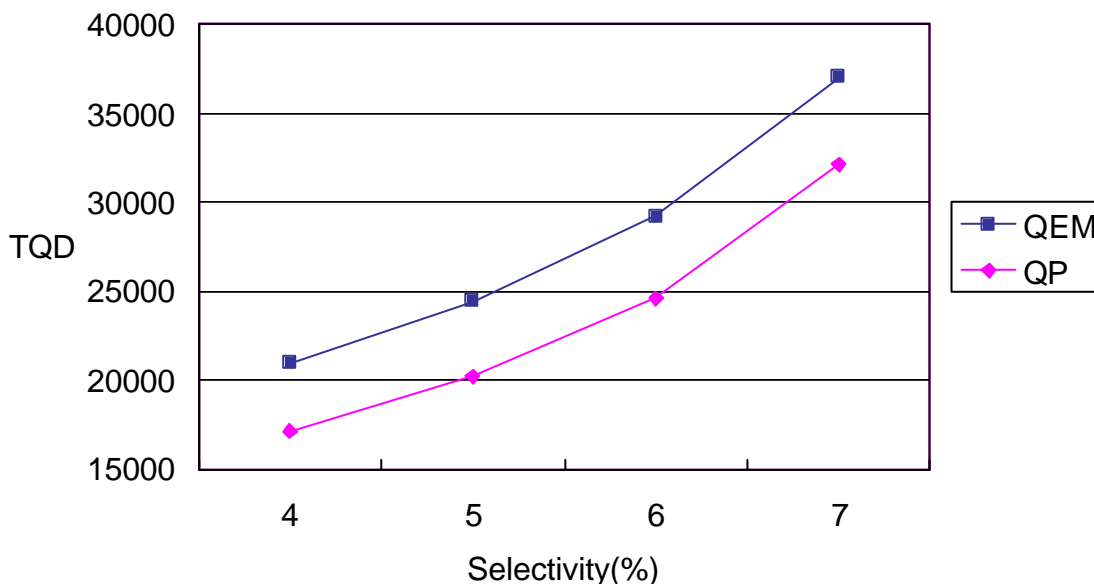


圖 9：均勻分佈中改變查詢選擇率，QEM 與 QP 的 TAT 改變情形

第四個實驗運用常態分佈為使用者的查詢資料環境，且固定查詢選擇率值 5%，和固定 100 筆的使用者查詢種類，進行資料物件數大小 32 256 個資料庫物件數的改變。所得實驗數據如下：

表 8：常態分佈中改變資料物件數的實驗數據

Data Objects	QEM (TAT)	QP (TAT)	QP (TAT reduction)
32	4643	3350	27.85 %
64	9183	7930	13.64 %
128	25659	23116	9.91 %
256	68717	66410	3.36 %

實驗結果如圖 10 所示：

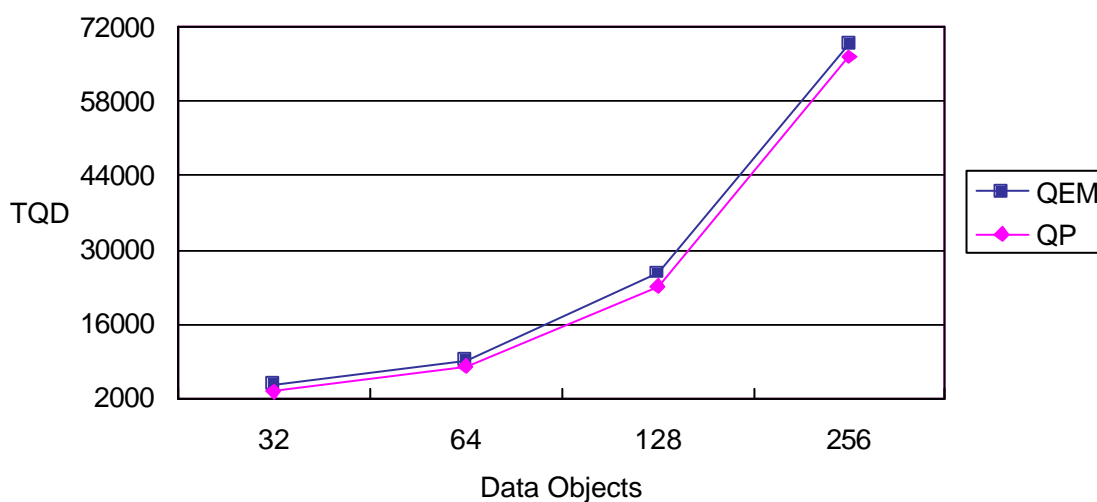


圖 10：常態分佈中改變資料物件數，QEM 與 QP 的 TAT 改變情形

第五個實驗運用常態分佈為使用者的查詢資料環境，且固定查詢選擇率值 4%，和固定 256 個資料物件的資料庫大小，進行使用者查詢種類 50 110 的改變。所得實驗數據如下：

表 9：常態分佈中改變使用者查詢種類的實驗數據

Querys	QEM (TAT)	QP (TAT)	QP (TAT reduction)
50	40143	37320	7.03 %
70	54449	51120	6.11 %
90	60660	57860	4.62 %
110	71648	70120	2.13 %

實驗結果如圖 11 所示：

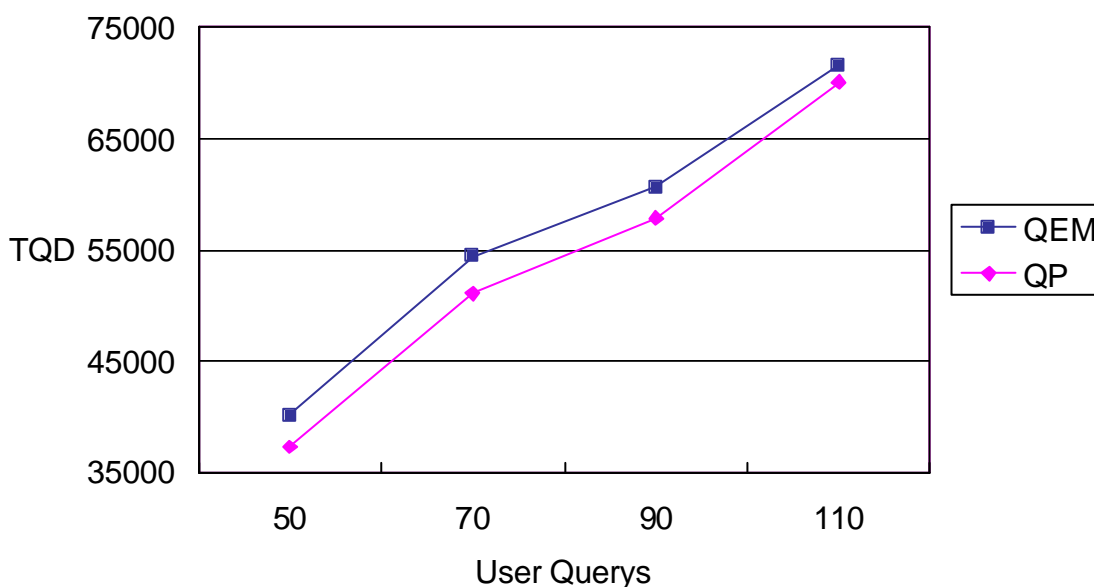


圖 11：常態分佈中改變使用者查詢種類，QEM 與 QP 的 TAT 改變情形

第六個實驗運用常態分佈為使用者的查詢資料環境，且固定資料庫大小為 256 個資料物件，和固定 100 筆的使用者查詢種類，進行查詢選擇率值 3 % 6 % 的改變。所得實驗數據如下：

表 10：常態分佈中改變查詢選擇率的實驗數據

Selectivity (%)	QEM (TAT)	QP (TAT)	QP (TAT reduction)
3	34707	31830	8.29 %
4	62158	59390	4.45 %
5	69076	66750	3.37 %
6	92620	91340	1.38 %

實驗結果如圖 12 所示：

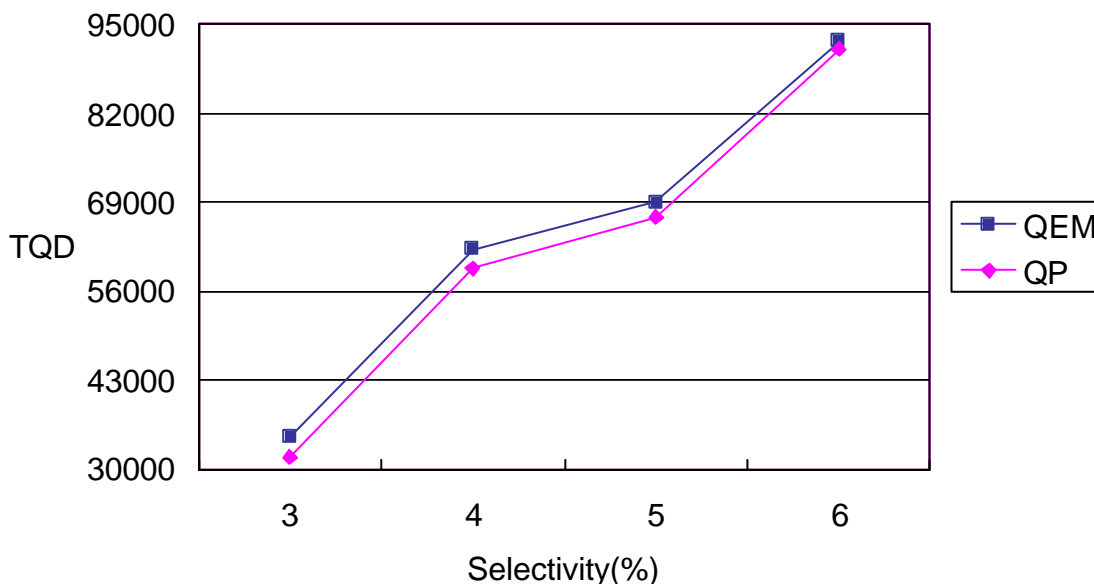


圖 12：常態分佈中改變查詢選擇率，QEM 與 QP 的 TAT 改變情形

在均分佈的查詢環境中進行上述的實驗，得到本篇論文使用的 QP 演算法較 QEM 的演算法，確實提升使用者的存取效能達 21.13% ，使得用戶端得以在較短的時間內完整的收到其請求的資料。另就常態分佈的查詢環境而言，相對的資料庫的資料件數越高、使用者的查詢數量越大及查詢選擇率越高時，本篇論文提供的演算法達到的效能並不盡理想。所以針對較單純的用戶端查詢環境而言，本篇演算法可達到較佳的廣播排程效能。



第五章、結論與未來研究方向

在無線網路環境中，為了節省頻寬及應付大量用戶端同時上線的問題，廣播是最常用的解決方法。廣播的目的也是為了縮短用戶端的等待時間，目前主要的研究皆是運用適當的演算方法，對資料物件產生最佳的廣播排程，依此排程進行廣播，用戶端就能在較短的時間完整的收到其所請求的資料。本研究運用的演算方法針對「多項請求」及「單一頻道」的廣播模式，進行廣播排程效能較佳化的改善，得以幫助使用者迅速的收到其所請求的資料，而降低 $AT(q_i)$ 的總和，也就是較低的總存取時間。

資訊科技應用隨無線網路技術發展日趨廣泛，改善大眾生活方式、節省大眾時間。目前無線網路頻寬有限，本研究應用配置策略，採用分割技巧，縮短大量資料的演算時間，提出二次規劃（Quadratic programming, QP）產生較佳的廣播排程予以解決。本篇 QP 方式的演算法在廣播問題的應用非常切實，因為本論文考慮到每個用戶端資料項間的關係，頻寬不足問題確實得到解決，降低用戶端資料存取時間。

本論文提出的研究範疇，以「多項請求」及「單一頻道」的廣播模式為研究環境，考慮的是單一廣播頻道的資料傳送，在未來的研究方向，若結合多重頻道配合運用，對於問題的解決將有更顯著的效果，使得用戶端的請求更加快速的得以回應，真正達到便民利民的生活環境。

參 考 文 獻

- [1] S. Acharya, R. Alonso, M. Franklin, and S. Zdonik, "Broadcast disks: Data management for asymmetric communication environments," in Proceedings of ACM SIGMOD Conference, 1995, pp. 199-210.
- [2] S. Acharya, R. Alonso, and S. Zdonik, "Dissemination-based data delivery using broadcast disks," IEEE Personal Communications 2(6), 1995.
- [3] S. Acharya, M. Franklin, and S. Zdonik, "Disseminating updates on broadcast disks," in Proceedings of Very Large Data Bases Conference, 1996, pp. 354-365.
- [4] D. Aksoy and M.S.F. Leung, "Pull vs Push: A Quantitative Comparison for Data Broadcast," IEEE Communications Society, 2004, pp. 1464-1468.
- [5] S. Baruah and A. Bestavros, "Real-time mutable broadcast disk," in Proceedings of RTDB', The Second International Workshop on Real-Time Databases, Burlington, VT, 1997.
- [6] A. Bar-Noy and Y. Shilo, "Optimal broadcasting of two files over an asymmetric channel," IEEE INFOCOM Conference, 1999.
- [7] G. Buttazzo and F. Sensini, "Optimal deadline assignment for scheduling soft a periodic tasks in hard real-time environments." IEEE Transactions on Computers 48 (10), 1999.
- [8] A.A. Bertossi, M.C. Pinotti, S. Ramaprasad, R. Rizzi, and M.V.S. Shashanka, "Optimal multi-channel data allocation with flat broadcast per channel," IEEE IPDPS '04, 2004.
- [9] Y.D. Chung and M.H. Kim, "An index replication scheme for wireless data broadcasting," Journal of Systems and Software, vol. 51, no. 3, 2000, pp. 191-199.
- [10] M.X. Chen, J. Sun, M. Min, and D.Z. Du, "Energy-efficient Broadcast and Multicast Routing in Ad Hoc Wireless Networks," IEEE 2003, pp. 87-94.
- [11] J. Cho, S. Oh, S. Member, J. Kim, H.H. Lee, and J. Lee, "Neighbor Caching in Multi-Hop Wireless Ad Hoc Networks," IEEE Communications Letters, VOL. 7, NO. 11, 2003, pp. 525-527.
- [12] C.F. Chiasserini, I. Chlamtac, P. Monti, and A. Nucci, "An Energy-Efficient Method for Nodes Assignment in Cluster-Based Ad Hoc Networks," Kluwer Academic Publishers, Manufactured in The Netherlands,

Wireless Networks 10, 2004, pp. 223-231.

[13] Y.I. Chang and W.H. Hsieh, "An Efficient Scheduling Method for Query-Set-based Broadcasting in Mobile Environments," IEEE ICDCSW '04, 2004.

[14] C.Y. Chow, H.V. Leong, and A. Chan, "Cache Signatures for Peer-to-Peer Cooperative Caching in Mobile Environments," IEEE AINA '04, 2004.

[15] Y.D. Chung and M.H. Kim, "Effective Data Placement for Wireless Broadcast," Kluwer Academic Publishers, Manufactured in The Netherlands, Distributed and Parallel Databases 9, 2001, pp. 133-150.

[16] O.E. Demir and D. Aksoy, "Energy-Efficient Broadcast-based Event Update Dissemination," IEEE 2004, pp. 477-482.

[17] Q. Fang, S.V. Vrbsky, Y. Dang, and W. Ni, "A Pull-Based Broadcast Algorithm that Considers Timing Constraints," IEEE ICPPW '04, 2004.

[18] J.L. Huang and M.S. Chen, "Broadcast Program Generation for Unordered Queries with Data Replication," ACM 2003, pp. 866-870.

[19] J.J. Hung and Y. Leu, "An Energy Efficient Data Reaccess Scheme for Data Broadcast in Mobile Computing Environments," IEEE ICPPW '03, 2003 pp. 1-8.

[20] C.H. Hsu, G. Lee, and A.L.P. Chen, "Index and Data Allocation on Multiple Broadcast Channels Considering Data Access Frequencies," IEEE MDM '02, 2002, pp. 1-8.

[21] J.J. Hung and Y. Leu, "Efficient Index Caching Schemes for Data Broadcasting in Mobile Computing Environments," IEEE DEXA '03, 2003, pp. 1-7.

[22] J.L. Huang, M.S. Chen, and W.C. Peng, "Broadcasting Dependent Data for Ordered Queries without Replication in a Multi-Channel Mobile Environment," IEEE ICDE '03, 2003, pp. 692-694.

[23] J.L. Huang and M.S. Chen, "Dependent Data Broadcasting for Unordered Queries in a Multiple Channel Mobile Environment," IEEE 2002, pp. 972-976.

[24] Q. Hu, W.C. Lee, and D.L. Lee, "Indexing Techniques for Wireless Data Broadcast under Data Clustering and Scheduling." ACM 1999, pp. 351-358.

[25] J.L. Huang, M.S. Chen, and W.C. Peng, "Exploring Group Mobility for Replica Data Allocation in a Mobile Environment," ACM CIKM '03, 2003, pp. 161-168.

- [26] T. Imielinski, S. Viswanathan, and B.R. Badrinath, "Energy efficient indexing on air," in Proceedings of ACM SIGMOD Conference, 1994, pp. 25-36.
- [27] T. Imielinski, S. Viswanathan, and B.R. Badrinath, "Data on air: Organization and access," IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, vol. 9, no. 3, 1997, pp. 353-372.
- [28] K.F. Jea and M.H. Chen, "A Data Broadcast Scheme Based on Prediction for The Wireless Environment," IEEE ICPADS '02, 2002.
- [29] F.C. Jesus and R. Krithi, "Adaptive Dissemination of Data in Time-Critical Asymmetric Communication Environments," IEEE.
- [30] Z. Jianting and G. Le, "Optimizing Data Placement Over Wireless Broadcast Channel For Multi-Dimensional Range Query Processing," IEEE MDM '04, 2004.
- [31] S.J. Kim, W.J. Kim, and Y.J. Suh, "Efficient Broadcast Schemes with Transmission Power Control in Mobile Ad Hoc Networks," IEEE Communications Society, 2004, pp. 3859-3863.
- [32] S.C. Lo and A.L.P. Chen, "Optimal index and data allocation in multiple broadcast channels," IEEE International Conference on Data Engineering, 2000.
- [33] K. Lam, E. Chan, and C. Yuen, "Approaches for broadcasting temporal data in mobile computing systems." Journal of Systems and Software 51 (3), 2000.
- [34] X. Li, S. Paul, and M.H. Ammar, "Layered Video Multicast with Retransmissions (LVMR)," IEEE INFOCOM, 1998.
- [35] S. Lee and S.S. Kim, "Performance Evaluation of a Predeclaration-based Transaction Processing in a Hybrid Data Delivery," IEEE MDM '04, 2004.
- [36] S.H. Lim and J.H. Kim, "Real-time broadcast algorithm for mobile computing," The Journal of Systems and Software 69, 2004 pp. 173-181.
- [37] C.W. Lin, H. Hu, and D.L. Lee, "Adaptive Realtime Bandwidth Allocation for Wireless Data Delivery," Kluwer Academic Publishers, Manufactured in The Netherlands, Wireless Networks 10, 2004, pp. 103-120.
- [38] G. Lee and S.C. Lo, "Broadcast Data Allocation for Efficient Access of Multiple Data Items in Mobile Environments," Kluwer Academic Publishers, Manufactured in The Netherlands, Mobile Networks and Applications 8, 2003, pp. 365-375.

- [39] J. Li and S. Vuong, "An Efficient Clustered Architecture for P2P Networks," IEEE AINA ' 04, 2004.
- [40] W. Ni, Q. Fang, and S.V. Vrbsky, "A Lazy Data Request Approach for On-demand Data Broadcasting," IEEE ICDCSW ' 03, 2003.
- [41] C.S. Oh, Y.B. Ko, and Y.S. Roh, "An Integrated Approach for Efficient Routing and Service Discovery in Mobile Ad Hoc Networks," Samsung Advanced Institute of Technology, IEEE 2004, pp. 184-189.
- [42] W.C. Peng and M.S. Chen, "Dynamic Generation of Data Broadcasting Programs for Broadcast Disk Arrays in a Mobile Computing Environment," Proc. ACM Conf. Information and Knowledge Management (CIKM), 2000, pp. 35-45.
- [43] K. Prabhakara, K.A. Hua, and J. Oh, "Multi-Level Multi-Channel Air Cache Designs for Broadcasting in a Mobile Environment," IEEE ICDE ' 2000.
- [44] W.C. Peng, J.L. Huagn, and M.S. Chen, "Dynamic Leveling : Adaptive Data Broadcasting in a Mobile Computing Environment," Kluwer Academic Publishers, Manufactured in The Netherlands, Mobile Networks and Applications 8, 2003, pp. 355-364.
- [45] W.C. Peng and M.S. Chen, "Efficient Channel Allocation Tree Generation for Data Broadcasting in a Mobile Computing Environment," Kluwer Academic Publishers, Manufactured in The Netherlands, Wireless Networks 9, 2003, pp. 117-129.
- [46] O. Ramanaiah and H. Mohanty, "NICD : A Novel Indexless Wireless On-Demand Data Broadcast Algorithm," IEEE ITCC ' 04, 2004.
- [47] C. Su, L. Tassiulas, and V.J. Tsotras, "Broadcast scheduling for information distribution," Wireless Networks, vol. 5, no. 2, 1998, pp. 137-147.
- [48] W. Sun, W. Shi, and B. Shi, "A Cost-Efficient Scheduling Algorithm of On-Demand Broadcasts," Kluwer Academic Publishers, Manufactured in The Netherlands, Wireless Networks 9, 2003, pp. 239-247.
- [49] K. Tan and J.X. Yu, "Generating broadcast programs that support range queries," IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, vol. 10, no. 4, 1998, pp. 668-672.
- [50] H.W. Tsai, T.S. Chen, and C.P. Chu, "An On-Demand Routing Protocol with Backtracking for Mobile Ad Hoc Networks," IEEE Communications Society, 2004, pp. 1557-1562.
- [51] O. Tetsuya, K. Sakai, H. Matsumura, and A. Kurokawa, "Architecture

- for a Peer-to-peer Network with IP Multicasting,” IEEE AINA ’ 04, 2004.
- [52] N.H. Vaidya and S. Hameed, “Scheduling Data Broadcast in Asymmetric Communication Environments,” J. Mobile Networks and Applications, vol. 5, 1999, pp. 171-182.
- [53] A.C.S. Wong, K.W. Lam, K.K.M. Ho, and V.C.S. Lee, “Using Lock-based Checking Protocol for Efficient Data Broadcast in Mobile Environments,” IEEE ICDCSW ’ 04, 2004.
- [54] X. Wu and V.C.S. Lee, “Preemptive Maximum Stretch Optimization Scheduling for Wireless On-Demand Data Broadcast,” IEEE IDEAS ’ 04, 2004.
- [55] A.B. Waluyo, B. Srinivasan, and D. Taniar, “Global Indexing Scheme for Location-Dependent Queries in Multi Channels Mobile Broadcast Environment,” IEEE AINA ’ 05, 2005.
- [56] S. Wang and H.L. Chen, “NEAR-OPTIMAL DATA ALLOCATION OVER MULTIPLE BROADCAST CHANNELS,” IEEE 2004, pp. 207-211.
- [57] A.B. Waluyo, B. Srinivasan, and D. Taniar, “A Taxonomy of Broadcast Indexing Schemes for Multi Channel Data Dissemination in Mobile Databases,” IEEE AINA ’ 04, 2004.
- [58] J. Xu, Y. Zhu, J. Xu, B. Li, and L.M. Ni, “A Cooperative Caching Algorithm for Multi-Cell Data Broadcasting,” IEEE Communications Society, 2004, pp. 4072-4076.
- [59] J. Xu, W.C. Lee, and X. Tang, “Exponential Index: A Parameterized Distributed Indexing Scheme for Data on Air,” ACM MobiSYS ’ 04, 2004.
- [60] J. Xu, B. Zheng, and W.C. Lee, “Energy Efficient Index for Querying Location-Dependent Data in Mobile Broadcast Environments,” IEEE ICDE ’ 03, 2003, pp. 239-250.
- [61] W.G. Yee and S.B. Navathe, “Efficient Data Access to Multi-channel Broadcast Programs,” ACM CIKM ’ 03, 2003, pp. 153-160.