

國立交通大學

工業工程與管理學系

碩士論文

調頻廣播執照釋出問題的組合拍賣解法

Combinatorial Auction Approach to Solving FM Broadcasting
Licenses Releasing Problem

研究生：顧佳樺

指導教授：梁高榮 博士

中華民國九十九年六月

摘要

長久以來，台灣廣播執照皆是由審議制的篩選過程來指派分發。相對於全球化的發展趨勢，拍賣制則為具有為一致性與柏瑞圖最佳化性質的解決方式。但是拍賣制又存在眾多的拍賣格式可供選擇。本論文考量了廣播執照的綜效價值，並建議組合式拍賣為發放廣播執照釋出的最佳解決方式。組合拍賣最大的優點在於能直接的解決綜效價值問題，但同時卻也帶來計算複雜度問題。本論文深入分析不同組合式拍賣的實際計算問題，並建議可適用於台灣釋出廣播執照的組合式拍賣機制，並以此機制建構出一個雛型系統來展現它的可行性。

關鍵字：

調頻廣播執照	FM-Broadcasting License
組合拍賣	Combinatorial Auction
巢式結構	Nested Structure
幾何結構	Geometry-Based Structure
數量結構	Cardinality-Based Structure
執照包裹表達法	Representations of License Package

Combinatorial Auction Approach to Solving FM Broadcasting Licenses Releasing Problem

Student : Chia-Hua Ku

Advisor : Dr. Gau-Rong Liang

Department of Industrial Engineering and Management
National Chiao-Tung University

Abstract

Traditionally FM broadcasting licenses have been assigned to applicants through beauty contest processes in Taiwan. In contrast, for finding a consistent and Pareto-optimal result of the wireless licenses assignment problem, a new popular approach globally is through an auction process. However, there are so many auction formats in this approach. After considering the synergic value of FM broadcasting licenses, combinatorial auction is proposed as an excellent solution to the FM broadcasting licenses releasing problem. The main advantage of the combinatorial auction is to solve the synergic value issue directly; whatever, its disadvantage is to bring a new computational complexity issue. In this thesis, moreover, different implementations of combinatorial auction are analyzed from the computational complexity viewpoint in details. Also some good and possible mechanisms in combinatorial auctions are suggested to be used for releasing the FM broadcasting licenses in Taiwan. Especially a prototype system based on the combinatorial auction has been implemented for showing the feasibility of the designed mechanisms.

Key words :

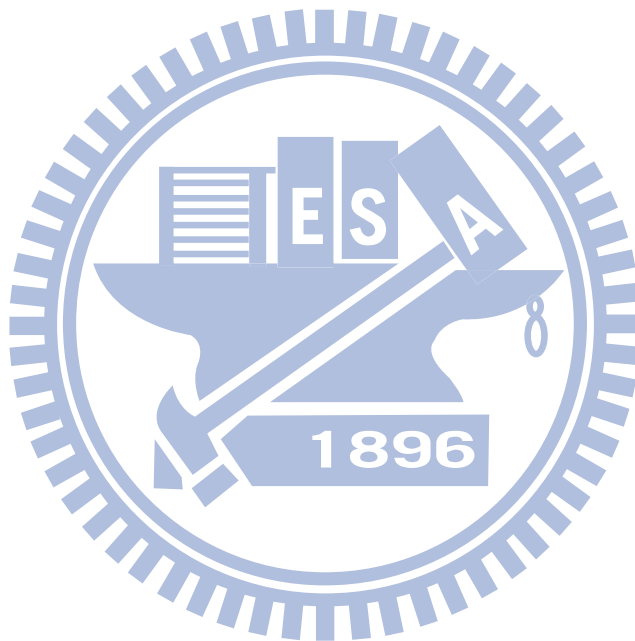
FM-Broadcasting License, Combinatorial Auction, Nested Structure, Geometry-Based Structure, Cardinality-Based Structure, Representations of License Package.

誌謝

本篇論文的完成，最感謝我的指導老師梁高榮教授，不論學術上的指導或人生道理的教誨，我堅信所受到的這些將會是我未來人生裡受用無窮。並且同時感謝我的口試委員張永家教授和周嗣文教授，於口試時給予鼓勵與建議讓論文能夠順力完成。

這篇論文的誕生，特別感謝陪伴我兩年的研究室同學，教練、猴子、華哥、茵妮、便便，以及研究室的學弟妹，老恩、大頭、惠珍、思思，遇到困難時因為你們的建議與協助才得以完成，不論是實質上的或是心理上的都真的很有用。

最後，需感謝我的家人，求學至今不斷給我經濟上的資助與獨立自主空間，讓我能在無經濟壓力下學習，同時也學會了對自己所決定的事情負責。今日所有的成長，希望與你們一起分享。

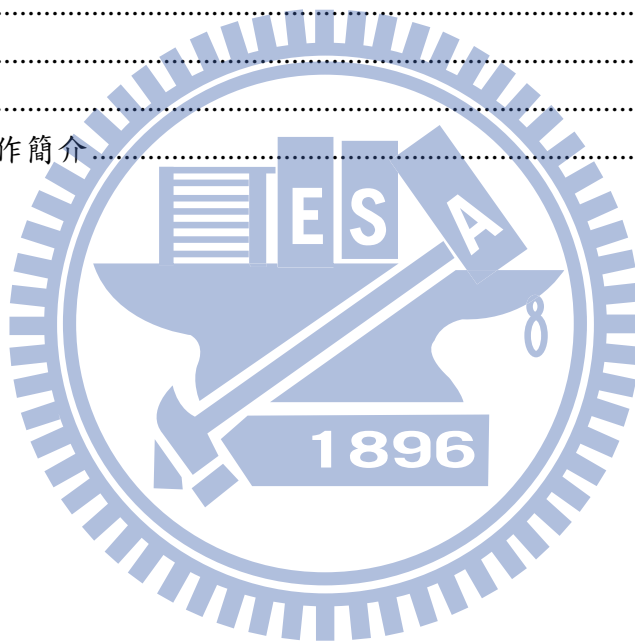


顧佳樺
謹誌于交通大學
2010 年 7 月

目錄

圖目錄.....	vi
表目錄.....	viii
1.1 研究動機.....	1
1.2 問題界定與研究目的.....	2
1.3 研究方法與論文架構.....	3
第二章 文獻回顧.....	5
2.1 台灣廣播電台調頻頻率現況與發展.....	5
2.2 組合拍賣原理.....	7
2.2.1 樹狀結構拍賣.....	10
2.2.2 數量結構拍賣.....	13
2.2.3 幾何結構拍賣.....	14
2.2.4 計算複雜度的比較.....	16
2.3 組合拍賣機制與核.....	17
2.3.1 閉式首價拍賣機制.....	17
2.3.2 Vickrey-Clarke-Groves 拍賣機制.....	17
2.3.3 核.....	18
2.4 整數規劃軟體.....	20
2.4.1 解整數規劃程式.....	20
2.4.2 轉換參與限制矩陣程式.....	21
2.4.3 整數規劃中求解多重解.....	22
第三章 調頻廣播執照的組合拍賣模式分析.....	24
3.1 廣播執照的屬性分析.....	24
3.2 同地區不指定頻率.....	24
3.2.1 拍賣模式甲案.....	25
3.2.2 拍賣模式乙案.....	26
3.2.3 拍賣模式丙案.....	27
3.3 同地區指定頻率.....	29
3.3.1 拍賣模式丁案.....	31
3.3.2 拍賣模式戊案.....	32
3.3.3 拍賣模式己案.....	32
3.4 各種組合拍賣模式綜合分析.....	33
第四章 各種組合拍賣模式的實作.....	34
4.1 拍賣資料的儲存.....	34
4.1.1 樹狀結構設計.....	34
4.1.2 幾何結構設計.....	36
4.1.3 數量結構設計.....	38
4.2 得標者與得標金額的計算.....	40

4.2.1 首價拍賣程式設計	40
4.2.2 VCG 拍賣程式設計	42
4.3 使用者介面的設計	43
4.3.1 拍賣系統架構與規範測試	43
4.3.2 拍賣標單設計	44
第五章 案例分析與拍賣結果驗證	47
5.1 案例分析建立	47
5.1.1 拍賣資料產生	47
5.1.2 拍賣機制設計	48
5.1.3 拍賣結果產生	50
5.2 四種拍賣模式分析比較	53
第六章 結論	57
6.1 優缺分析	57
6.2 後續研究	59
參考文獻	60
附表 A.1	62
附錄一 拍賣系統操作簡介	63



圖目錄

圖 1.1 美國 FCC 拍賣系統	2
圖 1.2 研究方法及步驟	3
圖 2.1 協商利潤矩陣	8
圖 2.2 樹狀結構圖	10
圖 2.3 巢式集合階層表示法轉換圖	11
圖 2.4 巢狀結構資料表	11
圖 2.5 相鄰串列階層式表式轉換圖	12
圖 2.6 相鄰串列資料表	12
圖 2.7 巢式結構顯示樹狀結構之 SQL 語法	13
圖 2.8 相鄰串列顯示樹狀結構之 SQL 語法	13
圖 2.9 (a)線型幾何結構 (b)圓型幾何結構	14
圖 2.10 (a)列矩型結構 (b)行矩型結構	15
圖 2.11 整數規劃爪哇程式碼	20
圖 2.12 巢式資料表轉換參與係數矩陣	21
圖 2.13 SolveTieBreak 類別:建構子與解整數規劃方法	23
圖 2.14 SolveTieBreak 類別:加入額外限制式求其他解方法	23
圖 3.1 可競標組合樹狀結構	26
圖 3.2 全省之幾何結構	27
圖 3.3 劃分後之幾何結構	27
圖 3.4 頻率與地區邏輯關係	29
圖 3.5 XOR 關係之競標組合	29
圖 3.6 競標物代碼	30
圖 4.1 三階段設計架構圖	34
圖 4.2 頻率相同之樹狀結構之 IDEF1X	35
圖 4.3 三種樹狀結構競標組合	36
圖 4.4 頻率相異之 IDEF1X 規格	36
圖 4.5 幾何結構之 IDEF1X	37
圖 4.6 資料庫中 Assert 資料表	38
圖 4.7 數量結構之 IDEF1X	38
圖 4.8 首價拍賣程式設計圖	40
圖 4.9 首價競標程式設計流程圖	40
圖 4.10 拍賣者資料程式 UML 類別圖	41
圖 4.11 競標組合程式 UML 類別圖	41
圖 4.12 計算得標者程式 UML 類別圖	41
圖 4.13 VCG 拍賣程式設計流程圖	42
圖 4.14 VCG 拍賣程式 UML 類別圖	42
圖 4.15 拍賣網頁主頁	43

圖 4.16 拍賣網頁之連接關係.....	44
圖 4.17 競標組和代碼頁面.....	45
圖 4.18 投標頁面.....	45
圖 4.19 競標者已投標頁面.....	46
圖 5.1 競標組合與競價函數.....	47
圖 5.2 隨機標單資料.....	48
圖 5.3 多回合拍賣標單產生流程圖.....	49
圖 5.4 拍賣程式 UML 類別圖.....	49
圖 5.5 覆蓋標單說明.....	50
圖 5.6 第一和第二回合.....	51
圖 5.7 第三和第四回合.....	51
圖 5.8 案例分析:可拍賣頻譜.....	53
圖 5.9 案例分析:甲案拍賣模式可競標組合.....	53
圖 5.10 案例分析:乙案拍賣模式可競標組合.....	53
圖 5.11 案例分析:丁案拍賣模式可競標組合.....	54
圖 5.12 案例分析:己案拍賣模式可競標組合.....	54
圖 5.13 四種拍賣模式比較(參與人數 10).....	55
圖 5.14 四種拍賣模式比較(參與人數 20 至 100).....	56
圖 6.1 案例分析:CPU 時間折線圖.....	57
圖 6.2 案例分析:拍賣總價折線圖.....	57



表目錄

表 1.1 拍賣模式分類.....	3
表 2.1 現有電台家數統計表.....	5
表 2.2 第 11 梯次開放電台統計表.....	6
表 2.3 三競標者對所有競標組合價值 1.....	7
表 2.4 三競標者對所有競標組合價值 2.....	8
表 2.5 計算複雜度比較.....	16
表 3.1 組合拍賣模式代號對照表.....	24
表 3.2 樹狀結構之可競標組合.....	25
表 3.3 數量結構中 k 值與計算複雜度.....	28
表 3.4 四種組合拍賣模式優缺分析.....	33
表 4.1 各地區小功率電台頻率執照數量表.....	35
表 5.1 不同競標倍率之拍賣回合數.....	50



第一章 緒論

本章的主要目的在說明本篇論文的研究方向及研究方法及架構，將分為四節。第 1.1 節說明「研究動機」。第 1.2 節說明「問題界定與研究目的」。第 1.3 節說明「研究方法與論文架構」。

1.1 研究動機

在解嚴後自民國 82 年開始，調頻廣播電台經歷 10 梯次電台執照開放，其申請的方式皆採用審查制度，經營者的執照六年須重新申請，但因審查制度的門檻不高，幾乎所有原經營者皆可以順利取得相同頻段的執照，因此廣播電台的經營者變動非常小。

而現階段面臨「第 11 梯次調頻廣播電台執照開放」，由國家通訊傳播委員會(National Communications Commission, NCC)[24]執行此計畫來分配電台執照。隨著審議制發照逐漸廢除，拍賣制發照逐漸被提倡，其中在 2002 年台灣的 3G 執照發放開始採用拍賣的方式釋照，而創造了 488.99 億元台幣[2]的高收入。由此先例之下，若在廣播執照採拍賣制發照則可以有效的分配執照。因此在民國 99 年 NCC 通過廣電法修正草案，將廣電事業的執照釋照方式訂增為審議制和競價制，且在預算法 94 條中規定特許執照必須透過公開拍賣或招標的方式授與，因此廣播電台執照發放將以拍賣與審議制雙軌方式釋照。

使用拍賣的方式釋出執照，因拍賣方式種類繁多，基本上分為兩種，一種為單項拍賣(Single Item Auction)，其競標物為單項競標物；另一種為組合拍賣(Combinatorial Auction)[31]，其競標物為包裹的方式包含不同競標物。組合拍賣的優點主要因為考量到執照間可能具有綜效價值(Synergic Value)[6]，使用組合拍賣有利於經營者能擁有更多市場價值與政府能提高拍賣收入。反觀單項競標時，競標者因無法確定是否能得標所有執照出價有所保留。而在組合拍賣裡確保得標時會贏得所有競標執照，讓競標者能夠放心的出價。因此在廣播執照，組合拍賣機制較優於單項拍賣機制。

組合拍賣的實際應用方面，美國於 2008 年完成 700MHz 頻譜拍賣裡已應用到組合拍賣的拍賣方式。其上段 700MHz 之 C 頻段採同時性多回合包裹式拍賣(Simultaneous Multiple Round with Package Bidding, SMRPB)[7]方式，將 C 頻段分為共 12 張地區執照以階層式包裹競標(Hierarchical Package Bidding, HPB)[26]售出，其為地區執照包裹共有四種 1-12 執照、1-8 執照、9-10 執照和 11-12 執照。因應美國已將組合拍賣使用在頻譜執照拍賣上，反觀台灣卻還未使用過組合拍賣的模式，若台灣也同樣將組合拍賣使用在頻譜拍賣上則可以使拍賣制度更加齊全也可使拍賣金額更高。台灣目前有意將 700MHz 頻段回收再重新規劃釋出執照，但因在地區的劃分上因台灣面積狹小且 700MHz 又具有高穿透率低衰退性，因此使用組合拍賣於台灣 700MHz 拍賣式意義並不大。

不同於 700MHz，調頻廣播電台執照因不同地區的人文、風俗習慣和方便性等不同的因素，全台共劃分 18 個地區。且「第 11 梯次調頻廣播執照開放」也將開在 18 個地區中不等的開放共 155 個小功率執照，希望整合廣播電台將地下電台納入管理，填滿所有頻率使地下電台無法侵入干擾。由於廣播電台執照種類眾多，彼此間應有綜效價值存在，因此本研究如何將組合拍賣使用在廣播電台調頻執照釋照上。

1.2 問題界定與研究目的

在「第 11 梯次調頻廣播執照開放」裡，擬開放 155 張小功率執照，其中有 22 張為公益執照為免費申請，而其餘 133 張執照則為商業性執照可供業者使用。在 133 張執照中，每張執照都有其地區於頻率限制，因此研究地區間與頻率各屬性之間的關聯性。

若以組合拍賣方式釋出執照，因為在組合拍賣模式裡，競標者可以任意競標所需要的競標組合，在本研究中調頻廣播電台頻率為 88MHz 至 108MHz 之間，讓一個電台可以使用的頻率為 200k，因此在 20MHz 中共可以容納 100 個電台。地區上全台共劃分為 20 個經濟區域。因此整個調頻廣播電台頻譜共有 2000 張執照。若同時發放執照在計算複雜度有 2^{2000} 約有 10^{600} 的複雜度。

而本研究中所考慮的執照總數為 133 張，若讓競標者任意選擇競標組合時計算複雜度為 2^{133} 約為 10^{40} ，因此需要考慮競標物彼此間的關聯性與如何建立最適當的可競標組合集合，為本研究中的問題。

本研究的研究目的本研究以台灣廣播電台頻譜為對象，將組合拍的形式帶入台灣的執照拍賣和提供政府一個參考如何將組合拍賣應用在廣播電台調頻執照上。因組合拍賣為一種新拍賣形式，在先前台灣並無任何使用組合拍賣的拍賣例子，而美國已將組合拍賣應用在其 700MHz 頻譜拍賣上，其拍賣系統如圖 1.1 所示[23]。以及實作一個針對廣播電台執照的拍賣系統，讓所有參予拍賣的政府與業者能夠實際操作與了解拍賣流程。

The screenshot displays the FCC Auction System interface. At the top, there's a navigation bar with 'HOME', 'RESULTS', and 'ANNOUNCEMENTS' buttons. A search bar labeled 'Report:' is present. A status message on the right says 'Auction 73 is Closed'. The main content area is divided into several sections:

- Round 261 Summary:** A table showing financial and bidding statistics for Round 261.
- Viewable Reports:** A section with dropdown menus for 'Bidder' and 'Round 261', and a 'GO' button.
- Downloadable Reports:** A section with a dropdown for 'Auction Admin', a 'Round 261' dropdown, and a 'GO' button. It also includes links for 'XSD for use with XML Files' and 'CPE Calculation Template'.
- Bidder Summaries:** A section with a dropdown for '585 Consortium' and a 'Round 261' dropdown, with a 'GO' button.

Round 261	
Total PWB Amount	\$19,592,420,000
Dollar Change	\$0
Percentage Change	0.00%
Net Total PWB Amount	\$19,429,624,150
Dollar Change	\$0
Percentage Change	0.00%
New Bids	0
Proactive Waivers	0
Withdrawals	0
Dropped Bids	No
Reduced Eligibility	0
Licenses with PWBs	1090
Number of PWBs	1090
FCC Held	8
Stage Transition Percentage	0.00%
Eligible Bidders at Round Open	101
Eligibility Bidders at Round Close	101

圖 1.1 美國 FCC 拍賣系統

1.3 研究方法與論文架構

本研究的主要研究方法將從競標物的特性，依照競標物的性質將頻率分為兩種不同特性的競標物，一種為不指定頻率，此種頻率性質為頻率非顯著(Frequency Insignificant)性的競標物，不同頻率對競標者差異不大；另一種為指定頻率頻，此種頻率性質為率顯著(Frequency Significant)性競標物，不同頻率對競標者差異顯著。依據不同競標物的性質建立組合拍賣模式。在不指定頻率下可分為樹狀結構(Nested Structures)[31]競標與幾何結構(Geometry-Based Structures)[31]競標。在指定頻率下可分樹狀結構競標與數量結構(Cardinality-Based Structures)[31]競標，由表 1.1 所示，且在第 3.1 節中會詳細說明拍賣模式分類的原因。經分析過後綜合出四種不同的組合拍賣模式分析其優缺點與可行性。將建立的拍賣模式實作成拍賣系統，經由分析各組合拍賣模式的資料庫設計，以及用爪哇語言(Java Language)[21]撰寫程式來計算各拍賣模式之競標結果。最後使用組合拍賣系統來比較各拍賣模式之間的差異與計算時間，且用核(Core)[1, 26]觀念驗證各組合拍賣模式之競標結果是否為合理價格，其過程由圖 1.2 所示。

表 1.1 拍賣模式分類

頻率性質	地區競標物結構	說明
不指定頻率	樹狀結構	地區為離散式資產
	幾何結構	地區為連續式資產
指定頻率	樹狀結構	地區為離散式資產
	數量結構	地區為離散式資產

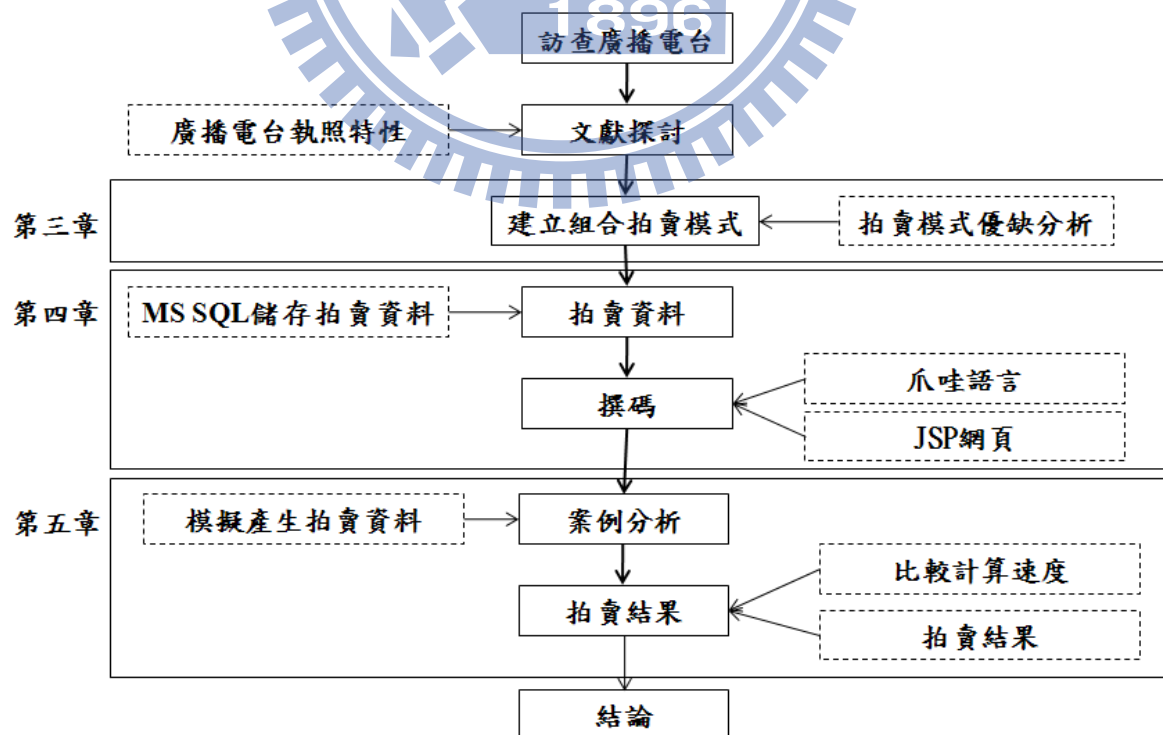


圖 1.2 研究方法及步驟

本論文的論文架構內容編排如下。

第一章：緒論—說明本論文之研究動機、問題界定與研究目的和研究方法。

第二章：文獻回顧—回顧台灣廣播電台的現況與發展，以及說明組合拍賣原理與拍賣機制與核的關係。

第三章：調頻廣播的組合拍賣設計—將頻率分為指定頻率與不指定頻率兩部分，建立六種拍賣模式，分別分析其優點、缺點。

第四章：各種組合拍賣模式實作—說明各種拍賣模式的拍賣資料儲存、計算得標者與得標金額與拍賣系統的使用介面。

第五章：拍賣結果之比較與驗證—在各種競標模式之下，比較拍賣實行後其計算速度與驗證在不同拍賣機制底下的拍賣結果是否為合理價格。

第六章：結論—心得、分析及未來研究方向。



第二章 文獻回顧

隨著組合拍賣概念越來越受到使用，本章將會從台灣廣播電台調頻頻率現今情況為開端其中主要說明「第 11 梯次調頻廣播執照開放」之過程，以及對組合拍賣的原理和賣出的價格為合理價格且拍賣執照的有效分配來回顧。

本章共分為三節，在第 2.1 節說明「台灣廣播電台調頻頻率」現況與發展。第 2.2 節說明「組合拍賣原理」。第 2.3 節說明「組合拍賣機制與核」。第 2.4 節說明「整數規劃軟體說明」。

2.1 台灣廣播電台調頻頻率現況與發展

台灣廣播電台在頻譜上的運用主要分為調頻(Frequency Modulation, FM)與調幅(Amplitude Modulation, AM)兩種種類[25]。因廣播電台技術上較不受地形與空間的限制，且廣播電台有立即訊息、高行動性及高普及率，及收聽者的獲取門檻低，且以現今的科技技術使用電腦、手機和收音機等設備皆可以免費的收聽廣播電台，加上廣播電台的頻率為特殊的傳播管道及具有頻譜之稀有性。若廣播電台執照將整合與重新分配，必會受到各界的關注，所以其發放的規則值得研究。

自民國 82 年二月新聞局公告開放第一次的頻道申設至民國 91 年止，分十個梯次開放廣播頻道供民間申設廣播電台，其開放的時間與數量由附表 A.1 所示。迄今共有 174 個頻率被使用，合法電台共有 208 個，其中有大功率電台 12 家、電台分台 36 家、中功率電台 80 家、小功率電台 80 家，由表 2.1 所示。在開放申設多年後，許多頻率可能早已閒置與頻率之間並不密集，因此使得非法地下電台可以趁虛而入，而目前地下電台數大約 200 多家。數量過多的非法地下電台，不僅對於目前合法業者不公平，其長期干擾電波秩序，甚至溢波、竄音和蓋音，造成合法電台在播送上的干擾，過度影響聽眾的收音品質。對於廣播產業的發展而言更是一項存在已久的劣勢，因此在非法電台長期干擾之下，好的方法就是能重整所有的廣播電台，將電台移頻調整使電台間沒有空隙，使非法電台無法竄入。

表 2.1 現有電台家數統計表

	大功率	中功率	小功率	總計
電台	12 家	80 家	80 家	172 家
分台	36 家	0 家	0 家	36 家

因此在民國 94 年新聞局林佳龍局長開始執行「無線調頻廣播電台重整計畫」[14]，開始將頻率重整希望將同性質的電台放置在一起集中管理，且由從公營的電台開時著手。移頻的計畫一開始就受到許多業者的反彈其中以全英文發音的 ICRT 反彈最為嚴重，至今五年來並無顯著的成果。近年來甚至有廢除此計畫的構想，主因為重整計畫是以希望所有電台都為中功率電台為主與將要進行的頻率開放有所衝突，但還未執行。

近年來政府將又繼續推動「第 11 梯次調頻廣播執照開放」且交由 NCC 執行此計畫。

在第 11 梯次開放的頻率主要為在「無線調頻廣播重整計畫」裡未受移頻位作業影響之現有空閒的中、小功率頻率，加上中廣音樂網及寶島網之全區頻率。最初 NCC 將回收後的頻率將開放 2 個大功率、7 個中功率和 11 個小功率頻率，第二次又改為不開放大功率頻率，僅開放 10 個中功率和 37 個小功率的頻率，由表 2.2 所示為地區、功率及數量的分佈。在民國 98 年 1 月 6 日召開公開說明會，主要討論的議題為(一)開放頻率之地區、功率及數量，(二)釋照方式，(三)開放對象，(四)開放時程，共四個類別希望聽到使用者的意見。但最後 NCC 主委彭芸在立法院表示，「第 11 梯次調頻廣播執照開放」決定將開放 155 個小功率電台，並無任何大功率或中功率電台，為最後的決定。因在廣播電台現階段最嚴重的問題為非法電台猖獗，所以將開放 155 個小功率電台希望將非法電台納入管理，也可以避免財團化，但鼓勵多個小功率電台聯播可以增加競爭力，也將嚴重懲處非法電台的干擾，罰金從 20 萬提高為 100 萬起跳，負責人則會有 2 年以下有期徒刑。

表 2.2 第 11 梯次開放電台統計表

第 11 梯次開放電台統計表																					
	基隆	臺北	桃園	新竹	苗栗	臺中	南投	彰化	雲林	嘉義	臺南	高雄	屏東	恆春	宜蘭	花蓮	臺東	澎湖	金門	馬祖	合計
小功率	0	0	0	0	2	0	2	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	10
中功率	1	3	2	3	0	1	0	2	0	3	2	2	3	0	5	4	2	1	2	1	37
區域	北 區 (小功率 2 臺、 中功率 9 臺)					中 區 (小功率 3 臺、 中功率 3 臺)					南 區 (小功率 1 臺、 中功率 10 臺)					東 區 (小功率 2 臺、 中功率 11 臺)			離 島 (小功率 2 臺、 中功率 4 臺)		47

在「第 11 梯次調頻廣播執照開放」的釋照方式，經 NCC 通過廣電法修正草案，將廣電事業的執照釋照方式訂增為「審議制」和「競價制」雙軌並行的方式。而前 10 梯次調頻廣播執照開放皆採審議制，但因拍賣制為現今最符合公平、公開和公正原則的釋照方式，且在預算法第 94 條 87 年明訂「就限量特許執照之授與，除法律另有規定外，僅得依公開拍賣或招標方式為之」及且依監察院意見「亦應依預算法以公開拍賣或招標之方式為之」。美國再更早年民國 86 年「平衡預算法」裡將明言拍賣可用再廣播電台與電視執照。但因廣播電台的設立式具有公共服務責任，若所有的釋照皆採拍賣制雖然可使較有規模的企業參予，和增加國庫收入，但許多中小企業會減少獲取執照的機會與且電台會易於財團化，因此加入審議制的模式，且規定現有廣播電台執照之企業不得申請，且在民國 99 年由 NCC 修正廣電法時加入落日條款，即現有電台經營者經執照年限到期後，只能在經一次換照且為期六年，之後需參與競標取得電台執照。

2.2 組合拍賣原理

組合拍賣最早的形式為 Cassady 所提出的清倉拍賣(Garage Sale)[30]。清倉拍賣只分為兩種形式，第一種為一次競標所有的清倉品，另一種為分別競標單項的清倉品。在最早開始的組合拍賣裡並沒有讓競標者有過多的選擇機會去組合自己所需要的，但這是一個組合拍賣應用的開端。在生活中也有許多組合拍賣的例子像是購買洗髮精與潤髮乳、購買電腦與螢幕或是大賣場裡同樣商品大包裝的組合等，其包裹販賣的價格為組合拍賣的出售價格。以上生活中的例子都是組合拍賣概念，但可以發現以上將商品用包裹形式出售時往往比單項購買價格加總低。因在生活中的組合形式商品都不具有稀有性，因此以包裹的形式賣出價格會較低，但若其商品為具稀有性時其組合拍賣價格會高於單價的加總。

適用組合拍賣的拍賣模式有兩種條件。第一為競標物間具有綜效價值，而組合拍賣的拍賣方式才能夠滿足此種經濟規模的產生。有許多原因可能會影響競標物間產生綜效價值，可能是地理位置上的相鄰或是與現有的經營區做結合等不同的原因[6]。除了綜效價值第二為競標物是否為具稀有性，若具有稀有性則組合拍賣價格高於單一購買價格加總，反之則低於單項購買價格加總。而在本篇主要研究對象為前者，這是因為頻譜執照為具有稀有性的物品。

在組合拍賣裡如何實現綜效價值，就是讓競標者可以在同一回拍賣裡，對一組的競標物出價，表示須贏得組合裡的所有競標物才付出此價格。相較於單項競標物拍賣，因為有些競標物對競標者來說是有綜效價值的，若競標者只到其中一部分的競標物，對競標者來說沒有任何價值的，即為在單項拍賣模式中常出現的暴露問題(Exposure Problem)[33]。由以下簡單的例子說明單項拍賣中的暴露問題[6]，有三競標者#1、#2、#3 與三個競標物 A、B、C，競標者分別對所有競標組合價值由表 2.3 所示。由表 2.3 可以看出有效的經濟分配為#1 得標 AB、#3 得標 C，因此在某回合當中競標者#1 對 A 與 B 競標物分別出價為 124 與 75，競標者#3 對 C 出價 74。在下回合競標者#2 發現上回合 B 與 C 競標物的暫時得標金額分別為 75 與 74，且加總後 $75 + 74 = 149 < V(BC) = 200$ 小於其競標物 $V(BC)$ 的價值，因此競標者#2 對 B 與 C 競標物出價 76 與 75 成為下回合的暫時的標者，而此回合競標者#1 仍然為 A 競標物的暫時得標者，得標金額為 124。因此競標者#1 對 A 競標物出價 124 高於 $V(A)$ 的 60 產生暴露問題。因為在單項拍賣中並不能以一組的方式出價，只能在同時間分別對競標物出價，所以不能確保具有綜效價值的競標物都會得標才會產生暴露問題。

表 2.3 三競標者對所有競標組合價值 1

競標者	V(A)	V(B)	V(C)	V(AB)	V(AC)	V(BC)	V(ABC)
#1	60	50	50	200*	110	100	250
#2	50	60	50	110	100	200	255
#3	50	50	75*	100	200	125	250

使用單項拍賣的方式競標可能會暴露問題的產生，對競標者來說存在一定賠錢的風險。因此需要設計撤銷標單(Withdraw)的機制來降低暴露問題所造成的損失，而此撤銷標單的機制須要考慮其撤銷標單時所需的成本訂定則是一大考驗。因此組合拍賣除了能確保買家

能夠競標到所有競標物減少賠錢的風險外，因風險的降低讓競標者能夠出較高的競價，也讓競標總額較高於單項競標讓賣家得到較多的收益。因此組合拍賣對買賣雙方都較有好處。組合拍賣的拍賣機制的產生，最主要的優點為克服單項同時性多回合拍賣(Simultaneous Multiple Round, SMR)[7]機制中會發生的暴露問題。相對的也會衍生出門檻問題(Threshold Problem)[10]。

門檻問題(Threshold Problem)[10]，為大競標組合與數個小競標組合對抗下產生的問題。因為大競標組合的得標價容易較高於數個小競標組合總和，但以真實價值來看數個小競標組合加總高於大競標組合。因為數個小競標組合為多家不同的利益團體，而每裡益團體都希望在拍賣中得到一定的獲利，如此一來並不容易與一個競標大組合的利益團體對抗，以至於無法有效的分配競標物的價值達到有效的經濟分配(Economically Efficient Assignment)。可以由以下簡單的例子說明[6]，有三競標者#1、#2、#3 與三個競標物 A、B、C，競標者分別對所有競標組合價值由表 2.4 所示。由表 2.4 可以看出有效的經濟分配為#1 得標 AC、#3 得標 B，且得標金額為次高價#1 以 94 得標 AC、#3 以 62 得標 B，其總金額為 $94 + 62 = 156$ 。但真時拍賣時並不會如此進行，反而會由#2 以次高價 161 得標 ABC，因為 161 大於 156，但有效的經濟分配 175 達於 170。因此若#1 與#3 要贏得拍賣則要多出至少 5.01 為一個典型的囚犯困境問題，I 為多出價 5.01 的策略、N 為不多出價的策略，協商利潤矩陣由圖 2.1 所示，有兩個奈許均衡(I, N)與(N, I)。因此透過協商才能使拍賣總金額至少高於 161，反之則會輸掉拍賣。

表 2.4 三競標者對所有競標組合價值 2

競標者	V(A)	V(B)	V(C)	V(AB)	V(AC)	V(BC)	V(ABC)
#1	60	30	30	100	100*	60	156
#2	30	62	20	90	94	82	170
#3	40	75*	20	115	60	95	161

		競標者#3	
		I	N
競標者#4	I	7.99 .99	13 .99
	N	7.99 6	0 0

圖 2.1 協商利潤矩陣

因此需要克服門檻問題不僅僅是希望可以得到更高的利潤，也是希望能將競標物做有效的經濟分配，讓社會利益達到最大化。因此使用組合拍賣時，須提供一個方法讓競標者進行溝通協商來可克服門檻問題。由 AUSM(Adaptive User Selection Mechanism)拍賣機制中提出的等候公布欄(Stand By Queue Bulletin Board)的方式，在每回合拍賣結束後公布暫時得標的競標組合與出價與未得標的競標組合與出價，讓競標者自行決定如何出價來變為得

標者。此公布欄的方式讓競標者可以互相協調溝通，產生有效的經濟方配與降低門檻問題。

將回顧組合拍賣模式， $N = \{1, 2, \dots, n\}$ 競標物集合， $C = \{x \in N\}$ 為可競標組合， $b(C)$ 為競價函數， M 為一個 $n \times |P|$ 的 0/1 矩陣， $P = \{C\}$ 為可競標組合集合，其數學式子由以下所示。如何解出此拍賣數學式中的贏家為贏家判定問題(Winner Determine Problem, WDP)[31]，使用整數規劃(Integer Programming)技術來進行。且以例子一來說明其組合拍賣單一回合拍賣模式詳細數學式。

$$\max \{b(C)x_C : M_i x_C \leq 1, x_C \in \{0, 1\}\}$$

例子一：單回合組合拍賣整數規劃模式

三個競標物分別為 A、B 與 C，可競標組合為 $C_1 = \{A, B\}$ 、 $C_2 = \{A, C\}$ 與 $C_3 = \{B, C\}$ ，競標者可對競標組合競標分別為 $b(C_1) = 5$ 、 $b(C_2) = 4$ 與 $b(C_3) = 3$ ，可列出組合拍賣的線整數模式為以下所示，其中 0/1 矩陣的行向量為競標物，列向量為競標組合。其 x_1 、 x_2 與 x_3 分別代表競標組合的狀態，可為 0 或 1，若為 0 表示此競標組合未得標，若為 1 則為得標。

$$\begin{array}{c} \text{Max } 5x_1 + 4x_2 + 3x_3 \\ \begin{array}{c} C_1 \quad C_2 \quad C_3 \\ \begin{array}{c} A \\ B \\ C \end{array} \end{array} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} \leq \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} \\ x_1, x_2, x_3 \in \{0, 1\} \end{array}$$

而為何限制式右邊為小於等於向量 1，因將 M 矩陣與 x_C 向量展開後表式競標物的數量，而在本例子中三個競標物數量皆為 1。將限制式展開後可以看出其物理意義，由第一個式子 $x_1 + x_2 \leq 1$ 來說明，在限制式中兩變數相加必須小於等於 1，因此解集合為 $(0, 0)$ 、 $(1, 0)$ 或 $(0, 1)$ ，表示競標組合 C_1 與競標組合 C_2 只有一個可以得標，因為兩競標組合皆包含競標物 A，但競標物 A 數量只有 1。

$$\begin{array}{l} \text{Max } 5x_1 + 4x_2 + 3x_3 \\ x_1 + x_2 \leq 1 \\ x_1 + x_3 \leq 1 \\ x_2 + x_3 \leq 1 \\ x_1, x_2, x_3 \in \{0, 1\} \end{array}$$

上述的整數規劃模式可以單回合組合拍賣或多回合組合拍賣方式來進行。對單回合組合拍賣來說，整數規劃模式的解可能不只一個，這時候會造成平手突破問題(Tie-breaking Problem)，因此在每回合當中須將所有平手的贏家計算出來，在利用時戳方法(Time Stamp Method)[10]來決定最後的贏家。其中時戳方法是，例如計算包裹標單的平均送標時間，送

標時間排序或抽籤決定等。這裡送標時間排序是指先將所有平手團體的送標時間由遲到早排序，再對最遲到者進行由小到大的排序。對多回合組合拍賣來說，這會面臨的各種問題更多，例如拍賣停止法則(Auction Stopping Rule)的設計。

在最初組合拍賣的概念是讓競標者可以任意選擇想要競標組合去競標，但隨著競標物越來越多，使得可以選擇的競標組合數目快速的變多。若有 x 個競標物，則可能的組合數則有 2^x 個組合，為指數分配的成長，使得組合拍賣在尋找到最佳解上面臨到計算上的困難。且從計算複雜度的範疇來看，組合拍賣問題等效於裝箱問題(Knapsack Problem)[28]，也因為裝箱問題已證明的是未定多項式時間問題(Non-deterministic Polynomial Complete)，因此組合拍賣問題的計算複雜度也是屬於此種類別。因此當競標物很多時較難計算之。

由於組合拍賣的計算複雜度，因此需要在競標組合上加上了限制，使競標者只能依照所允許的競標組合去競標，而對於每種不同的拍賣設計，可找到其對應的演算法，且可在多項式時間內計算出最佳解。清倉拍賣為最早的組合拍賣但為最缺乏彈性的拍賣模式。若需要增加競標組合的彈性，則須發展更多的可競標組合。因此接下來回顧由 Rothkopf[31] 提出的三種不同競標組合結構，第一種為樹狀結構拍賣，在 2.2.1 中說明。第二種為幾何結構拍賣，在 2.2.2 中說明。第三種為數量結構拍賣，在 2.2.3 中說明。依照競標物的特性可個別選擇不同類型的競標組合結構。

2.2.1 樹狀結構拍賣

假設可競標組合的集合為 P ，其中的競標組合 $C, C'' \in P$ ，在兩個競標組合取交集後一定為空集合、 C 或是 C'' ，可競標組合集合 P 的拍賣為樹狀結構拍賣。

例子二：樹狀結構競標的拍賣模式

五個競標物分別為 $X = \{A, B, C, D, E\}$ ，允許的競標組合為 $\{A, B, C\}$ 、 $\{D, E\}$ 、 X 和個別競標物，且將競標組合集合 $P = \{X, \{A, B, C\}, \{D, E\}, \text{個別競標物}\}$ ，在樹狀結構中每個節點都是一個可競標組合，如圖 2.2 所示為一個樹狀結構。

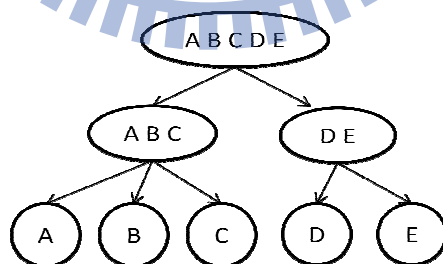


圖 2.2 樹狀結構圖[31]

因此將圖 2.1 中的樹狀結構 8 個節點分別以 C_1 至 C_8 命名，建立競標組合 M 矩陣下式所示。

一個樹狀結構是由多個子樹所組成的；也就是說可將其分離成最小的子樹，而就從最小的子樹開始進行尋找最佳解。加總子樹的所有的葉結點的競標值與其上層的根結點的競標值做比較。若葉節點大於根結點，則決定葉節點的競標組合為暫時得標者且跟新根結點的競標值。若根結點大於葉節點，則以根結點為暫時得標者，重複計算子樹直到子樹的根

結點為所有競標物的集合即可停止，其為樹狀結構的演算法。其計算出的結果為最佳得標者，計算複雜度為 $O(n^2)$ [31]。

$$M = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & C_3 & C_4 & C_5 & C_6 & C_7 & C_8 \\ \begin{matrix} A \\ B \\ C \\ D \\ E \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

樹狀結構為一種階層式架構，若希望將階層式資料存入關聯式資料庫上[16]，則有兩種方式一種為巢式集合(Nested Set)[20]的方式；另一種為相鄰串列(Adjacency List)[19]，皆可以將階層式資料存入。以圖 2.2 的樹狀結構競標組合為例，說明兩種方式如何運作。

在巢式集合裡使用深度搜尋的方式從根結點開始遍歷整個樹，以由左至右的規則給予數字從 1 開始直至最底層的葉節點。若走至葉結點後往右依序給予數字，直至走回至父節點，依序走完每棵子樹直至回到根節點。依此進行最後每一個節點皆會有一組數值(左值, 右值)，由此左右值可知道每個節點在樹狀結構中的位置，而巢式集合的表達方式為圖 2.3 所式。



圖 2.3 巢式集合階層表示法轉換圖

將樹狀結構以巢式集合的方式標號後，每個節點都有特定的一組左右值，因此建立將樹狀結構建立一張資料表，共有四個欄位 ID、LFT、RIG 和 Name，其中 ID 為此張資料的主鍵，而 LFT 與 RIG 為左右值，由左右值可以得到整棵樹的結構，與 Name 為此節點的名稱。由巢式集合方式可以將任何的樹狀結構圖存入關聯式資料庫中。

ID	LFT	RIG	Name
1	1	16	ABCDE
2	2	9	ABC
3	3	4	A
4	5	6	B
5	7	8	C
6	10	15	DE
7	11	12	D
8	13	14	E

圖 2.4 巢狀結構資料表

在相鄰串列裡使用的廣度搜尋的方式，將每個節點標示出所屬的父節點而完成整棵樹。因此經由父節點的標示每個節點可以找到其下一階層的子節點，若要找出整棵樹的結構則只需依序往下搜尋其父節點與子節點的關係，其為圖 2.5 所示。

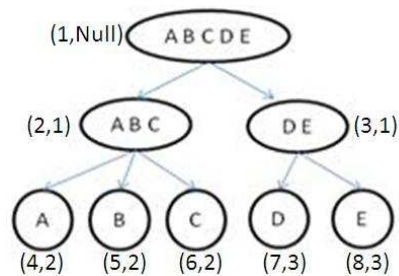


圖 2.5 相鄰串列階層式表式轉換圖

將相鄰串列建立資料表共有三個欄位 ID、Name 和 ParentID，其中把 ParentID 為 Null 的標示為 0，表示為根節點。可從資料表中的 ParentID 與 ID 對照搜尋，即可以將樹狀結構表達出來，由圖 2.6 所示。

ID	Name	ParentID
1	ABCDE	0
2	ABC	1
3	DE	1
4	A	2
5	B	2
6	C	2
7	D	3
8	E	3

圖 2.6 相鄰串列資料表

在樹狀結構資料的儲存有以上兩種方式，其中相鄰串列為以往較普遍的做法。但因考量到當樹狀結構很大時，使用相鄰串列的執行效率並不好，因為若希望找出一節點的父節點時需執行一次遞迴，但若一節點位於第 10 層時要找出其所有父節點，則須執行 10 次遞迴才可以相其所有父節點找出，相鄰串列的方式建立在廣度搜尋，所以若要執行深度搜尋時會缺乏效率。因此本文在儲存樹狀資料時採用巢式結構的方式，將廣度搜尋改為深度搜尋的方式，在巢式集合中若需要蒐尋一位於第 10 層節點其所有父節點時，只需要遞迴一次判斷所有節點的左右值區間是否可以包含此節點的左右值區間，若可以則為其父節點，因此以巢式結構的方式儲存，若樹狀結構資料量大時執行效率較好。

因此在資料庫中以 SQL 語法分別查詢巢式集合與相鄰串列資料表，在查詢巢式集合資料只需使用兩張相同 NestedSet 資料表與一次遞迴。使用 WHERE 與 BETWEEN AND 語法限制節點左值介於其他節點的左右值之間，由 GROUP BY 函數將相同名稱的結點式為同一群組，用 COUNT 函數可以查詢出節點的深度，只經由一次的遞迴即可以將樹狀結構顯示出來，由圖 2.7 所示。

```

SELECT      N1.Name AS Node, COUNT(N2.Name) - 1 AS depth
FROM        NestedSet N1 CROSS JOIN
            NestedSet N2
WHERE       (N1.LFT BETWEEN N2.LFT AND N2.RIG)
GROUP BY   N1.Name
ORDER BY   depth

```

Node	depth
ABCDE	0
ABC	1
DE	1
E	2
A	2
B	2
C	2
D	2

圖 2.7 巢式結構顯示樹狀結構之 SQL 語法

在相鄰串列資料表中，因此樹狀結構為三層若要建立整棵樹則需用遞迴兩次用到三張相同 Adjacency 資料表，使用 LEFT OUTER JOIN 語法兩次遞迴比對其 ParentID 詢到節點所有的父節點，且由 WHERE 語法限制其根節點為特定点，因此經由兩次遞迴可以三階層樹狀顯示在查詢結果上，由圖 2.8 所示。因巢式集合與相鄰串列在資料儲存的結構上有所不同，因此查詢樹狀結果的顯示方式也不盡相同，但基本上兩種不同的結構皆可以提供完整的資料查詢、新增與刪除功能。

```

SELECT      A1.Name AS lev1, A2.Name AS Lev2, A3.Name AS Lev3
FROM        Adjacency A1
LEFT OUTER JOIN Adjacency A2 ON A1.ID = A2.ParentID
LEFT OUTER JOIN Adjacency A3 ON A2.ID = A3.ParentID
WHERE       (A1.Name = 'ABCDE')

```

結果顯示

lev1	Lev2	Lev3
ABCDE	ABC	A
ABCDE	ABC	B
ABCDE	ABC	C
ABCDE	DE	D
ABCDE	DE	E

圖 2.8 相鄰串列顯示樹狀結構之 SQL 語法

2.2.2 數量結構拍賣

競標組合大小結構下的拍賣，為一個將可競標組合其大小受限制拍賣結構。假設競標物 X 總共有 n 個，如果存在一個 $k > 0$ ，為將競標物分成幾等份的係數，將可競標組合 C 的大小限制為， $|C| = 1$ 或 $|C| > n/k$ ，則只會有 $k-1$ 組合的競標組合會為最佳得標者。假設 $k = 2$ ，則除了 $|C| = 1$ 的單一競標物的組合，只會有一個 $|C| > n/2$ 的競標組合為最佳解。以下為數量結構之定義。

$$P = \{C \subseteq X, |C| = 1, |C| > n/k\}$$

$$S = \{C \subseteq X, |C| > n/k\}, b(C) > 0$$

集合 S 表示所有長度大於 1 的可競標組合，只要從集合 S 當中挑出 $k-1$ 個競標組合加上長度為 1 的單一標物的組合，比較所有可行的結果，則可以找到利潤極大化的最佳得標者，其計算複雜度為 $O(|S|^{k-1})$ [31]。

數量結構拍賣下有一個特例，若將允許的競標組合大小限制在兩個以下 $|C| \leq 2$ ，則可以將組合拍問問題對應成配對問題。在計算複雜度的範疇裡，配對問題是一個可多項式時間的問題，計算複雜度為 $O(n^3)$ [31]，所以可以進一步將上述可競標組合做擴充，除了單一的競標物，競標者的競標組合大小可以為 2，可在有效時間內找到利潤極大化的最佳得標者，其計算複雜度為 $O(n^3|S|^{k-1})$ [31]。

$$P = \{C \subseteq X, |C| \leq 2, |C| > n/k\}$$

$$S = \{C \subseteq X, |C| > n/k, b(C) > 0\}$$

2.2.3 幾何結構拍賣

上述兩種競標組合的結構適用於離散型(Discrete)競標物，且都只能使用於一維的競標物，而在幾何結構拍賣適用於連續型(Continuous)的競標物，且可以使用在一維或是二維的競標物。

離散式競標物與連續型的競標物差異，是從競標物本身的特性或拍賣者對於競標物的觀點去決定，像是以台灣地區三個相連的縣市台北、桃園和新竹來看。若將三地區視為離散式競標物，則競標者可以競標(台北,新竹)為一個競標組合，但若將其視為連續性競標物，則無法競標上述之組合只能競標(台北,桃園)或是(台北,桃園,新竹)之競標組合。上述以台灣地區縣市為例子的說明及為一維的競標物。若在以縣市之分加上頻率，則為二維的競標物。

在一維的幾何結構，所定義的競標組合以區間的方式來表示。假設所有的競標物為 $X = [1, n]$ ，競標組合為 $C_{i,j} = \{x \in A : i \leq x \leq j\}$ ，且區間裡的 i, j 皆為整數代表競標物。則可競標組合為 $P \subseteq \{[i, j] : 1 \leq i \leq j \leq n\}$ ，為有線型的競標組合。另一種可競標組合為 $P \subseteq \{[i, j] : 1 \leq i, j \leq n\}$ 為圓型的競標組合，由圖 2.9 所示。

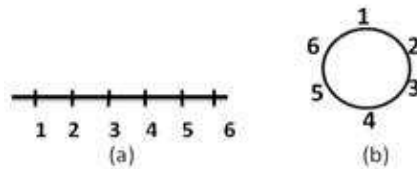


圖 2.9 (a)線型幾何結構 (b)圓型幾何結構[31]

上述的兩種允許的競標組合，直線型與圓型都是可以用可多項式時間的演算法去計算出最佳得標者，計算複雜度分別為 $O(n^2)$ 與 $O(n^3)$ [31]。

在二維的幾何結構拍賣。假設所有競標物 $X = [1, m] \times [1, n]$ ，可競標組合為 $P = \{[a, b] \times [c, d] : 1 \leq a \leq b \leq m, 1 \leq c \leq d \leq n\}$ ，由結構上來看可競標的組合是任一矩型區塊。若讓競標者任意競標矩型的競標組合，沒有一個可多項式時間的演算法可以找到最佳的得

表者，所以必須進一步去限制競標組合，將矩型分為列矩型跟行矩型，分別為 $R_a=[a, a] \times [1, n]$ 、 $C_b=[1, m] \times [b, b]$ 跟單一競標物，競標者只能對行列矩型跟單一競標物，因 $R_a \cap C_b \neq \emptyset$ 所以得到的結果，為只有行矩型跟單一的競標者或列舉型跟單一得標者如圖 2.10 所示，比較兩種結果較好的為最佳得標者。

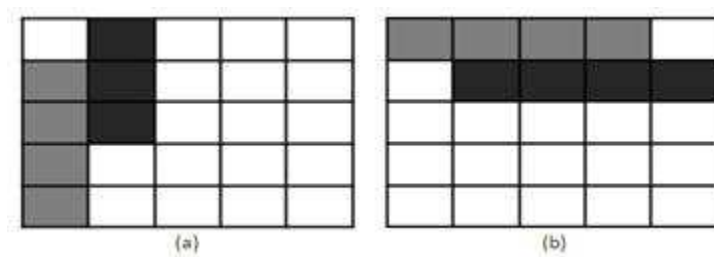
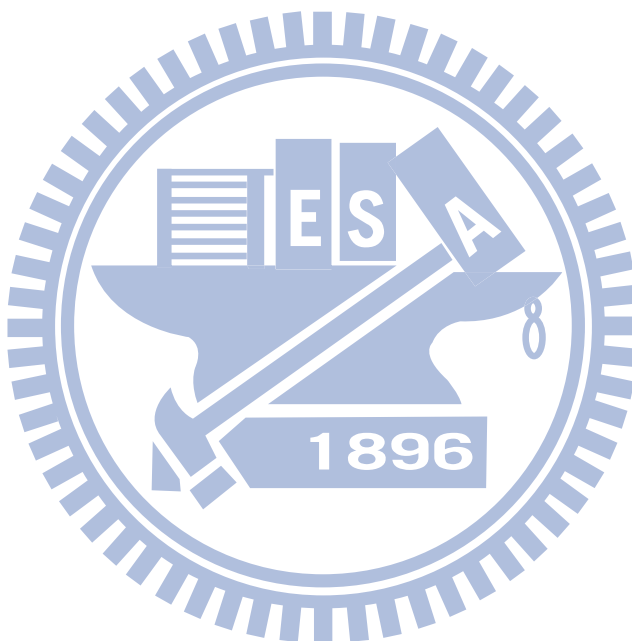


圖 2.10 (a)列矩型結構 (b)行矩型結構[31]

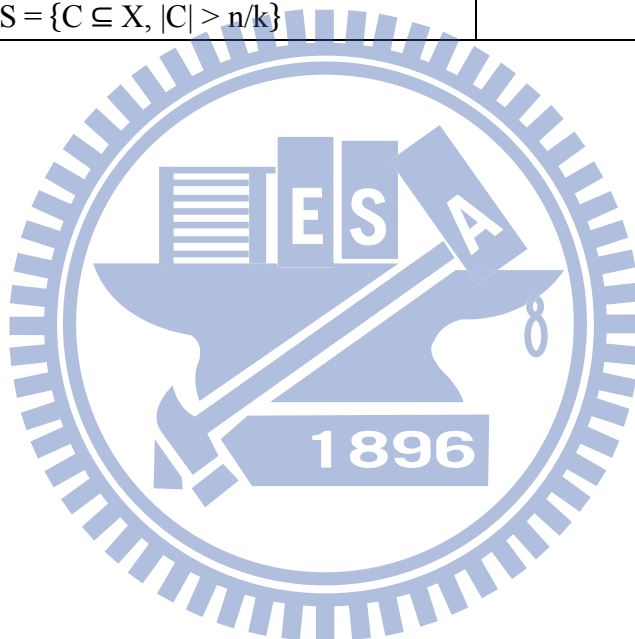


2.2.4 計算複雜度的比較

比較各競標物結構下的計算複雜度，由表 2.5 所示。在表中樹狀結構只有一種形式，計算複雜度為 $O(n^2)$ 。幾何結構分為線型與圓型兩種型式，計算複雜度分別為 $O(n^2)$ 與 $O(n^3)$ 。數量結構只有一種型式，其定義中集合 S 為長度大於 2 的可競標組合集合，計算複雜度為 $O(n^3|S|^{k-1})$ 。

表 2.5 計算複雜度比較

可競標組合	數學定義	計算複雜度
樹狀結構	$C, C' \in P$ 且 $C \cap C' = C, C'$ 或 \emptyset	$O(n^2)$
幾何結構(線型)	$P \subseteq \{[i, j] : 1 \leq i \leq j \leq n\}$	$O(n^2)$
幾何結構(圓型)	$P \subseteq \{[i, j] : 1 \leq i, j \leq n\}$	$O(n^3)$
數量結構	$P = \{C \subseteq X, C \leq 2, C > n/k\}$ $S = \{C \subseteq X, C > n/k\}$	$O(n^3 S ^{k-1})$



2.3 組合拍賣機制與核

拍賣有數種著名的機制，有首價拍賣、維氏拍賣、英式拍賣和荷蘭式拍賣。本節將對兩種拍賣機制做介紹，而探討其在組合拍賣上進行的方式和可能發生的困境，因此在節中會忽略組合拍賣的計算複雜度，競標者可以競標任一種競標組合，在最後也會說明組合拍賣與核的關係及最後的競標結果是合理的價格。

本節將分為三節，第 2.3.1 節為「閉式首價拍賣(Sealed-bid First-price Auction)[27]機制」，第 2.3.2 節為「Vickrey-Clarke-Groves 拍賣[33]機制」。第 2.3.3 節為「核」。

2.3.1 閉式首價拍賣機制

閉式首價拍賣為一回合的拍賣由柏翰(D. Bernheim)和溫斯頓(M. Whinston)[5]提出，最後必須付所競標的金額為首價拍賣的首要特色。因此每個競標者都有自己的競價策略，而在賽局理論當中當各競標者的競價策略為等效時，此時競價策略達到奈許均衡(Nash Equilibrium)[9]，此競價策略為 $\beta(x) = \max(0, v(x) - \pi)$ ，稱之利潤目標策略，其中 π 為競標者所希望獲得的利潤，而競價策略即為競標物的價值減去利潤。在 Milgrom[5] 書中證明，當其中一個競標者使用利潤目標策略時，其餘競標者最好的競標策略也會是利潤目標策略，為奈許均衡。在閉式首價拍賣裡，當競標者已出價後，將把問題變成贏家決定問題，只要計算出使利潤最佳的得標者，即為拍賣的結果，且競標者必須付他所競標的價格。

在閉式拍賣裡，因為為一回合的拍賣，競標者與競標者之間的不可能發生串供的情形。因為不像上升拍賣可以得知其他競標者對於競標物的價值，或是利用出價的價格與其他競標者打暗號互相告知，而讓拍賣沒有完全達到有效的分配。但用首價拍賣也有其缺點，就是競標者的競價策略為一個含有很多不確定的策略。如當一個競標者過於貪心時可能會失去得標機會，而得標者也可能會遭受贏家的詛咒。若競標物是共同價值時沒有辦法得知其他競標者的資訊，就沒有辦法避免贏家的詛咒(Winner's Curse)[32]，相較於若是開式拍賣可得到其他競標者的資訊也就可以消除贏家的詛咒。

2.3.2 Vickrey-Clarke-Groves 拍賣機制

單一競標物拍賣裡的維氏拍賣(Vickrey Auction)[27]機制可以推廣 VCG(Vickrey, Clarke, Groves)機制。使用在組合拍賣裡，維氏拍賣為當競標者贏得拍賣時，須付第二高價的競標者所出的價。而使用維氏拍賣的優點為可以是競標者的出價策略很單純，競標者會出自己心中的價值。對於單一競標物的拍賣可以適用維氏拍賣，因只有單一競標物，所有的競標者只會對此競標物競標，但在組合拍裡有許多不同的組合可能會被競標，因此需用到 VCG 拍賣。當競標者得標後所付的價格不會是第二高價的競標者所出的價格，因為所競標組合不同並沒有第二高價者，所以競標者會得到一個虛擬的回饋值，這個回饋值稱之維氏報償(Vickrey Payment)[33]。維氏報償為若一個得標的競標者參與拍賣使拍賣收益的增額，而得標者所付的價格為出價又為維氏報償，以下例子說明 VCG 拍賣和維氏報償。

例子三: VCG 拍賣

有兩個競標物 a 和 b，兩個競標者甲和乙。甲競標者對於其競標物的價值為 $\{a\}=10$ ， $\{b\}=5$ 和 $\{a, b\}=15$ ，乙競標者為 $\{a\}=1$ ， $\{b\}=6$ 和 $\{a, b\}=12$ ，拍賣結果為甲得到 a 以得到 b 總收益為 16，但若甲競標者沒有參與拍賣得標者為乙而拍賣的收益為 12，甲的參與收益增額為 $16-12=4$ 即為維氏報償，所以甲須付的價格為 $10-4=6$ 。相同的乙競標者的維氏報償為 $16-15=1$ ，乙須付的價格為 $6-1=5$ ，最後使用 VCG 拍賣得到的結果為 11，而在 2.3.3 節裡的例子五會說明其結果為合理價格。

VCG 拍賣跟維氏拍賣相同的是，競標者會競標自己真實的價格，因為維氏報償為一個主要的誘因，但在 VCG 拍賣裡存在許多問題，主要的問題為詐欺問題，不論在單一競標物或組合拍賣裡都存在地方可以讓競標者或是賣家進行詐欺。在 Hobbs[33]指出其中一種詐欺，若賣家跟競標者為供應商跟顧客的關係，兩方可能串供使提高維氏報償，在 Sakurai[34]另外指出一種詐欺問題，競標者可能會以偽名(False Name)競標而巧妙的提高維氏報償，以例子四說明，

例子四:VCG 拍賣中偽名情況

有三個競標物 a, b 和 c，四個競標者，第一個競標者競標 $\{a, b, c\}=2$ ，其他三個競標者分別競標 $\{a\}=1$ ， $\{b\}=1$ 和 $\{c\}=1$ ，所以得標者為其他三個競標者，而其三者的維氏報償皆為 $3-2=1$ ，其維氏報償等於競標價格所以三者所需付的金額為零，而讓賣家的利潤為零，而其拍賣的結果並不會落在核裡不為合理價格。

在例子四裡，其他三個競標者為同一個競標者，利用偽名方式分別對三個競標物競標而使其利潤達到最大，因為若是競標 $\{a, b, c\}=3$ 時須付出價格 2，以至於有誘因使得競標者使用詐欺的方式。在 VCG 拍賣裡，要求競標者對於所有的競標組合出價，就算競標者對此競標組合不抱希望，因為每個競標者的出價會影響到其維氏報償，若競標物多時此點很不容易達到，因此 VCG 拍賣在理論上競標者競標自己真實的價格是能讓拍賣達到有效的分配，但在現實上很難達到真正的執行。

2.3.3 核

參與拍賣的競標者跟賣家，都屬參加拍賣的利益團體，要如何合理的分配彼此參加拍賣所得的利潤為一大要項，所以用核的觀念來說明。一個拍賣的結果對於所有的參予者都是能接受的為核裡價格。

因為在組合拍賣裡，將競標者看做利益團體。因為各個競標者所競標的競標組合的不同，所以競標者之間的合作關係受到限制。若當競標者之間的競標組合不衝突時才能有合作的價值，且無論在哪個合作關係裡賣家皆會參與，因為要賣家為賣出競標物的利益團體，必須考慮到賣家的利益此拍賣才能順利的實行。假設 S 為利益團體的合作關係， $\omega(S)$ 為合作價值函數為

$$\omega(S) = \begin{cases} \max\{\sum_{l \in S} \{v^l(x^l)\}\} & \text{if } 0 \in S \\ 0 & \text{if } 0 \notin S \end{cases}$$

其中 0 為賣家，而在拍賣裡各團體的利益可組成利益向量，為核裡的結果，而核的定義為，

$$Core(N, \omega) = \{ \pi \mid \sum_{i \in N} \pi^i = \omega(N), \sum_{i \in S} \pi^i \geq \omega(S) \}$$

其中 N 為所有參加拍賣的利益團體，前半部為所有的利益團體可分享利益的限制，為所由參與者的合作價值。因拍賣機制就是在有預算限制下讓競標物做有效的分配，而後半部為各個利益團體合作後的利益要大於單打獨鬥的利益，而核的限制式也為參與限制式使利益團體願意參與，因所有裡利益團體都希望可以得到越多的利潤。若各利益團體在拍賣後所得的利潤落在核的範圍裡，可以稱之其拍賣價格為合理的價格，所有的利益團體都可以接受的結果，以例子四說明。

例子五: VCG 拍賣價格為核裡價格

為例子三裡的核，有三個利益團賣家、甲和乙分別以 {0,1,2} 代，其 $S = \{\{0,1\}, \{0,2\}, \{0,1,2\}\}$ 其核為，

$$Core = \{ \pi_0 + \pi_1 \geq 15, \pi_0 + \pi_2 \geq 12, \pi_0 + \pi_1 + \pi_2 \geq 16, \pi_0 + \pi_1 + \pi_2 = 16 \}$$

而由例子三 VCG 拍賣的結果為 $\pi_0=11, \pi_1=4, \pi_2=1$ ，此結果落在核裡，所以為合理價格。

不是所有的拍賣機制所得到的拍賣結果都會落在核裡，在 2.3.1 提到的閉式首價拍賣，因為拍賣得標者為贏家決定問題所得到的結果且競標者為出價多少需付多少的拍賣，其結果會落在核裡，為合理的價格。因為此點始首價拍賣在組合拍賣裡一直為最使用的拍賣機制，而在 2.3.2 提到的 VCG 拍賣，因為得標者所付出的價格並不試是出的價格，以至使得拍賣結果可能會落在核外為不合理價格，表示並不是所有的利益團體對拍賣結果都滿意，可由例子五說明。

例子六: VCG 拍賣價格不為核裡價格

計算例子四的核且說明結果不在核內，有五個利益團體，賣家與四個競標者分別由 {0, 1, 2, 3, 4} 代表，其 $S = \{\{0, 1\}, \{0, 2, 3, 4\}\}$ 其核為，

$$Core = \{ \pi_0 + \pi_1 \geq 2, \pi_0 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 \geq 3, \pi_0 + \pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 = 3 \}$$

由例子四 VCG 拍賣所得的結果為，得標者為其他三個競標者，而第一競標者沒有得標利潤為 0， $\pi_0 = 0, \pi_2 = 1, \pi_3 = 1, \pi_4 = 1$ 其拍賣結果沒有落在核內。

若當使用 VCG 拍賣會有可能得到不在核內的結果時，我們需考慮是否可能是因為競標者使用上述的偽名方式或是其他串供方式競標，而從反向的思考，其在核內是否可以找到一個核裡解取代由 VCG 拍賣的結果，在 Robert[8]提出一個拍賣機制為近似 VCG 拍賣，就是由 VCG 的結果基礎在配合核的限制，在核的範圍裡搜尋核裡的最佳解為柏拉圖最佳解(Bidder-Pareto Optimal)而取代 VCG 結果。

2.4 整數規劃軟體

在本研究裡拍賣結果贏家判定問題中，使用整數規劃技術來計算。為了拍賣系統使用爪哇語言的一制性，因此從爪哇語言的開放原始碼平台 Apache Software Foundation[11]中，找到 Commons Math 2.1[12]通用數學 API，在 Commons Math 2.1 中提供許多關於計算與分析的套件，其中有線性代數、基因演算法和線性規劃等多種不同的類別。因此利用其中的 org.apache.commons.math.optimization 套件來計算整數規劃問題。

2.4.1 解整數規劃程式

在計算整數規劃程式中利用八個類別，LinearEquation 類別為建立線性式子。LinearModel 類別為建立線性規劃模式。Relationship 類別為其中的大小於符號。SimplexSolver 類別為解線性規劃。LinearObjectiveFunction 類別為目標式的線性式子。GoalType 類別標明目標式為極大或極小。NoFeasibleSolutionException 類別與 UnboundedSolutionException 類別為無可行解與之例外處理。

以下為一整數規劃之爪哇程式碼，由圖 2.11 所示。其目標式為 $\text{Max } 4x_1 + 3x_2$ ，限制式為 $3x_1 + 2x_2 \leq 1$ ， $2x_1 + x_2 \leq 1$ ，非負限制為 $x_1 \geq 0$ ， $x_2 \geq 0$ 。

```
import org.apache.commons.math.optimization.LinearEquation;
import org.apache.commons.math.optimization.LinearModel;
import org.apache.commons.math.optimization.NoFeasibleSolutionException;
import org.apache.commons.math.optimization.Relationship;
import org.apache.commons.math.optimization.SimplexSolver;
import org.apache.commons.math.optimization.LinearObjectiveFunction;
import org.apache.commons.math.optimization.GoalType;
import org.apache.commons.math.optimization.UnboundedSolutionException;

public void simplexsolve(){

    double[] objectfunction={4,3};
    double[][] coefficient={{3,2},{2,1}};

    LinearModel model = new LinearModel
        (new LinearObjectiveFunction(objectfunction, 0, GoalType.MAXIMIZE));
    //建立極大化目標式
    model.addConstraint(new LinearEquation(coefficient[0], Relationship.LEQ,1))
    model.addConstraint(new LinearEquation(coefficient[1], Relationship.LEQ,1))
    //加入限制式
    model.addConstraint(new LinearEquation(new double[] { 1,0}, Relationship.GEQ, 0));
    model.addConstraint(new LinearEquation(new double[] { 0,1}, Relationship.GEQ, 0));
    //加入非負限制式
    SimplexSolver solver = new SimplexSolver(model);
    //解線性規劃
    LinearEquation solution = null;
    try {
        solution = solver.solve();
    } catch (UnboundedSolutionException e) {
        e.printStackTrace();
    } catch (NoFeasibleSolutionException e) {
        e.printStackTrace();
    }
    int answer[]=new int[3];
    answer[0]=(int)Math.round(solution.getRightHandSide());
    answer[1]=(int)Math.round(solution.getCoefficients().getEntry(0));
    answer[2]=(int)Math.round(solution.getCoefficients().getEntry(1));
    //回傳最佳解
}
```

圖 2.11 整數規劃爪哇程式碼

2.4.2 轉換參與限制矩陣程式

在解整數規化問題前需將問題轉換為特定格式的目標函數矩陣與參與限制係數矩陣。因此在計算組合拍賣結果前需要得知競價與其競標組合，分別轉換成目標函數矩陣與參與限制係數矩陣。其中最為複雜的樹狀結構拍賣模式，因為在樹狀結構中，可競標組合的資料使用巢式結構的方式來儲存。因此由例子二來說明，將可競標組合轉換為整數規劃中的參與限制係數矩陣。例子二中樹狀結構可競標組合以巢式方法儲存資料表為圖 2.3 所示。而將說明如何將巢式資料表轉換為參與限制係數矩陣。

$$\begin{aligned} 1 &= A \\ 2 &= B \\ \text{參與限制係數矩陣} &= 3 = C \\ 4 &= D \\ 5 &= E \end{aligned} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

```
//載入標單{競標組合ID,競價}
int[][] bidding={{1,30},{2,19},{3,4},{4,5},{5,3},{6,15},{7,5},{8,8}};
//載入樹狀結構{左值,右值,單一競標物ID}
int[][] nestedset={{1,16,0},{2,9,0},{3,4,1},{5,6,2},{7,8,3},{10,15,0},
{11,12,4},{13,14,5}};

//目標函數矩陣
double[] objection;
//參與限制矩陣
double[][] coefficient;

//產生目標函數矩陣與參與限制矩陣
for(int i=0;i<bidding.length;i++){
    for(int j=0;j<nestedset.length;j++){
        if(nestedset[bidding[i][0]-1][0]<=nestedset[j][0]&&
            nestedset[bidding[i][0]-1][1]>=nestedset[j][1]){
            if(nestedset[j][0]+1==nestedset[j][1]){
                coefficient[nestedset[j][2]-1][i]=1;
            }
        }
        else{
            if(nestedset[j][0]+1==nestedset[j][1]){
                coefficient[nestedset[j][2]-1][i]=0;
            }
        }
    }
    objection[i]=bidding[i][1];
}

/*輸出格式
objection      30.0      19.0      4.0      5.0      3.0      15.0      5.0      8.0

coefficient
1.0      1.0      1.0      0.0      0.0      0.0      0.0      0.0
1.0      1.0      0.0      1.0      0.0      0.0      0.0      0.0
1.0      1.0      0.0      0.0      1.0      0.0      0.0      0.0
1.0      0.0      0.0      0.0      0.0      1.0      1.0      0.0
1.0      0.0      0.0      0.0      0.0      1.0      0.0      1.0

*/
```

圖 2.12 巢式資料表轉換參與係數矩陣

若有四個競標者，分別對競標組合 ID 為 1, 2, 4, 6 競標且競標額為 30, 19, 5, 14。因此在轉換競標組合 ID 到參與限制係數矩陣時，需用到兩個迴圈。第一個迴圈為取得其競標組合 ID 下個左右值 LFT[i]和 RIG[i]欄位資料。第二個迴圈則為比較已競標組合下與所有可競標組合的左右值 LFT[j]和 RIG[j]。而在第二個迴圈下加入判斷式，若 $LFT[j] > LFT[i] \cdot RIG[j] < RIG[i]$ 為真之下，判斷 $LFT[j]+1=RIG[j]$ ，找出第 j 個可競標組合之代表的競標物 ID，將此競標組合向量在相對應的競標物位置填上 1。反之若 $LFT[j] > LFT[i] \cdot RIG[j] < RIG[i]$ 未發生時，同樣判斷 $LFT[j]+1=RIG[j]$ 為真時，將此競標組合向量在相對應的競標物位置填上 0。

因為在樹狀結構模式中，所有的競標物都可以為一個單一競標物的可競標組合，且位置位於樹狀結構的做底層。因此若由巢式結構表達法儲存資料，只要是左右值差距 1 的組合即是單一競標物，所以可以使用此特性來判斷所競標組合中所包含的競標物。其爪哇轉換程式碼由圖 2.12 所示。

2.4.3 整數規劃中求解多重解

在單回合組合拍賣中贏家判定問題，以整數規劃技術求解。以整數規劃求解時若是遇到有多重解時為平手突破問題，在拍賣裡若遇到平手時，須將所有平手的結果計算出來，以更公平的方式從平手得標者中選出最後得標者，通常會以時戳的方式決定。而在 2.4.1 節中說明的整數規劃套件，其求解方式為利用線性規劃中的單行法(Simplex Method)方式求解。而在單行法中，若求出一解時單行法即停止計算，並無法將所有多重解求解出來。因此自行另外撰寫一個 SolveTieBreak 類別，其類別利用令現行最佳解中其一個變數等於零，例如若 $x_i = 1$ 則加入 $x_i = 0$ 的加入此限制式比較兩解之目標式值，判斷是否有多重解。若有多重解時則以遞迴方式將所有解求出。以下面例子說明，以下例子為例子二拍賣模式，加入目標函數為係數集合為{6, 3, 3, 1, 1, 1, 1, 1}。可從整數規劃式子中看出共有三組解為(1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0)、(0, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0)、(0, 0, 1, 1, 1, 1, 0, 0)，最大值皆為 6。以下說明利用 SolveTieBreak 類別方式解出所有多重解。

$$\begin{aligned} & \text{Max } 6x_1 + 3x_2 + 3x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 \\ & \begin{matrix} A \\ B \\ C \\ D \\ E \end{matrix} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \\ x_7 \\ x_8 \end{pmatrix} \leq \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} \\ & x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8 \in \{0, 1\} \end{aligned}$$

在 SolveTieBreak 類別中，其建構子中建立整數規劃的模型，此類別中有兩個主要的方法為解整數規劃 simplexsolve()與找出是否有其他解 findOtherAns()，由圖 2.13 所示。在此例子中，解整數規劃後計算出(1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0)目標值為 6。因需判斷是否還有其他解因

此令 $x_1 = 0$ ，加入整數規劃模型再做計算，求出解後判斷是否等於目標值 6，由圖 2.14 所示。因加入額外限制式 $x_1 = 0$ 後求解為(0, 1, 1, 0, 0, 0, 0)目標值為 6，因此不斷重複計算再加入 $x_2 = 0$ 求解為(0, 0, 1, 1, 1, 1, 0, 0)目標值為 6，直至解出目標值小於 6 時停止，及求出所有多重解。

```
//建立整數規劃模式
public SolveTieBreak (double object[],double constraint[][],int assertNum,int
packageNum){
    objectfunction=object;
    coefficient=constraint;
    n=coefficient.length;
    m=objectfunction.length;

    nonnegative=new double[m][m];
    for(int j=0;j<m;j++){
        for(int k=0;k<m;k++){
            if(j==k){nonnegative[j][k]=1;}
            else{nonnegative[j][k]=0;}
        }
    }

    model = new LinearModel(new LinearObjectiveFunction(objectfunction,0,GoalType.MAXIMIZE));
    //參與限制式
    for(int i=0;i<n;i++){
        model.addConstraint(new LinearEquation(coefficient[i],Relationship.LEQ,1));
    }
    //非負限制式
    for(int q=0;q<m;q++){
        model.addConstraint(new LinearEquation(nonnegative[q],Relationship.GEQ, 0));
    }
}

//解整數規劃
public double[] simplexsolve() {
    solver = new SimplexSolver(model);
    LinearEquation solution = null;
    try {
        solution = solver.solve();
    } catch (UnboundedSolutionException e) {
        e.printStackTrace();
    } catch (NoFeasibleSolutionException e) {
        e.printStackTrace();
    }
    ans=new double[m+1];
    ans[0]= (double)Math.round(solution.getRightHandSide());
    for(int i=1;i<m+1;i++){
        ans[i]=(double)Math.round(solution.getCoefficients().getEntry(i-1));
    }
    return ans;
}
```

圖 2.13 SolveTieBreak 類別:建構子與解整數規劃方法

```
//加入令其中一現行解為零限制式
public double[] findOtherAns(double[] otherans){
    ans1=otherans;
    //整數規畫模型model加上xi=0限制式
    model.addConstraint(new LinearEquation(nonnegative[i], Relationship.EQ, 0));
    ans2=new double[m+1];
    ans2=simplexsolve();
    return ans2;
}
```

圖 2.14 SolveTieBreak 類別:加入額外限制式求其他解方法

第三章 調頻廣播執照的組合拍賣模式分析

隨著美國在 700MHz 頻譜拍賣使用組合拍賣後，組合拍賣為一種新的拍賣型式可以提供我們來選擇。使用組合拍賣的前提須先了解競標物的特性，適合使用組合拍賣的競標物大多是具有稀有性且競標物之間是否有綜效價值。因此在第 3.1 節中說明調頻廣播電台執照的競標物屬性、業者需求及為何將頻率分成兩類作研究。而頻率分成同地區不指定頻率及同地區指定頻率兩種拍賣模式，分別在第 3.2 節與第 3.3 節討論。最後第 3.4 節為比較所建立的各拍賣模之分析及優缺。

3.1 廣播執照的屬性分析

廣播電台執照的每張執照皆有地區與頻段兩種適用區域的屬性。在地區限制部分，因「第 11 梯次調頻廣播執照開放」將開放 133 個小功率電台執照，切因為小功率電台發射頻率範圍較小發射半徑約 10km 至 15km，因此可以將每個不同地區視為獨立的競標物。在頻率部份，電台業者對於頻率要求可以分成兩種類型，一種不指定頻率也就是業者對於頻率的需求不是很在意，只希望得到所需要經營的地區，在此種模式之下得標者的頻率為政府統一分配。另一種為指定頻率也就是業者對於頻率的需求有特定的喜好，希望可針對所指定的頻段競標。

且在廣播電台執照拍賣裡，地區的屬性因具有綜效價值，也就是考量到業者可能會同時需求到數個地區的電台執照，因此以地區的性質建構組合拍賣結構，而頻率的屬性則否。因此分別各頻率分類下，研究及建立三種競標物結構，其三種競標物結構分別為第 2.2 節中說明的樹狀結構、幾何結構與數量結構，因此共有六個拍賣模式由表 3.1 所示。因此接下來將討論不指定頻率的拍賣模式，分別為甲案、乙案與丙案。以及指定頻率的拍賣模式，分別為丁案、戊案與己案[3]。

表 3.1 組合拍賣模式代號對照表

	不指定頻率	指定頻率
樹狀結構	甲案	丁案
幾何結構	乙案	戊案
數量結構	丙案	己案

3.2 同地區不指定頻率

在廣播電台執照拍賣裡，須要先分析各執照之間的關係。每張頻譜執照有地區與頻率的限制。當兩張為同頻率但地區不同時，執照間可有綜效價值，相對地若相同地區但頻率不同時，執照間則為替代品(Substitute Goods)。在本節暫且不考慮頻率間為替代品，將所有各頻率都視為同質性的競標物。

在文獻探討章節有提過組合拍賣的整數規劃模式， $N = \{1, 2, \dots, n\}$ 競標物集合，

$C = \{x \in N\}$ 為可競標組合， $b(C)$ 為競價函數， $S(n)$ 競標物數量函數 $N \rightarrow Z^+$ ， M 為一個 $n \times |P|$ 的 0/1 矩陣， $P = \{C\}$ 為可競標組合集合，為一個整數規劃問題。

$$\begin{aligned} & \text{Max}_{C \in P} b(C) x_C \\ & \text{st } M_i x_C \leq S(n) \\ & x_C \in \{0, 1\} \end{aligned}$$

將原先競標物數量都為 1 的限制改為 $S(n)$ 的限制，則可以將組合拍賣推廣至一次拍賣多個同質性商品。本節提出將頻率視為同質性競標物，將原先頻譜因有頻率與地區的限制化簡為只需考慮地區的分別；廣播電台調頻電台執照地區為全台縣市各劃分成 18 張執照，若讓競標者任意選擇其所需之組合則可競標組合共有 $2^{18} \cong 10^6$ 種。必須考慮其競標物之可競標組合的結構，減少可競標組合數量降低計算複雜度。在第 3.1.1 節將說明甲案，第 3.1.2 節將說明拍賣模式乙案，第 3.1.3 節將說明拍賣模式丙案分別討論。

3.2.1 拍賣模式甲案

對甲案來說，這就樹狀結構的方式來限制可競標組合。樹狀結構競標將競標物視為離散式資產，在建立可競標組合時不須要考慮地理位置。在台灣縣市區分共 18 個區域，將 18 個區域視為各別可競標的競標物，依台灣地理位置與商業或文化因素區分成三種不同的可競標組合集合，其中每種可競標組合競標物數量皆固定為 1，以表 3.2 所示。在甲案中不同競標物數量為 18 個區域，計算複雜度依照第 2.2.4 節中的說明為 $O(18^2)$ 。

表 3.2 樹狀結構之可競標組合

競標組合	可競標組合 1	可競標組合 2	可競標組合 3	可競標組合 4	可競標組合 5
集合 A	基隆、臺北、桃園、新竹	苗栗、臺中、南投、彰化、雲林	嘉義、臺南、高雄、屏東、澎湖	宜蘭、花蓮、臺東	金馬
集合 B	基隆、臺北、宜蘭	桃園、新竹、苗栗、臺中、彰化	南投、雲林、嘉義、花蓮、臺東	臺南、高雄、屏東、澎湖、	金馬
集合 C	基隆、臺北、宜蘭、花蓮	桃園、新竹、苗栗	臺中、南投、彰化、雲林、嘉義	臺南、高雄、屏東、臺東、澎湖	金馬

因廣播電台頻率其頻率物理特性與其商業模式規模並不龐大，所以競標組合皆是小範圍的包含 2 至 5 個縣市。競標組合集合 A 是依照台灣無線電調幅頻率現階段將台灣分成北、中、南和東四區域，考慮到調幅與調頻電台其商業模式，都是屬於廣播業務而其分區模式，而其分區模式可以加入考量之內。競標組合集合 B 是參考數位電視基地台與有線電視服務業者其分佈，而分成競標組合 5 組。因有線電視業者是既有公司團體，各家有線電視不同

的分佈情形，可代表業者對於地區組合的喜好性與架設基地台方便性和地方文化性多等因素，因此將此種組合設立為競標組合集合 B。競標組合集合 C 為依照人口密而相連地區為基準，劃分成 4 組競標組合。因人口密度高低可視為收聽廣播電台人數之指標，可以為是否在此地區架設基地台的依據，因此可將此設立為可競標組合集合 C。

在樹狀結構競標裡，除了表 3.1 指出的可競標組合外，每一組競標組合集合也包含單一地區競標物的組合。因在廣播電台對於每個地區分配頻率有所不同，所以每個可競標組合會得標的數量最多只會等於組合裡最少張執照地區的量，

$$\text{Number}(C_i) \leq \text{Min}(\text{Number}(n \mid n \in C_i))$$

也因在此種結構中，每個可競標組合交集皆是空集合或位於下層的集合。若位在同層的樹狀結構中則 $C_i \cap C_j = \emptyset$ ，由圖 3.1 所示。而在表 3.1 列出的可競標組合皆是樹狀結構中同層的結構，因可競標組合數量有上限的限制，所以其餘競標物只能由單一競標物的組合賣出，在這種限制之下暴露問題變成很大的問題，必須在問題複雜度與暴露問題須要取得一個均衡點。若在同質性競標物很多時，使用樹狀結構競標時，其可競標組合的限制需要多加考慮競標物數量。若可行的話盡可能將競標物樹狀結構分成數層或是統一同一組合中競標物數量。

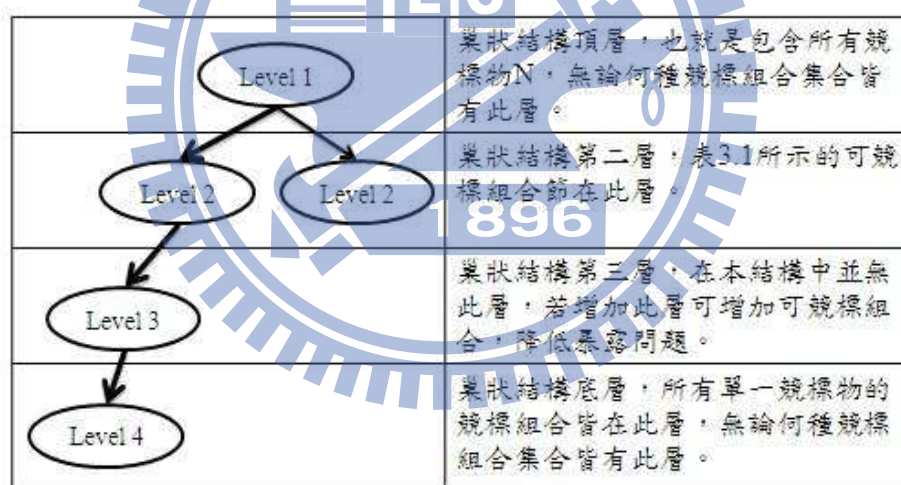


圖 3.1 可競標組合樹狀結構

3.2.2 拍賣模式乙案

對乙案來說，這是用幾何結構來限制可競標組合，須要考慮其地理位置關係。對圓型結構來說，其可競標組合是將各地區依地理位置排列在一個圓型上，如圖 3.2 所示。而競標組合就為一個閉區間的數學型式表達 $[A, B]$ ，A 為起始點、B 為終點的一維空間形式，其計算複雜度為 $O(18^3)$ 。

如何放置各縣市至圓型上會影響可競標組合及結果。因競標組合都為一閉區間型式，若競標者找不到其最佳的競標組合可能會選擇次佳的或是放棄競標。因此可以加大選擇競

標組合的彈性，將競標組合適當的分為多個圓圈，可讓競標組合的選擇更具有彈性也能克服門檻問題。

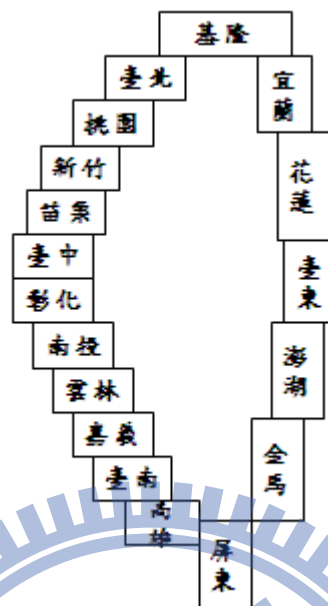


圖 3.2 全省之幾何結構

例如由圖 3.3 所示，在區分成兩個圓圈的可競標組合設定之下，競標者可選擇[台北, 高雄]此區間。而在未區分之下，若是想競標台北、高雄時，需要競標[台北, 桃園, 新竹, ..., 高雄]，較無效率且容易影響其他業者的競標，同時也有較大的門檻問題。因此依照地理位置將台灣分成東西兩半，其中將台北與高雄地區重複放在西部與東部。同時在區分之下計算複雜度也相對降低，因西半部競標物較多為 14 個競標物，因此計算複雜度降為 $O(14^3)$ 。

基隆	高雄	臺南	金門	澎湖
臺北				嘉義
桃園				雲林
新竹	苗栗	臺中	彰化	南投

(a)西半部幾何結構

臺北	高雄	屏東
宜蘭	花蓮	臺東

(b)東半部幾何結構

圖 3.3 劃分後之幾何結構

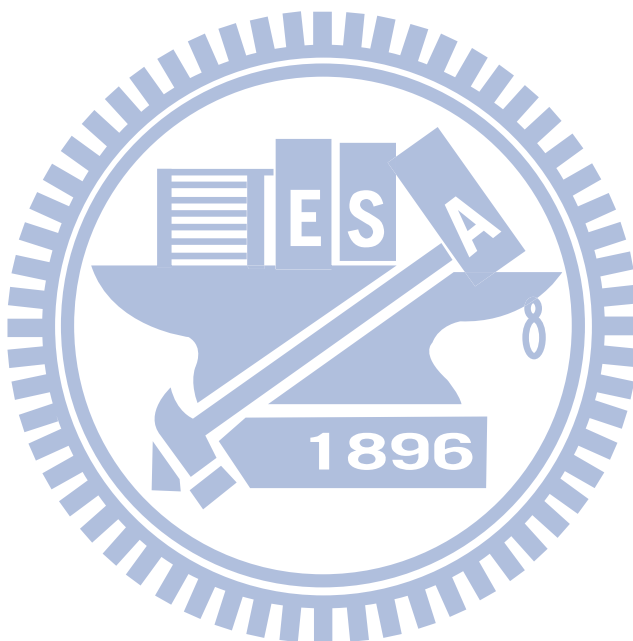
3.2.3 拍賣模式丙案

對丙案來說，這是用數量結構來限制可競標組合，不需要考慮其地理位置關係，但有競標組合長度的限制。其數學式為 $C_i \in C = \{C_i : |C_i| \leq 2, |C_i| > n/r\}$, $S = \{C_i : |C_i| > n/r\}$ 。而其計算複雜度與在定義中可競標組合長度所選擇的 r 值有關。例如 $r = 2$ 時，

$C = \{ |C| = 1, 2, 10, 11, \dots, 18 \}$ 其計算複雜度為 $O(18^3 \cdot 10^5)$ ； $r = 5$ 時， $C = \{ |C| = 1, 2, 4, 5, \dots, 18 \}$ 其計算複雜度為 $O(18^3 \cdot 10^{24})$ ，由表 3.3 所示。前者，雖計算複雜度為可接受範圍，但在可競標組合中 80% 為大組合，並不符合地區執照裡已經經濟區域為可量的前提，符合經濟區域的執照各數約 3~5 個縣市；而後者，計算複雜度高，幾乎接近任意選擇競標組合的情況，並沒有達到降低計算複雜度的結果。在例子中，兩個 r 值的選擇為丙案中最為極端的例子，皆有其致命之缺點，因此不建議使用丙案拍賣模式。

表 3.3 數量結構中 k 值與計算複雜度

k 值	$18/k$	C	$O(n^3 S ^{k-1})$
2	$18/2=9$	$C = \{ C = 1, 2, 10, 11, \dots, 18 \}$	$O(18^3 \cdot 10^5)$
5	$18/5=3.6$	$C = \{ C = 1, 2, 4, 5, \dots, 18 \}$	$O(18^3 \cdot 10^{24})$



3.3 同地區指定頻率

在本節將廣播電臺調頻頻率視為顯著差異的競標物，也就是在相同地區之下其頻率位置不同視為不同的競標物，且假設在相同地區頻率之間為替代品關係，因在相同地區競標者並不會需要兩個頻率。從頻率與地區分別來看，在本節將地區視為互補品而頻率視為替代品，且邏輯上的關係是地區之間為 AND 而頻率之間為 XOR(Elusive Or)由圖 3.4 所示。

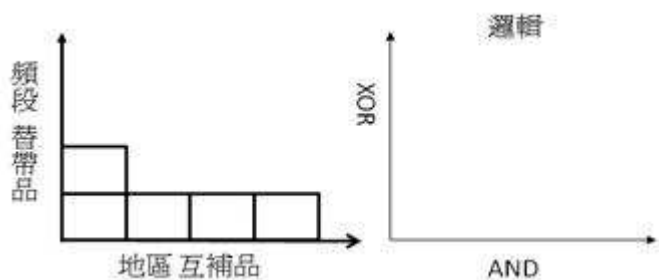


圖 3.4 頻率與地區邏輯關係

將競標組合的關係寫成式子，小括弧表示整組競標組合其中的逗號為分隔競標物與邏輯關係，邏輯關係則有 AND 與 XOR 兩種，例如(基隆 FM95,台北 FM95, AND)或是(台北 FM93,台北 FM95, XOR)。也可以將兩關係組合((台北 FM93,台北 FM95, XOR),基隆 FM95, AND)，因競標物在頻率與地區都有所差異，所以每樣競標物都是已兩種名稱為組合——地區 FMxx。

加入 XOR 關係後，可競標組合從原先只能選擇地區發展為可以選擇頻率。由圖 3.5 所示，左圖為甲廠商選擇地區 A, B, C 頻率為 FM1，乙廠商選擇地區 B, C 頻率為 FM2，加入特定頻率的 XOR 的關係後，如右圖甲廠商在 B 地區選擇 FM1 或是 FM2，相同的乙廠商也在 B 地區選擇了 FM2 或是 FM3。

地區			地區		
A B C			A B C		
FM1 FM2 FM3	甲廠商	甲廠商	甲廠商		甲廠商
		乙廠商		甲廠商	乙廠商
				乙廠商	

圖 3.5 XOR 關係之競標組合

加入 XOR 競標邏輯，可讓競標者的組合更具有彈性與選擇權。所以接下來將會分析若是加入 XOR 的關係到組合拍賣裡，如何計算出最佳得標者、會面臨的問題與如何選擇競標組合結構。。

從數學上的邏輯式來看 A 與 B 為 XOR，為非 A 或非 B 為真成立則 A 和 B 為 XOR，

將邏輯是轉化為整數不等式則為 $A + B \leq 1$ 。

$$\sim A \cup \sim B \equiv \text{True (邏輯表達)}$$

$$1 - A + 1 - B \geq 1$$

$$\Rightarrow A + B \leq 1 \text{ (整數不等式)}$$

若考慮 XOR 的拍賣則只需要將 $A+B \leq 1$ 的不等式加入拍賣組合當中，但因在組合拍賣裡的決策變數為競標組合，並不是單一競標物，所以將 A 與 B 競標物分別視為一種組合，但兩種組合最多只有一組能成立，所以加入一個虛擬競標物 D，則組合變為 (A,D, AND) 和 (B,D, AND)。因 D 為相同的競標物只需在可競標數量為 1 時，則可以滿足兩種競標組合不會同時售出，可以將 (A,B, XOR) 的關係加入組合拍賣中。

從原組合拍賣的整數規劃模式， $N = \{1, 2, \dots, n\}$ 競標物集合， $C = \{x \in N\}$ 為可競標組合， $b(C)$ 為競價函數， $S(n)$ 競標物數量函數 $N \rightarrow Z^+$ ， M 為一個 $n \times |P|$ 的 0/1 矩陣， $P = \{C\}$ 為可競標組合集合，為一個整數規劃問題，

$$\begin{aligned} & \text{Max}_{C \in P} b(C) x_C \\ & \text{st } Mx_C \leq S(n) \\ & x_C \in \{0, 1\} \end{aligned}$$

在這整數規劃裡可競標組合皆是 AND 的關係，加入 XOR 關係後須加入虛擬競標物，將所有可競標組合中有 XOR 關係展開，加入虛擬競標物。修正過後的整數規劃模式為， $N' = \{1, 2, \dots, n, d1, \dots, dk\}$ ， $C' = \{x \in N'\}$ ， $b(C')$ 為競價函數，其中展開的子競標組合其競價函數同原競標組合， $S(n')$ 為競標數量函數 $N' \rightarrow Z^+$ ，其中若競標物為虛擬競標物則 $S(\cdot)$ 為 1，則 M 矩陣更新為 $M' = [M, D]$ 為一個合成矩陣，其中 D 為 $|N' - N| \times |P|$ 的虛擬競標 0/1 矩陣， $P' = \{C'\}$ 為可競標組合集合，其方程式與原組合拍賣一樣，但只是將各變數作定義上的修正。

由圖 3.5 甲乙廠商的例子說明。在本節頻率為有顯著差異的競標物，因此在此例子中有三個地區與三個頻段共有九個競標物，由圖 3.6 所示。依照圖 3.5 的說明，甲廠商的競標組合為 (A, (D, E, XOR), G, AND)，乙廠商的競標組合為 ((E, F, XOR), AND)。

	地區		
F	A	D	G
	B	E	H
	C	F	I

圖 3.6 競標物代碼

依照 XOR 拍賣模式建立整數規劃。因兩個廠商競標組合中各有一個 XOR 關係，因此

須用到兩個虛擬競標物分別為 d1 與 d2。將甲廠商的競標組合拆成兩個為(A, D, G, d1)和(A, E, G, d1)，乙廠商也拆成兩個(E, H, d2)和(F, H, d2)。拆成數個競標組合後即可寫出 M' 競標矩陣以及整數規劃。

$$\begin{array}{c} \text{Max } b(C)x_C \\ \begin{array}{c} A \\ B \\ C \\ D \\ E \\ F \\ G \\ H \\ I \\ d1 \\ d2 \end{array} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} \leq \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} \\ x_1, x_2, x_3, x_4 \in \{0, 1\} \end{array}$$

在 XOR 組合拍賣裡，競標者先要決定其所需的地區，將地區的競標組合選定後在考慮其頻率的需求，而每一地區競標組合中，因競標者可以將選擇頻率 XOR，在計算上須將競標組合展開為 AND 的關係，所以考慮任一競標組合最大展開量。若有 3×3 的競標物，三個地區與三種 FM 頻率可供競標者競標，競標者選擇同時競標三個地區且每個地區分別 XOR 三種不同頻率，則此競標組合為完全競標組合。若將此競標組合展開後為擁有最大的展開量為 $3 \times 3 \times 3$ 共 27 種不同的組合，若寫成一般式，競標組合中有 n 個地區，每個地區各 $\{m_1, m_2, \dots, m_n\}$ 張執照，完全競標組合的數量為 $\prod_{i=1}^n m_i$ ，由此式可以看出隨著競標組合中地區數量的增加，完全競標組合也會增加成正比關係。

在本研究中須拍賣 133 張小功率執照分布於 20 個地區。但因無法得知各地區的確實執照數量，所以只知道 $\sum_{i=1}^{20} m_i = 133$ 。因此若競標者競標任意選擇競標組合時，競標組合數量依算幾不等式為 $\prod_{i=1}^{20} m_i \leq (133/20)^{20}$ ，為競標組合的數量約為 8^{20} 。而其中全區的競標組合包含 20 個地區，此競標組合的完全展開數量為 $\prod_{i=1}^{20} m_i \leq (133/20)^{20}$ 約為 7^{20} 。因此需要在地區上可競標組合以及頻率上的選擇做限制，減少可競標組合的數量，降低計算複雜度。第 3.2.1 節說明拍賣模式丁案。第 3.2.2 節說明拍賣模式戊案。第 3.2.3 節說明拍賣模式己案

3.3.1 拍賣模式丁案

對丁案來說，這就是巢式結構競標。將地區以巢式的方式分成幾個可競標組合，同表 3.2 所示。在丁案中不同於甲案的是，在選擇可競標組合後可以使用替代品的的方式來指定頻率。在競標組合部分，為可競標組合指定一單一頻率，加上一組替代品關係的可競標組合，組成一複合的競標組合。例如，((全台競標組合, FM1), (C₁, FM2), XOR)，若贏得拍賣時，一定為全台的執照但頻率可能部分分布於 FM1 與 FM2。

3.3.2 拍賣模式戊案

對戊案來說，這就是幾何結構競標。可競標組合與不指定頻率下的乙案相同。在幾何結構中其競標物依照地理位置排列成圓型，組成可競標組合。對業者來說，當競標地理位置相鄰的競標物組合時，並不傾向選擇不同的頻率，最好是能夠在一區域裡擁有相同的頻率。而對拍賣結果來說，因競標組合變動較大，很容易在相同頻率中有競標組合重疊的情形發生。經整數規劃求解後只有綜效價值較大的競標能得標。而若反觀在不指定頻率之下，若重疊部分皆得標時，可用抽籤的方式決定頻率，讓拍賣總價較高。因此考量到業者需求與拍賣結果，不建議使用戊案拍賣模式。

3.3.3 拍賣模式己案

對己案來說，這就是數量結構競標。可競標組合為 $r = 3$ 時， $C = \{|C| = 1, 2, 7, 8, \dots, 18\}$ 。可競標組合的大小較為極端，分為兩部分，在小組合部分 $C = \{|C| = 1, 2, 7, 8, 9\}$ 時，可競標組合裡每一張執照皆可以指定頻率；在大組合部分 $C = \{|C| = 10, \dots, 18\}$ ，因組合大小已超過所有競標物的一半，若讓每張執照皆指定頻率時，易與其他組合產稱重疊情形，且因組合較大綜效價值也相對較大，極為容易產生門檻問題。因此在大組合部分只能指定單一頻率，並不是每張執照皆可以指定。



3.4 各種組合拍賣模式綜合分析

本節為分析比較各拍賣模式的優缺。原先應有共六種拍賣模式，但在第 3.1.3 中提到在不指定頻率拍賣之下丙案並不適用。以及在第 3.2.2 中提指定頻率之下戊案並不適用。因此六種拍賣模式只剩下四種，分別為甲案、乙案、丁案和己案。而這四種拍賣模式為初步定案的模式皆為可行的，因此進一步分析各拍賣模式的優缺，由表 3.4 所示。

表 3.4 四種組合拍賣模式優缺分析

拍賣結構	優點	缺點
甲案	<ol style="list-style-type: none"> 1. 可競標組合地區的經濟範圍，與電台功率範圍相近，可以節省成本。 2. 因廣播電台調頻將開放 133 張皆為小功率執照，並無中、大功率的執照，將頻率皆視為同質性競標可以簡化拍賣，利於分配頻率。 	競標組合缺乏彈性，若不了解其商業模式時，可競標組合選擇不佳時會有暴露問題。
乙案	<ol style="list-style-type: none"> 1. 競標者依其所需相鄰地區執照，降低拍賣設計裡的暴露問題，可競標組合的彈性較大。 2. 因廣播電台調頻將開放 133 張皆為小功率執照，並無中、大功率的執照，將頻率皆視為同質性競標可以簡化拍賣，利於分配頻率。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 台灣主要的經濟區域分為北中南東離島五區。若用幾何結構將地區圍成圓圈時，競標者難以找到適合的競標組合。 2. 可大範圍競標，易於大財團壟斷，會有門檻問題。
丁案	<ol style="list-style-type: none"> 1. 可競標組合地區的經濟範圍，與電台功率範圍相近，可以節省成本。 2. 廣播電台頻率，可能具有其唯一性的特性，在 XOR 拍賣模式可以選擇其競標的頻率為優勢。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 競標組合缺乏彈性，若不了解其商業模式時，可競標組合選擇不佳時會有暴露問題。 1. 因頻率可以以 XOR 關係，多重選擇，拍賣計算複雜度高。
己案	<ol style="list-style-type: none"> 1. 若以數量結構競標，競標組合不受到地理位置的限制。 3. 廣播電台頻率，可能具有其唯一性的特性，在 XOR 拍賣模式可以選擇其競標的頻率為優勢。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 因頻率可以以 XOR 關係，多重選擇，拍賣計算複雜度高。 2. 因門檻問題，$C \geq n/r$ 只能指定單一頻率。

第四章 各種組合拍賣模式的實作

本章將實作先前所建立的四種組合拍賣模式，以模擬真實拍賣的方式研究廣播電台調頻執照拍賣的情況，以各組合拍賣模式實作為主要的研究的方向。實作的方式分為三個階段，第一部分為使用者介面(User Interface, UI)，主要為拍賣系統的標單設計使用 JSP(Java Server Page)動態網頁[18]，在第 4.3 節說明。第二部分為拍賣資料的儲存，這主要為設計關聯式資料庫來儲存拍賣資料，使用 Microsoft SQL 2000 資料庫[17]，在第 4.1 節說明。第三部分為計算得標者，其中以兩種不同的拍賣機制為競標方式來計算得標者，且使用爪哇語言及應用整數規劃的 API 演算法來演算法計算最佳得標者，在第 4.3 節說明。

在本章中的三個階段分別為三層式架構 (3-Tier Architecture)[13]中的兩層應用程式及資料庫。競標者從瀏覽器上連接 JSP 動態網頁上參與競標，輸入資料於 JSP 頁面上後由爪哇所提供的內建 JDBC 連接至資料來源 ODBC，將競標者標單儲存至資料庫中。在爪哇應用程式裡用 JDBC 驅動程式連接資料庫，讓計算得標者與得標金額的程式直接與資料庫聯結，最後將結果直接輸出至 JSP 頁面上，因此最後拍賣結果可直接顯示在 JSP 動態網頁上，本章三階段過程與之間關聯性由圖 4.1 所示。

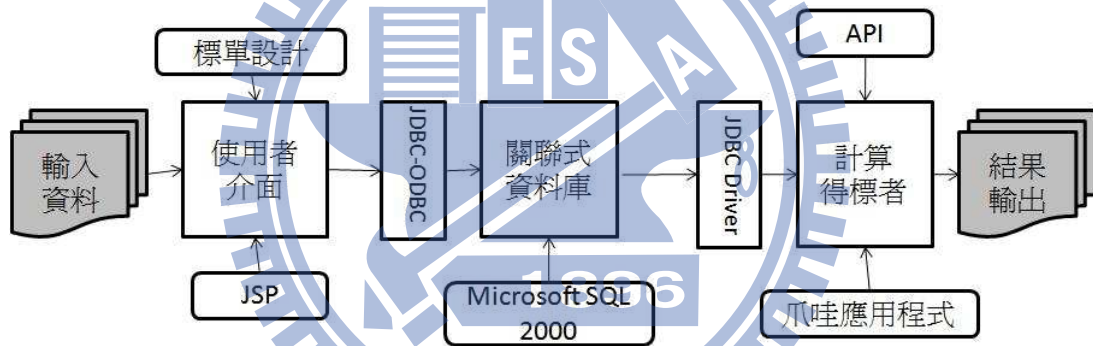


圖 4.1 三階段設計架構圖

4.1 拍賣資料的儲存

在本節說明拍賣資料的儲存，將依照各組合拍賣模式的競標物結構，設計如何將拍賣資料儲存到資料庫中，其中共分為三種，第一種為樹狀結構設計，說明如何將階層式資料儲存入關聯式資料庫，在第 4.1.1 節說明。第二種為幾何結構設計，說明儲存閉區間的拍賣資料，在第 4.1.2 節說明。第三種為數量結構設計，在第 4.1.3 節說明。在本節當中因由第三章討論出四種拍賣模式，因此共需建立四個資料庫。

4.1.1 樹狀結構設計

在第 11 梯次廣播調頻電台執照釋出中，目前的近況將釋出 155 張小功率執照，其中 22 張為公益電台執照，並不會參予拍賣但因目前還未定案。因此本研究假設各地區執照釋出之數量，以利於往後計算上的方便與真實性。之後皆可以加以修改並不影響拍賣模式的

設計，由表 4.1 所示，本表假設之結果由表 2.2 之中功率執照數量乘 3.3 在四捨五入所得為小功率執照量，加總後為 133 張執照。

表 4.1 各地區小功率電台頻率執照數量表

地區	基隆	臺北	桃園	新竹	苗栗	臺中	南投	彰化	雲林	嘉義
執照數量	3	10	7	10	2	3	2	7	1	10
地區	臺南	高雄	屏東	恆春	宜蘭	花蓮	臺東	澎湖	金門	馬祖
執照數量	7	7	10	1	16	15	8	3	7	4

在樹狀結構資料儲存上，使用第 2.2.1 節的巢式集合方式將不同的競標組合儲存在表格當中。在本節共建立兩個資料庫，一為不指定頻率差異的樹狀結構資料庫為甲案，另一個為指定頻率的樹狀結構資料庫為丁案。

在甲案資料庫中有四張資料表，其中 PackageTree 資料表為可競標組合，Package_Name 為競標物名稱，Lft 與 Rig 為每組競標物的左右值，最後將每個競標物給予一個特定的 Package_ID 為主鍵。因此限制競標者無法自由選擇競標組合，只能選擇已限制的競標組合。而在本研究 3.1 節裡將頻率相同時使用樹狀結構競標，因此在 PackageTreey 資料表中有 Package_Number 競標組合皆有數量限制，在 Assert 資料表中有 Assert_Number 的限制，其 IDEF1X 規格由圖 4.2 所示。

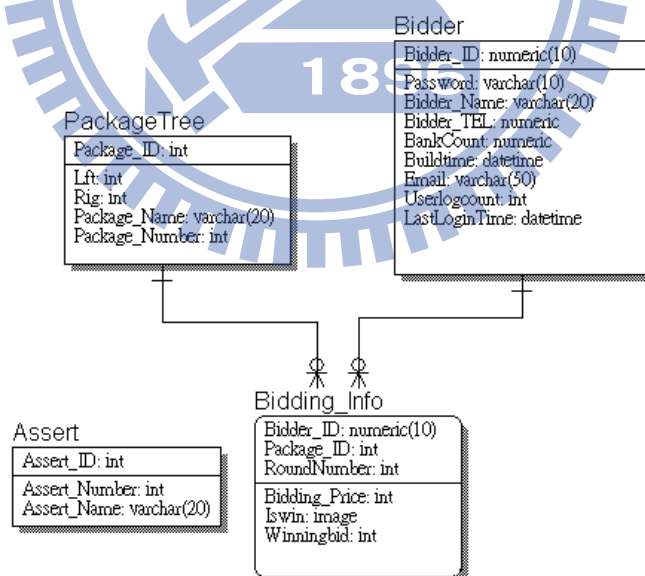


圖 4.2 頻率相同之樹狀結構之 IDEF1X

將樹狀結構的競標物使用巢式集合的方式儲存於資料庫中，圖 4.3 為可競標組合集合 A，儲存於資料庫當中，讓競標者只能選擇特定之競標物，而可競標組合集合 B 與 C，的資料儲存方式皆與可競標組合集合 A 相同。在競標組合數量欄位設定為各地區執照的數量。

若競標組合不是單一競標物，則將取其中競標物數量的最小值。

Package_ID	Lft	Rig	Package_Name	Package_Number	Package_ID	Lft	Rig	Package_Name	Package_Number	Package_ID	Lft	Rig	Package_Name	Package_Number
1	1	49	全台	1	1	1	50	全台	1	1	1	50	全台	1
2	2	11	臺北桃竹	3	2	2	9	臺北宜	3	2	2	11	臺北宜花	3
3	3	4	基隆	3	3	3	4	基隆	3	3	3	4	基隆	3
4	5	6	台北	10	4	5	6	台北	10	4	5	6	台北	10
5	7	8	桃園	7	5	7	8	宜蘭	7	5	7	8	宜蘭	16
6	9	10	新竹	10	6	10	22	桃新苗中彰	2	6	9	10	花蓮	15
7	12	23	苗中投彰雲	1	7	11	12	桃園	7	7	12	19	桃竹苗	2
8	13	14	苗栗	2	8	13	14	新竹	10	8	13	14	桃園	7
9	15	16	台中	3	9	15	16	苗栗	2	9	15	16	新竹	10
10	17	18	南投	2	10	17	18	台中	3	10	17	18	苗栗	2
11	19	20	彰化	7	11	19	20	彰化	7	11	20	31	中投彰雲嘉	1
12	21	22	雲林	1	12	21	33	南雲嘉花東	1	12	21	22	台中	3
13	24	35	嘉南高屏彰	1	13	23	24	南投	2	13	23	24	南投	2
14	25	26	嘉義	10	14	25	26	雲林	1	14	25	26	彰化	7
15	27	28	台南	7	15	27	28	嘉義	10	15	27	28	雲林	1
16	29	30	高雄	7	16	29	30	台中	3	16	29	30	嘉義	10
17	31	32	屏東	10	17	31	32	花蓮	15	17	32	43	南高屏東澎	3
18	33	34	澎湖	3	18	34	43	南高屏澎	3	18	33	34	台南	7
19	35	42	宜花東	8	19	35	36	台南	7	19	35	36	高雄	7
20	36	37	宜蘭	16	20	37	38	高雄	7	20	37	38	屏東	10
21	38	39	花蓮	15	21	39	40	屏東	10	21	39	40	台東	8
22	40	41	台東	8	22	41	42	澎湖	3	22	41	42	澎湖	3
23	43	48	金馬	4	23	44	49	金馬	4	23	44	49	金門	4
24	44	45	金門	7	24	45	46	金門	7	24	45	46	金門	7
25	46	47	馬祖	4	25	47	48	馬祖	4	25	47	48	馬祖	4

(a) 集合 A

(b)集合 B

(c)集合 C

圖 4.3 三種樹狀結構競標組合

若是在丁案中則須加上 Frequency 資料表與 XORPackage 資料表來儲存頻率與同地區相異頻率的選擇。而在 PackageTree 中原來的 Package_Number 因此消失，因在頻率相異競標中並沒有數量問題每個頻率都視為不相同的，此 IDEF1X 規格由圖 4.4 所示。

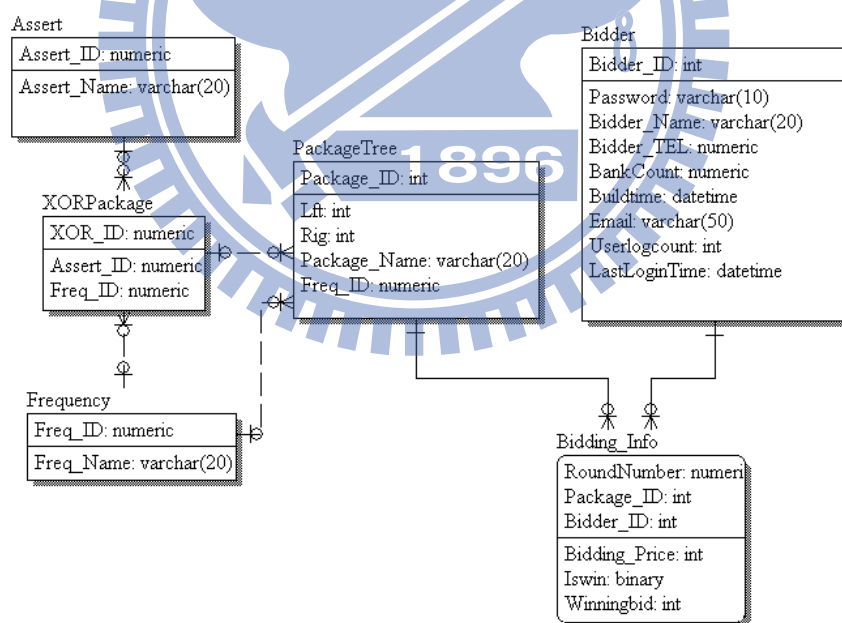


圖 4.4 頻率相異之 IDEF1X 規格

4.1.2 幾何結構設計

在一維幾何結構裡共分為兩種模式，一種為直線型幾何結構競標，另一種為環狀型幾何結構競標。本節將討論在 3.1 節中所提的同質性連續性資產的競標模式，使用環狀型幾

何結構競標。在幾何結構裡，描述競標物的模式皆以一個區間的方式儲存競標資料，由以下圖 4.5 所示為幾何結構的 IDEF1X，且在此設計之下競標者對相同的競標物數量皆為 1。

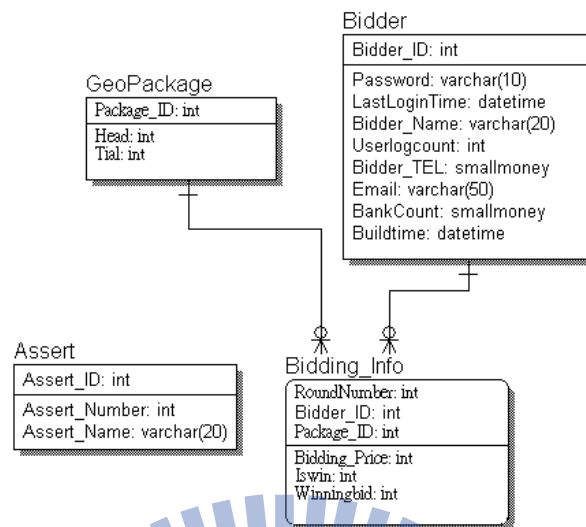


圖 4.5 幾何結構之 IDEF1X

在幾何結構資料表中，GeoPackage 資料表為儲存可競標組合，其中有 Head 與 Tail 欄位分別儲存連續競標物的始點與終點，而每一組不同的競標組合都會給予一個 Package_ID 做為主鍵，每種不同的競標區間包含不同組合的競標物。在本節討論的競標物為同質性連續競標物，其同質性為廣播電臺調頻執照的頻率，連續競標物為地區，因此額外有 Assert 資料表儲存地區與其可競標的執照數量。在一個可競標組合中可以包含多個競標物，因此無法將兩者資料表連結，而 Assert 資料表主要是分別儲存競標物的數量，因在 3.1 節中討論的競標物為同質性競標物，相同性質的競標物會有數個，由表 4.1 所示。

在 3.1.2 節中提到將全台地區畫分成兩部分後更能減少門檻問題，因此可競標組合資料表中設計成兩部分，其兩個部分都有包含台北與高雄地區。連續性資產並不一定是限制一定要地理上的連續，因此在第二個部分可以將台北與高雄硬性視為連續資產。先建立 Assert 資料表，由圖 4.6 所示，因台北與基隆都有一定的執照張數，並不將兩個地區重複命名這樣執照的數量的分配可由競標過程決定，較具有彈性。但若要將競標地區分為兩部分則需要程式來設定即可，將 Assert_ID 分成兩的集合，集合一為{1,2,...,14}為第一部分，集合二為{14, 15, ..., 19}為第二部分，其中假設 Assert_ID = 19 代表台北地區，由圖 4.6 所示。

因可競標組合的數量隨著競標物越多而增加為 n^2 ，在本文中共有 $232(14^2 + 6^2)$ 種組合，但因不一定每總組合都有會有競標者競標，所以 GeoPackage 資料表不需要先前建立，只需要讓競標者在競標時選擇後存入資料表即可。

Assert_ID	Assert_Num	Assert_Name
1	3	基隆
2	10	台北
3	7	桃園
4	10	新竹
5	2	苗栗
6	3	台中
7	7	彰化
8	2	南投
9	1	雲林
10	10	嘉義
11	3	澎湖
12	14	金馬
13	7	台南
14	7	高雄
15	11	屏東
16	8	台東
17	15	花蓮
18	16	宜蘭

圖 4.6 資料庫中 Assert 資料表

4.1.3 數量結構設計

數量結構的競標模式，主要是讓競標者可以自由選擇所希望競標的組合，但唯一的限制為競標組合裡的數量。在本文探討的競標物為廣播電台執照，其總可競標的執照張數為 133 張執照，但因在使用數量結構競標模式時有配合 XOR 的拍賣方法，因此執照的頻率可使用 XOR 邏輯方式加入競標組合，所以在數量方面僅限制地區的不同。在全台共分為 18 種不同地區的執照，而數量限制則為 $|C| \leq 2$, $|C| > 18/k$ ，其中可為任意正數，因此須選擇適當的 k 值來加以限制競標組合的長度。而在 XOR 競標的方式在大組合則不適用，其考量為計算的複雜度，因此限制競標者只能在選擇競標組合小於等於 2 時可以適用。其 IDEF1X 規格由圖 4.7 所示。

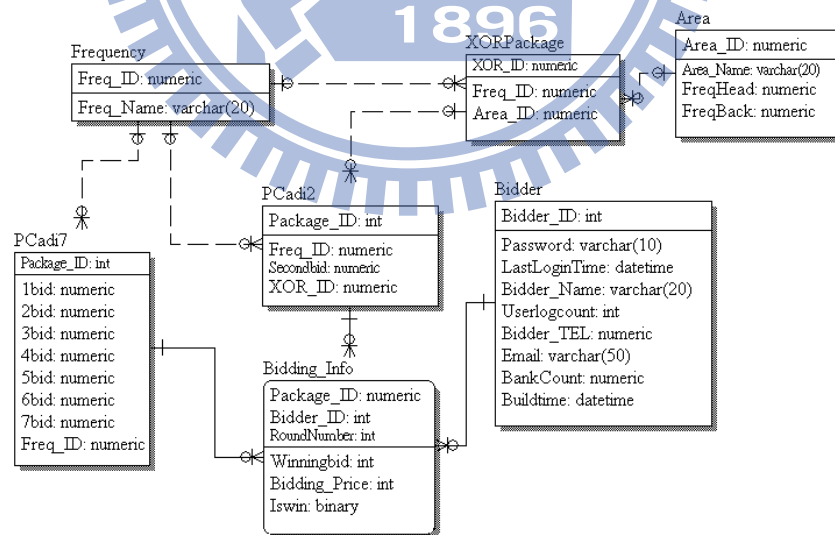


圖 4.7 數量結構之 IDEF1X

主要儲存競標組合的表有數個，因在數量結構之下可競標組合的長度皆不同，因此每個不同的競標組合數量則用不同的資料表。在 IDEF1X 中顯示兩種不同的資料表，其一為 PCadi2 儲存競標組合長度為 2 以下的資料，且在競標組合 2 以下時頻率的選擇可以有 XOR

的關係，而此 XOR 的資料則由 XORPackage 資料表儲存。另一種則為競標物大於 $18/k$ 的資料表，其中若 k 為 3 時，則 $|C| > 6.6$ ，由 PCadi7 儲存資料，則此類型資料表總共應有 14 個。若 k 為 2 時，則 $|C| > 10$ 此類型的資料表共有 10 個。

在數量結構裡，適當的選擇 k 值為重要的考量，因此本節實作時選擇 k 為 2 跟 3，兩種不同的限制，且評估其實用性與計算速度。



4.2 得標者與得標金額的計算

計算最佳得表者涉及到拍賣的機制，不同的拍賣機制會指競標者有不同的競標策略，因此在本節將會實作兩種不同的拍賣機制，第一種為首價拍賣程式設計，在第 4.2.1 節說明。第二種為 VCG 拍賣程式設計，在第 4.2.2 節中說明。兩者皆用 UML 類別圖[22]來表達。

得標者的計算會用爪哇撰碼出與使用整數規畫套件，計算結果可以得到最佳得標者與其得標價格。使用爪哇開發的 JDBC 驅動程式，與資料庫直接聯繫，得到資料庫中的競標資料後，經過計算再將競標結果回傳入資料庫儲存，同時在拍賣頁面上可以得到競標結果。

4.2.1 首價拍賣程式設計

在單一回合首價拍賣裡，即為得標者須付其競標價為得標金額。在計算得標者與得標金額，需要從資料庫裡分別得到每一個競標者的競標資料與所競標的組合，且在本章中拍賣模式分為兩大類分別有兩種可競標組合的模式，因此在首價拍賣程式裡主要分為三部分，為競標者資料程式、競標組合程式與計算得表者程式，由圖 4.8 所示，



圖 4.8 首價拍賣程式設計圖

首價拍賣的流程為抓出競標者資料與競標組合程式，塞選出競標價高價者，最後決定拍賣結果，其流程圖由圖 4.9 所示。



圖 4.9 首價競標程式設計流程圖

在拍賣者資料程式共有兩個類別分別為 CatchBiddingValue 類別與 FirstSelection 類別，

分別為抓出競標資料與第一階段塞選出價。在 CatchBiddingValue 類別主要為從資料庫中抓出標單，有競標者、競標價與競標組合。在 FirstSelection 類別為塞選出價，將對相同競標組合出價的標單塞選出最高出價者或是往下塞選出第 n 高的出價，其 n 為可競標組合的數量，將塞選後結果存入資料庫 Result 資料表，其拍賣者資料程式 UML 類別圖由圖 4.10 所示。

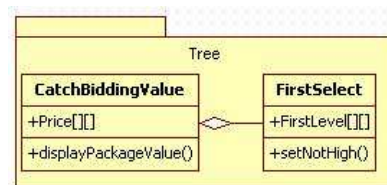


圖 4.10 拍賣者資料程式 UML 類別圖

在競標組合程式有兩個類別為 CatchPackageValu 類別與 CatechAssert 類別，其 CatchPackageValue 類別為從資料庫中抓出可競標組合的資料，其中有兩個方法一個為抓出可競標組合的範圍，例如在樹狀結構拍賣模式中，給定競標組合的方法為抓出其左右值；而另一個為抓其競標組合的名稱。在 CatchAssert 類別中，即從 Assert 資料表中抓出各競標物的數量。其競標組合程式之 UML 類別圖由圖 4.11 所示。

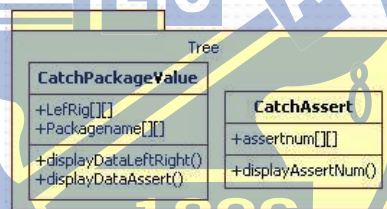


圖 4.11 競標組合程式 UML 類別圖

計算得標者程式共有三個類別，分別為 Winner 類別、Simplextest 類別與 SetWinner 類別，其中 Winner 類別為收集所有拍賣資料與拍賣結果之程式，在此程式可以呼叫 Simplex 類別與 SetWinner 類別。而在 Simplextest 程式為整數規畫計算程式，其為第 2.4 節所提到的整數規劃軟體。在 SetWinner 類別為將拍賣結果儲存進資料庫 Result 資料表，其 UML 類別圖由 4.12 所示。

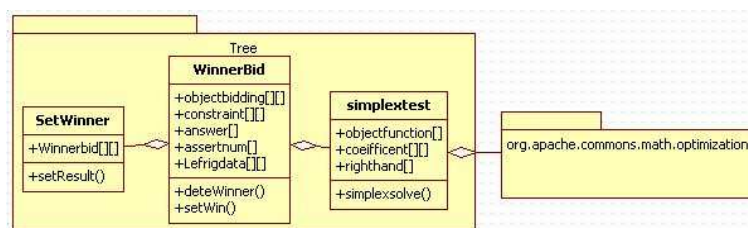


圖 4.12 計算得標者程式 UML 類別圖

4.2.2 VCG 拍賣程式設計

在 VCG 拍賣程式設計裡，其主要流程的前半段與首價拍賣相同，因 VCG 拍賣一開始須知道得標者，而得標金額則需要再經過計算，分別將得標者剔除拍賣後或是將競標金額改為零，再經過一次整數規劃程式的計算得到新的競標總額，將就競標總額減去新的競標總額即為被剔除得標者的得標金額。因此在 VCG 拍賣的精神為，須付出因為競標者的參拍賣總額的增額。其 VCG 拍賣程式設計之流程圖，由圖 4.13 所示。



圖 4.13 VCG 拍賣程式設計流程圖

在流程圖裡分為上半部與下半部，在上半段因與首價拍賣流程相同，因此程式設計的地方也是相同的。下半段為第五階段開始計算得標至儲存拍賣結果至資料庫，為主要的 VCG 拍賣程式設計部分，在此程式設計階段，共分為三個類別分別為 Winner 類別、WinnerPrice 類別與 SetWinner 類別，其中在 Winner 類別與首價拍賣計算得標者程式相同，但在 VCG 拍賣裡只需要回傳得標者與得標總額。而在 WinnerPrice 類別為分別剔除得標者後計算新得標總額，在此程式同樣呼叫 Simplex 與 SetWinner 類別。在 SetWinner 類別為連接資料庫儲存拍賣結果。其 UML 類別圖由圖 4.14 所示。

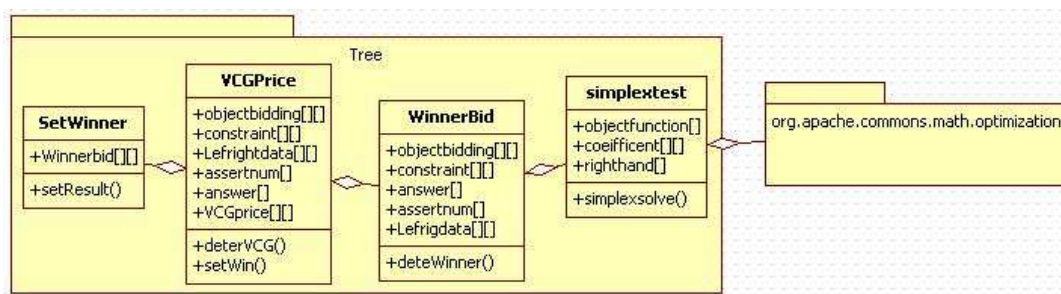


圖 4.14 VCG 拍賣程式 UML 類別圖

4.3 使用者介面的設計

在拍賣系統實作時，希望參與競標的競標者可以從網際網路上直接觀看與參與拍賣，因此拍賣系統以網頁的方式呈現，賣方與所有買方都在此頁面上互動。競標者可以在拍賣系統上註冊登入、競標和得知拍賣結果，而因本系統為雙方面都可以利用之系統，因此賣方也可以在此系統上選擇直接得知拍賣結果與公佈結果。但本系統主要為研究何種拍賣模式在調頻廣播電台執照拍賣較為適用所設計，因此主要的功能為考量拍賣情況、計算效率與價格驗證，所以在使用者介面上僅提供有限的服務。

網頁的設計利用 JSP 伺服器技術以動態網頁的方式呈現，並使用 Tomcat 伺服器所提供之虛擬目錄來進行測試與使用。在網頁的應用中有使用 JDBC-OBDC 建立資料來源的方式連接資料庫，使用者可以在網頁中查詢資料庫的資料；爪哇應用程式，使用者可依選擇得到拍賣結果，其網頁中的爪哇應用程式為 4.2 節所示之內容。因此在本節內容分為兩部分，第一部分為拍賣系統架構與規範測試，在 4.3.1 節說明。第二部分為標單設計，在 4.3.2 節說明。

4.3.1 拍賣系統架構與規範測試

將資料庫與爪哇應用程經過初始化的設定後，即可應用拍賣系統上進行拍賣流程與結果的測試。在拍賣網頁裡共分為三個區域，在網頁最上方為帳戶區，讓使用者可以登入帳戶與查詢帳戶的使用情況，在網頁左方為功能區，競標者可以選擇所不同的競標模式，而賣家可以選擇觀看不同機制拍賣下的拍賣結果，在網頁右方為操作區，用以顯示功能區或帳戶區的資料，其拍賣網頁之首頁由圖 4.15 所示。

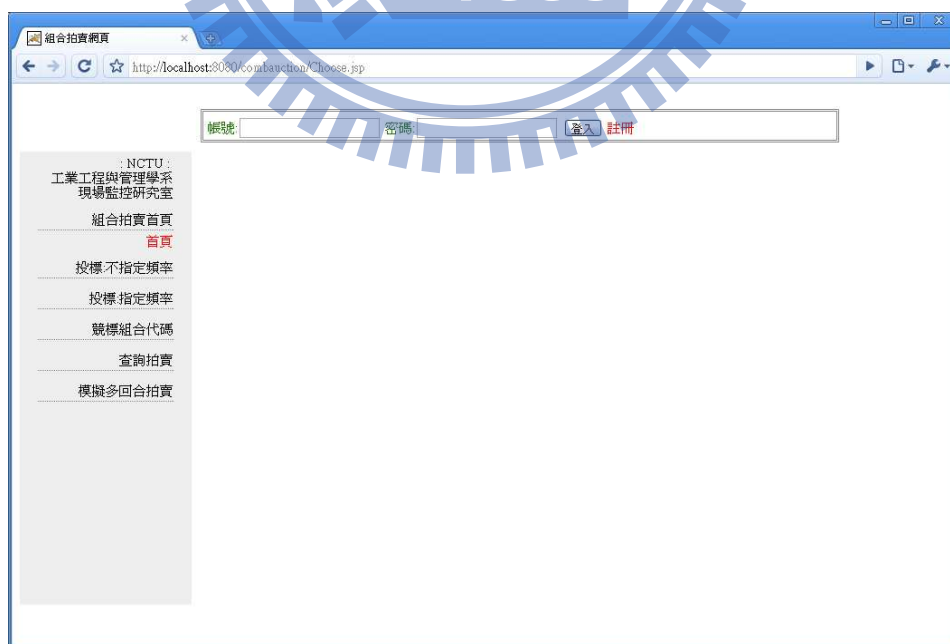


圖 4.15 拍賣網頁主頁

在拍賣網頁的首頁共有三個頁面，分別為 top、main 與 menu，因此由首頁可以任意進入三個頁面，而在每個分頁中可有其功能。接下來將測試拍賣網頁，可以經由中國郵差定理的方式測試此拍賣網頁，若由首頁開始無須加上任何路徑及可以以一筆畫的方式經過所有頁面，由圖 4.16 所示。

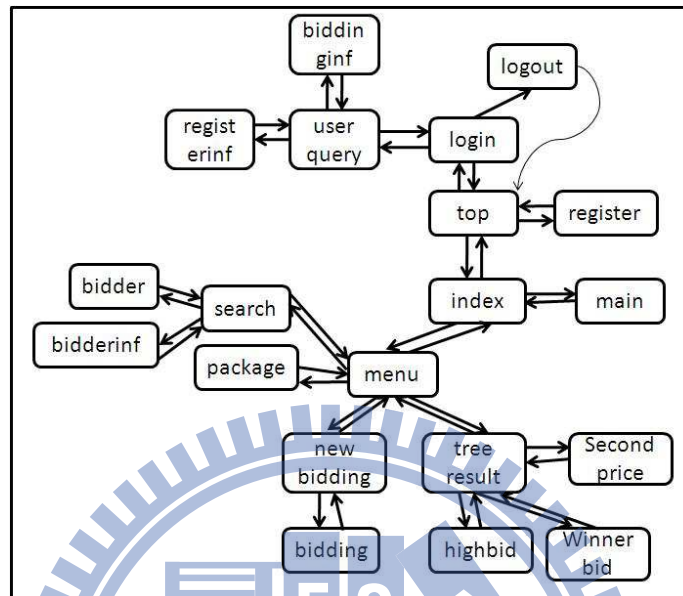


圖 4.16 拍賣網頁之連接關係

4.3.2 拍賣標單設計

使用者可以由首頁進入拍賣系統，登入拍賣系統後依照權限進行競標或是觀看結果。由功能區裡的競標組合代碼選單下可以進入不指定頻率與指定頻率的拍賣模式；進入其一中可以查詢到此次拍賣中的可競標組與其代碼，由圖 4.17 所示。在圖 4.17 裡總共有三階層而其中每節點的競標組合即包含下一階層的競標物，例如北區即為基隆、台北、桃園和新竹四個地區。了解各拍賣細節後，可進功能區投標選單下選擇進入投標，進入頭面頁面後，標單上有回合數、競標者 ID、競標組合 ID、出價、出價時間欄位，其中競標組合欄位須要以下面樹狀結構的選單點選輸入，而帳號、回合、時間欄位為隱藏狀態不允許修改。投標後會進入確認投標頁面，則在此頁面可以看到使用者的回合數、帳號、時間資料，確認後即完成投標。在確認投標後因與資料庫連結，若競標組合 ID 不符先前已建競標組合資料表時則為投標失敗，此為資料庫中邏輯上的錯誤，則會顯示投標失敗及原因。投標頁面由圖 4.18 所示。

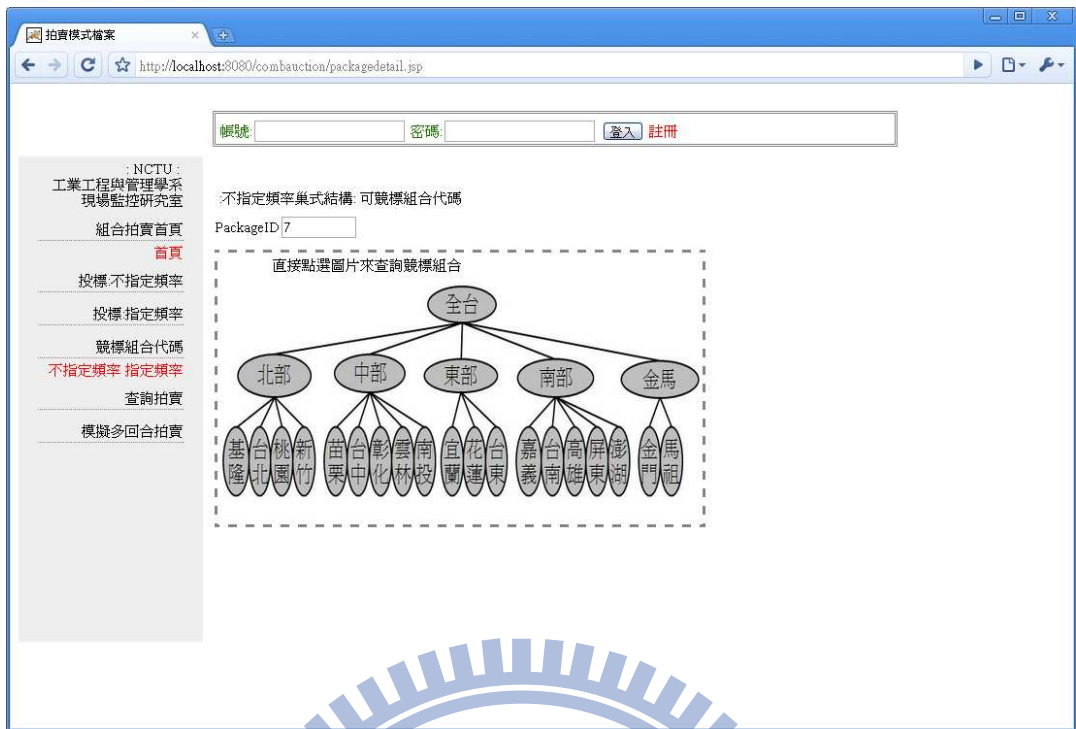


圖 4.17 競標組和代碼頁面

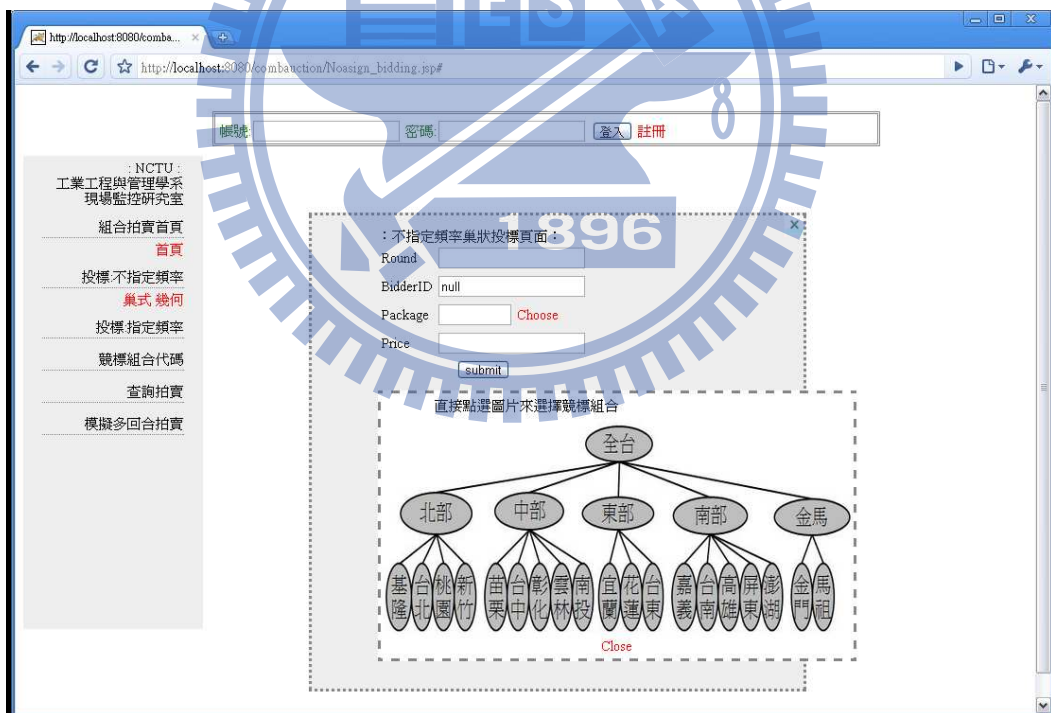


圖 4.18 投標頁面

在競標者權限上，同一個競標者只能對一樣競標組合投標，因此在競標頁面中也加入了競標者的限制，若競標者已對此種模式下的拍賣進行競標，經連結資料庫比對競標人 ID 後，即可確認競標者已參與競標則無法再對此拍賣進行投標，無法投標頁面由圖 4.19 所示。

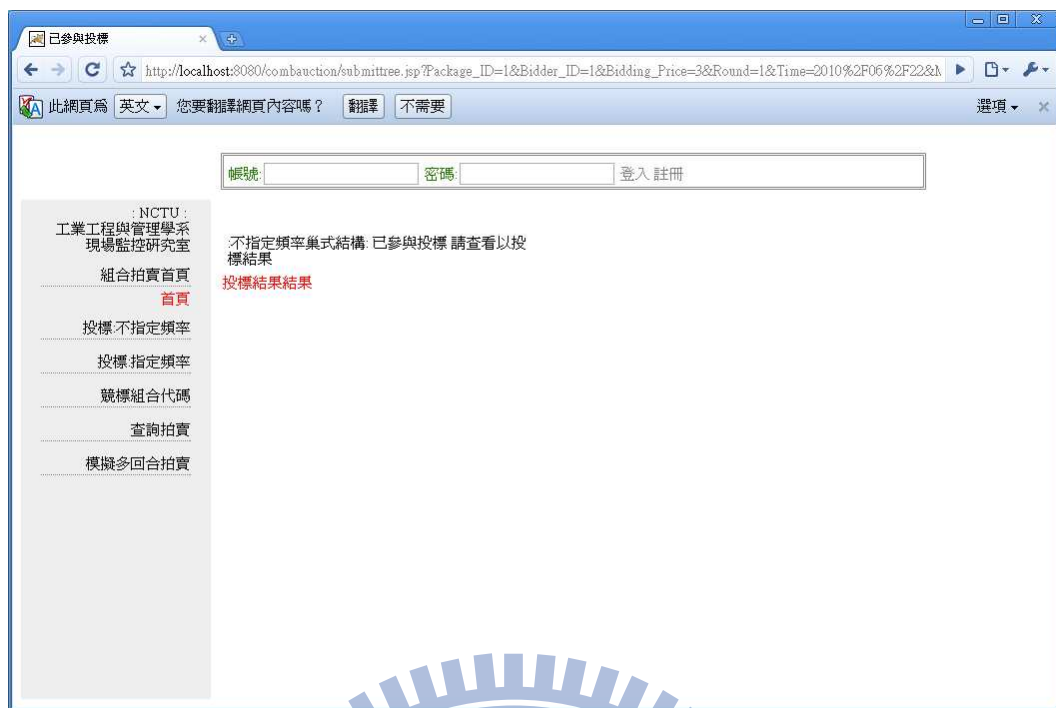


圖 4.19 競標者已投標頁面



第五章 案例分析與拍賣結果驗證

在第四章裡已說明如何使用資料庫、設計拍賣程式和製作網頁來完成一回合的組合拍賣。因此本章將以一個虛構案例，說明一個多回合的組合拍賣進行方式與分析其拍賣結果，其中多回合即為將一回合拍賣重複進行至總價收斂為止，以及在最後加上驗證拍賣結果，完成整個拍賣活動。因此在本章分為兩節，第 5.1 節為「案例分析建立」，說明需構案例中的資料產生、拍賣機制設計以及拍賣結果的產生。第 5.2 節為「四種拍賣模式分析比較」，說明在不同拍賣模式之下各拍賣結果與計算速度。

5.1 案例分析建立

因為在本研究之下無實際拍賣資料可以來做分析，因此以隨機的方式產生拍賣資料，因此無論何種拍賣模式之下，都會有可競標組合的限制。因此針對可競標組合的選擇使用隨機變數的方式產生，例如在以樹狀結構模式競標，因在樹狀結構之下會有特定的可競標組合集合，即可以得到可競標組合的總數來隨機產生投標的競標組合且對應產生競價，其產生方式在第 5.1.1 節中說明。在多回合拍賣中拍賣機制會影到每一回合的標單，因此在本案例中的拍賣機制設計在第 5.1.2 節中說明。最後拍賣結果的顯示每一次皆不相同，因此在第 5.1.3 節中顯示一次完整拍賣結果。

5.1.1 拍賣資料產生

拍賣資料的產生主要為標單產生，標單分為兩個部分分別為競標組合的選擇以及投標價格，同一份標單中只能有一組競標組合與價格。在不同的拍賣模式之下，有不同的競標組合限制，因此在開始產生標單時，仍然需選擇一種競標物結構。建立競標物結構後以隨機的方式產生被投標的競標組合。而所對應的競價也同樣以隨機變數的方式產生，但因為讓價格彈性更大以及收斂情形更好，將價格取對數函數。因此其競標組合與競價函數由圖 5.1 所示。

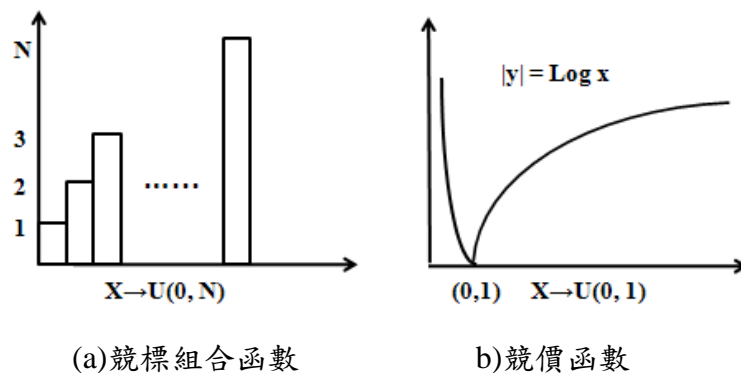


圖 5.1 競標組合與競價函數

在圖 5.1(a)所示為競價組合函數，其中 N 為競標組合的 ID，由爪哇內建支 Math.Random 方法產生隨機變數 X 介於[0N]之間，若 X 介於[0, 1)之間代表競標組合為 1，若介於[1, 2)之間代表競標組合為 2 以此類推。在圖 5.2(b)所示為競價函數，其中變數 X 為使用爪哇 Math.Random 產生，為介於[0, 1]之間的隨機變數，經過取對數以及絕對值後為競價初值。可將競價初值乘上一定倍率 P 後為競價，因在對數函數中 0 與 1 之間其對數函數的值域範圍大且上升快速，若隨著多回合的拍賣價格愈喊越高時，隨機產生高競價的機率也會越來越低，拍賣同時可收斂快速，因此採用此種函數隨機產生競標價格。

拍賣隨機標單由圖 5.2 所示，在(a)與(b)中相同的為競標組合 N = 5 和投標人數為 10，不同的為競價倍率 P = 10 與 P = 100，由此資料中可以發現若競價倍率較大其價格較為離散，若但因為等比例的增加因此競價倍率的選擇並不會影響拍賣回合。若要符合真實的拍賣，金額較大的拍賣會進行較多回合，則須相對改變對數函數真數比例 $\text{Log}(1/2X)$ 。

Number of Bidding: 10	Number of Bidding: 10
Number of Package: 5	Number of Package: 5
Multiplying rate of Price: 10	Multiplying rate of Price: 100
5 2.0	3 173.0
3 13.0	2 53.0
4 9.0	5 0.0
1 22.0	3 20.0
2 1.0	3 85.0
3 18.0	4 4.0
3 21.0	2 58.0
1 0.0	3 40.0
5 7.0	4 58.0
4 41.0	3 54.0

(a)競價倍率 P = 10 之隨機標單 (b)競價倍率 P = 100 之隨機標單

圖 5.2 隨機標單資料

5.1.2 拍賣機制設計

在多回合組合拍賣中，拍賣的總價格隨著每一回合而增加，直到總價不在增加後結束拍賣。在一個回合的拍賣結束後會告知競標者拍賣結果，若當回合得標者須在對相同的競標組合出高於此回合的得標金額，若對不再繼續競標得標的競標組合，則表示放棄此得標組合。因在多回合拍賣中，拍賣只要在總價不變時結束，因此若放棄繼續投標上一回合已得標的競標組合時很有可能在下一回合輸掉拍賣。

而在每一回合的標單都由第 5.1.1 節所提出的隨機變數產生，但並不是每一回合的隨機變數都可以不斷的使總金額上升，且考量到上回合的得標者下回合會繼續投標。因此在每一回合結束後會計算得標組合與得標金額，再產生下一回合的資料。產生下一回合的標單後，比較上一回合的得標組合其得標金額與此回合的競價，若競價低於得標金額則將得標價覆蓋競價，若高則否。計算拍賣結果，將覆寫過標單計算拍賣結果，若高於上回合拍賣總價時，則為此回合的拍賣結果，若的於上回合的拍賣總價時，重新產生標單。重新產生標單設定次數為五次，若五次產生後都無法高於上一回合拍賣時，結束拍賣。其多回合

拍賣流程圖由圖 5.3 所示。拍賣程式之 UML 類別圖由圖 5.4 所示，其中共有 2 個套件與 5 個類別。

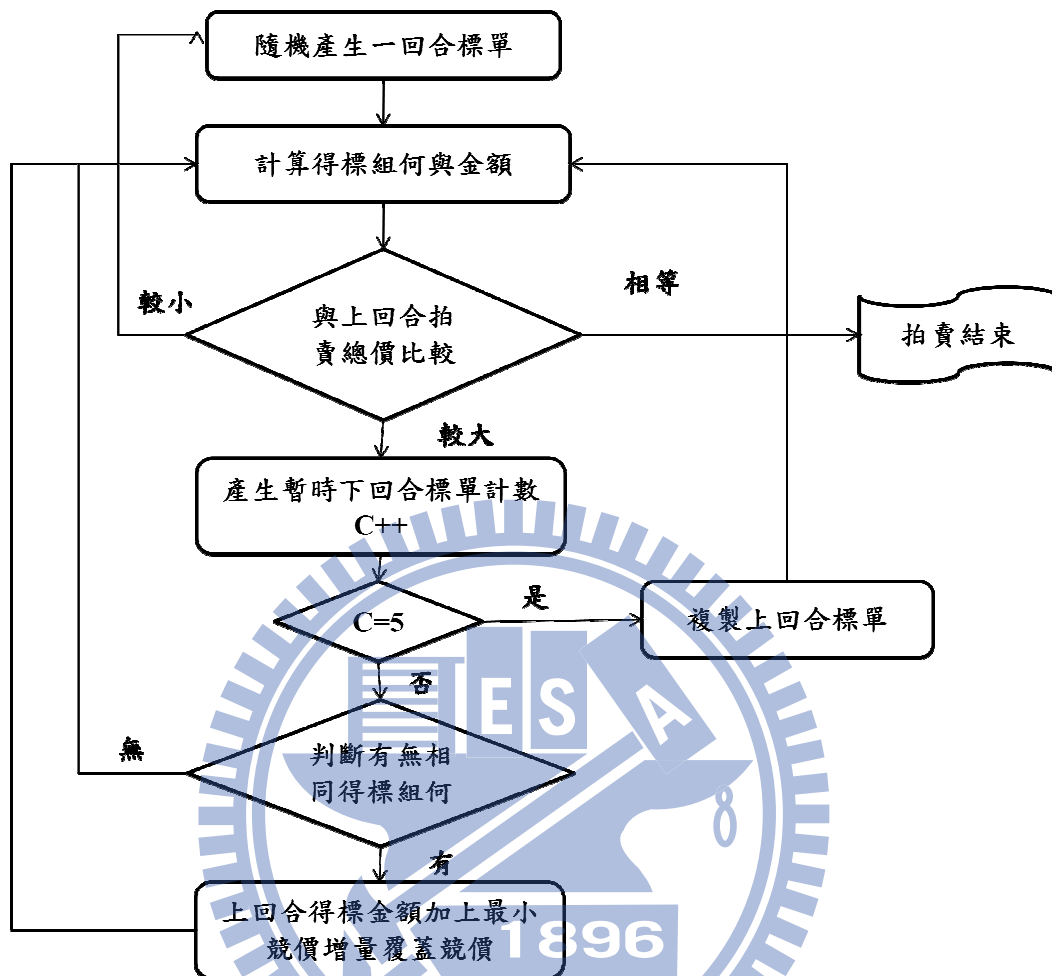


圖 5.3 多回合拍賣標單產生流程圖

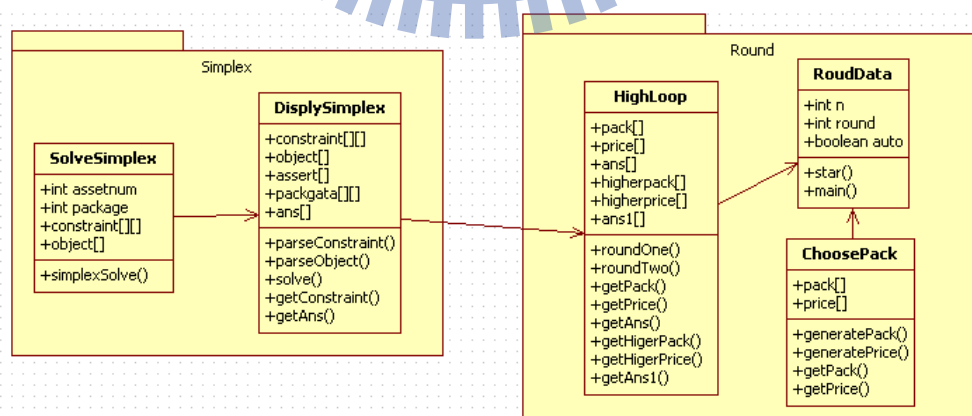


圖 5.4 拍賣程式 UML 類別圖

其中用得標金額覆蓋競價找出下一回合的標單由圖 5.5 所示，若在第一回合中得標組合為 2 和金得標額為 21，在決定下一回合的標單前，先去比對是否有相同的競標組合與其

競價與上回合的得標金，若得標金額較大則覆蓋上去，因此將競價 5 與 11 皆以 21 覆蓋。覆蓋後計算其總金額，若大於上回合的總得標金額即確定為下回合的標單，因此 $46 > 21$ 大於上一回合的總金額確定為下回合隨機標單。

Round1				Round2			
21				46			
5	5.0	0		4	4.0	0	
1	17.0	0		3	13.0	1	
2	21.0	1		2	5.0	0	
2	0.0	0		5	26.0	1	
2	7.0	0		4	7.0	1	
4	5.0	0		2	11.0	0	

圖 5.5 覆蓋標單說明

5.1.3 拍賣結果產生

在多回合拍賣中，每一次拍賣情形皆不相同，因所有的拍賣標單皆以隨機的方式產生，但設定只要連續兩回合總金額不在增加時結束拍賣，所以每一次拍賣回合皆不相同，但平均後無差異。在不同競標倍率之下執行十次拍賣其回合數由表 5.1 所示。

表 5.1 不同競標倍率之拍賣回合數

ratio	P=10	P=100	P=500	P=1000
Rounds	3	6	6	6
	3	6	4	4
	2	4	5	2
	4	4	5	2
	3	5	3	6
	6	5	3	8
	2	4	4	6
	2	4	5	3
	2	6	6	2
	4	4	4	6
Average	3.1	4.8	4.5	4.5

而一個多回合拍賣的過程的由圖 5.6 及 5.7 所示。競標物共有 3 個分別為 1, 2, 3，競標物結構為樹狀結構競標，可競標組合為(1, 2, 3), (1, 2), (1), (2), (3)，可選擇參與競標的人數與競標回合，因此可競標標組合為 5 且競價倍率為 10， $N=5$, $P=10$ 。

Round 1

total is 44

Bidding	Package	Price	Result
1	2	8.0	0
2	2	40.0	1
3	5	3.0	0
4	3	4.0	1
5	5	8.0	0
6	1	3.0	0

Round 2

total is 52

Bidding	Package	Price	Result
1	4	0.0	0
2	1	1.0	0
3	4	26.0	1
4	4	17.0	0
5	3	26.0	1
6	3	10.0	0

圖 5.6 第一和第二回合

在第一回合中拍賣結果為競標組合 2 與 3 得標金額分別為 40 與 4。到第二回合後因競標者不在競標組合 2 因此並沒有覆蓋得標金額，而有繼續競標組合 3，且競標較高的出價 26，因此在第二回合拍賣總價提高且拍賣結果改變。而在進行第三回合，投標競標組合 4 的競價者繼續投標，投標組合 3 的價格提高 27 和新的標單競標組合 5 金額為 9，讓總拍賣金額提高為 62。

Round 3

total is 62

Bidding	Package	Price	Result
1	2	0.0	0
2	4	26.0	1
3	2	5.0	0
4	5	9.0	1
5	3	27.0	1
6	1	24.0	0

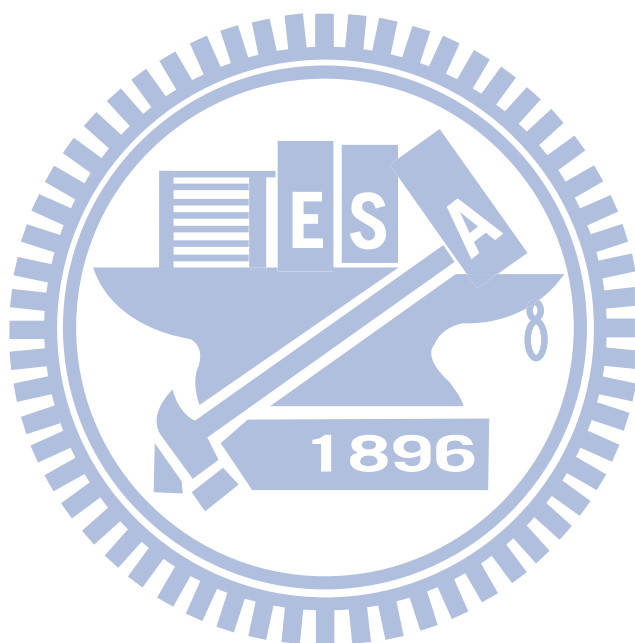
Round 4

total is 62

Bidding	Package	Price	Result
1	2	0.0	0
2	4	26.0	1
3	2	5.0	0
4	5	9.0	1
5	3	27.0	1
6	1	24.0	0

圖 5.7 第三和第四回合

在第三回合與第四回合中，因產生下回合標單其計數器達到 5 次，但無法產生總金額大於第三回的 62 的金額，因此第四回合的標單與第三回合相同，因此拍賣總金額不再增加拍賣結束。



5.2 四種拍賣模式分析比較

本節將分析由第三章中所提出的四種拍賣模式，因要比較四種拍賣模式，首先須假設特定可以拍賣的頻譜，在本節假設為六個地區與四種頻段，由圖 5.8 所示。在此頻譜上經由第 5.1 節中的方式建立各拍賣模式。且假設所有的競價倍率皆為 $P = 100$ 與參與競標人數相同。

	地區1	地區2	地區3	地區4	地區5	地區6
FM99						
FM101						
FM103						
FM105						

圖 5.8 案例分析:可拍賣頻譜

首先為甲案拍賣模式為不指定頻率樹狀結構拍賣，在樹狀結構中須先建立可競標組合。在本案例中建立為圖 5.9 所示。共有九個可競標組合其可競標組合分別包含{1, 2, 3, 4, 5, 6}、{1, 2, 3}、{4, 5, 6}、{1}、{2}、{3}、{4}、{5}和{6}。在參與人數為 10 人時，其平均拍賣總價為 3176、回合數為 4 和 CPU 時間為 1125 毫秒。

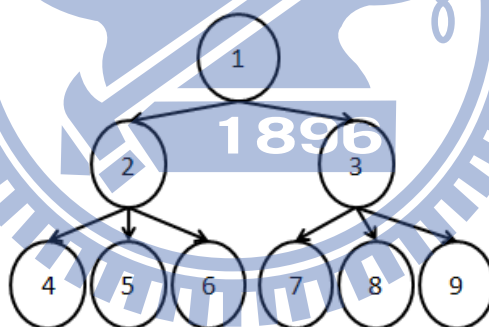


圖 5.9 案例分析:甲案拍賣模式可競標組合

在乙案拍賣模式為不指定頻率幾何結構拍賣，須先將地區 1 至地區 6 建立圓圈，在本案例中建立的圓圈遊圖 5.10 所示。競標者可在圓圈上隨意競標區間，例如[1, 2]、[4, 2]或[3, 6]。在參與人數為 10 時，在參與人數為 10 人時，其平均拍賣總價為 1876、回合數為 4 和 CPU 時間為 1063 毫秒。

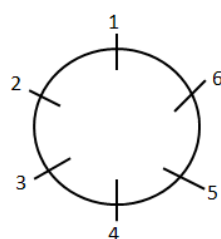


圖 5.10 案例分析:乙案拍賣模式可競標組合

在丁案拍賣模式為指定頻率樹狀結構拍賣，因為樹狀結構須先建立其可競標組合。其可競標組合與頻率無顯著樹狀結構相同。而在頻率顯著中因競標者可選擇其頻率，因此個競標者可以選擇一種地區競標組合與頻段，加上其 XOR 的選擇。在本案例中其競標組合的選擇由圖 5.11 所示。在參與人數為 10 人時，其平均拍賣總價為 1161、回合數為 3 和 CPU 時間為 1140 毫秒。

	地區1	地區2	地區3	地區4	地區5	地區6
FM99					XOR	
FM101	可競標組合2, FM101					
FM103				可競標組合3, FM103		
FM105	XOR					

圖 5.11 案例分析:丁案拍賣模式可競標組合

在己案拍賣模式為指定頻率數量結構競標，須先決定競標組合的大小。在本案例中，可競標組合集合為 $P=\{C: |C|\leq 2, |C|>6/2\}$ ，因此可競標組合的大小可為 1, 2, 4, 5, 6 五種。因為頻率顯著拍賣，在小組合可選擇頻率，大組合則否，由圖 5.12 所示。其中三角形所在的方格為大小為 2 的競標組合和圓圈所在的方格為大小為 4 的競標組合。在參與人數為 10 人時，其平均拍賣總價為 808、回合數為 3 和 CPU 時間為 1438 毫秒。

	地區1	地區2	地區3	地區4	地區5	地區6
FM99	▲		1896			
FM101			▲			
FM103						
FM105			●	●	●	●

圖 5.12 案例分析:己案拍賣模式可競標組合

在圖 5.13 為參與人數 10 人時，其平均回合數、平均拍賣總價和平均 CPU 時間。因競倍率皆為 100 因此四種拍賣平均回合數相似。而平均拍賣總價以甲案最高而己案最低。從 CPU 時間來看可以分為兩部分，不指定頻率下的甲案與乙案其計算時間較短而指定頻率的丁案與己案較長。圖 5.14 所示，分別為參與人數 20 至 100 人時四拍賣模式比較表。

參與人數為10	平均回合數	平均拍賣總價 倍率 $P=100$	平均CPU時間 毫秒
頻率無顯著 樹狀結構	4	3176	1064
頻率無顯著 幾何結構	4	1876	1063
頻率顯著 樹狀結構	3	1161	1140
頻率顯著 數量結構	3	808	1438

圖 5.13 四種拍賣模式比較(參與人數 10)

參與人數為20	平均回合數	平均拍賣總價 倍率 $P=100$	平均CPU時間 毫秒
頻率無顯著 樹狀結構	6	3898	1203
頻率無顯著 幾何結構	4	903	1063
頻率顯著 樹狀結構	5	2300	1359
頻率顯著 數量結構	4	1738	1809

參與人數為30	平均回合數	平均拍賣總價 倍率 $P=100$	平均CPU時間 毫秒
頻率無顯著 樹狀結構	5	5360	1407
頻率無顯著 幾何結構	7	3205	1516
頻率顯著 樹狀結構	5	3253	1782
頻率顯著 數量結構	4	1857	10500

參與人數為50	平均回合數	平均拍賣總價 倍率 $P=100$	平均CPU時間 毫秒
頻率無顯著 樹狀結構	6	9679	2531
頻率無顯著 幾何結構	7	5839	3000
頻率顯著 樹狀結構	5	5688	3344
頻率顯著 數量結構	3	2122	35109

參與人數為100	平均回合數	平均拍賣總價 倍率 $P=100$	平均CPU時間 毫秒
頻率無顯著 樹狀結構	8	11749	11203
頻率無顯著 幾何結構	7	8939	13984
頻率顯著 樹狀結構	15	10192	34515
頻率顯著 數量結構	2	2492	79594

圖 5.14 四種拍賣模式比較(參與人數 20 至 100)



第六章 結論

本章的主要目的為說明研究結果與未來研究方向。本章共分為兩小節，第 6.1 節為「優缺分析」，說明研究結果。第 6.2 節為「後續研究」，說明未來研究的方向。

6.1 優缺分析

經由案例分析實做四種在相同頻譜的組合拍賣模式，分析三種性質其中有回合數、拍賣總價和計算速度時間以 CPU 時間衡量。但因回合數與競價產生的函數有關與結果顯示差異不大，因此不列入優缺分析中。從計算速度分析由圖 6.1 所示，隨著競標人數越多指定頻率兩種拍賣模式急速增加，反觀不指定頻率的模式平緩增加。因此在計算時間看來不指定頻率的甲案拍賣模式較佳。

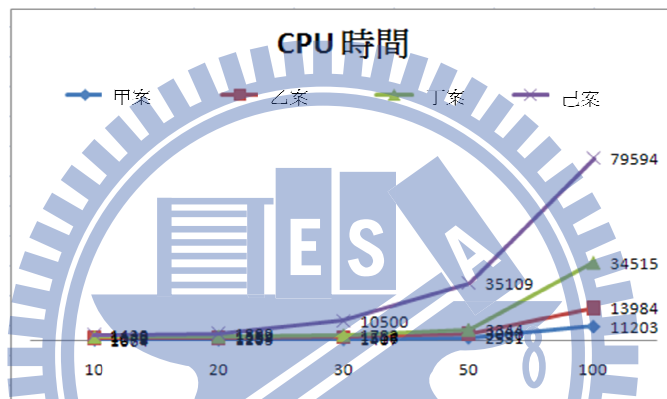


圖 6.1 案例分析:CPU 時間折線圖

從拍賣總價分析由圖 6.2 所示，隨著參與競標人數增加競爭越激烈，不指定頻率的甲案與乙案拍賣模式與指定頻率的丁案拍賣模式拍賣總價都有明顯增加的情形，而反觀己案拍賣模式則並無明顯加。因為模擬出的拍賣金額在每個模式皆用相同分配產生隨機亂數，因此拍賣總價越高的拍賣模式也可以表示其賣出的頻段越多所剩的空頻率越少，拍賣效果較佳。而其中以甲案拍賣模式最佳。

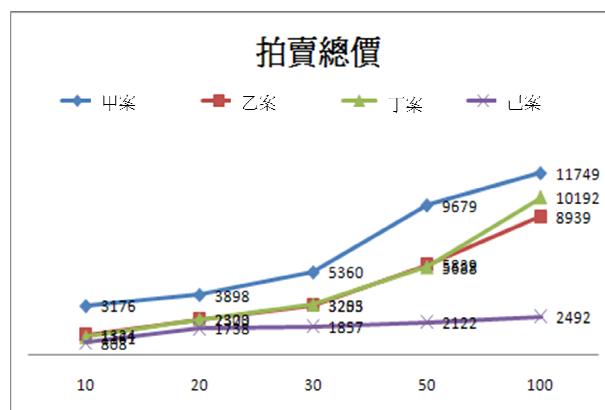


圖 6.2 案例分析:拍賣總價折線圖

經過計算速度與拍賣總價的比較，綜合結果顯示應採用甲案的不指定頻率樹狀結構競標為最佳，其計算時間最快與拍賣總價最高。本研究因無適當的拍賣資料作實際的分析，因假設一個較於簡單化的頻譜案例來分析四種拍賣模式，但實際頻譜拍賣情形遠比此案例複雜許多。在實際頻譜拍賣中許多人為因素不確定因素，並無法以隨機變數模擬，因此本研究僅提供一個非人為因素的參考。



6.2 後續研究

本研究在拍賣系統實作上著重在四個拍賣模式計算時間分析上，並沒有以實際拍賣情形來設計拍賣系統，因此還有些不足之處。如每回合中出價最小增量定訂、標單加密設計、平手時以何種方式評定贏家等。而在案例分析中，使用隨機的變數的方式來模擬拍賣資料，其中以隨機方式模擬每回合的競標組合與競標金額兩個資料，並不貼近真實的拍賣行為。因此可以改用實驗的方式請同學們下標來產生拍賣資料，讓拍賣更真實也更具有說服力。



參考文獻

- [1] 梁高榮, 賽局理論在供應鏈的應用, 機械工業雜誌, 90 年 4 月.
- [2] 梁高榮, 作業研究技術幫國庫進帳 488.99 億元台幣, 工業工程雜誌, Vol. 2, No. 1, pp. 31-40, 2002.
- [3] 顧佳樺, 梁高榮, 調頻廣播執照釋出的組合拍賣分析, 機械工業雜誌, 99 年 6 月.
- [4] Brunner, C., Jacob, K. G., Charles, A. H., and John, O. L., "An Experimental Test of Flexible Combinatorial Spectrum Auction Formats," Institute for Empirical Research in Economics University of Zurich, Working Paper, No. 431, Oct., 2007.
- [5] Bernheim, B., and Whinston, M., "Menu Auctions, Resource Allocation, and Economic Influence," The Quarterly Journal of Economics, Vol. 101, No. 1, pp. 1-32, 1986.
- [6] Bykowsky, M. M., Cull, R. J., and Ledyard, J. O., "Mutually Destructive Bidding: The FCC Auction Design Problem," Journal of Regulatory Economics, Vol. 17, No. 3, 205-228, 2000.
- [7] Charles River Associates, "Report 1B: Package Bidding for Spectrum Licenses," Oct., 1997.
- [8] Day, R., and Raghavan, S., "Fair Payments for Efficient Allocations in Public Sector Combinatorial Auctions," Management Science Vol. 53, No. 9, pp.1389-1406, 2007.
- [9] Gibbons, R., Game Theory for Applied Economists, Princeton University Press, 1992.
- [10] <http://combin.fcc.gov/papers.html>, Levin, D., "A Simple Approach to Easing Threshold Problem in Simultaneous Auctions with Combined Value Bidding: Contingent Bids," 2000.
- [11] <http://www.apache.org/>, The Apache Software Foundation, 2010/2/1.
- [12] <http://commons.apache.org/math/api-2.0/index.html>, Commons Math 2.0 API, 2010/2/1.
- [13] <http://dotnetslackers.com/articles/net/IntroductionTo3TierArchitecture.aspx>, Introduction to 3-Tier Architecture, 2010/1/22.
- [14] <http://info.gio.gov.tw/fp.asp?xItem=18649&ctNode=3893&mp=1>, 公布九十三年中國廣播股份有限公司廣播執照換發審議結果, 2010/2/1.
- [15] <http://info.gio.gov.tw/mp.asp?mp=5>, 中華民國行政院新聞局, 2010/3/15.
- [16] <http://dev.mysql.com/tech-resources/articles/hierarchical-data.html>, Managing Hierarchical Date in MySQL, 2010/1/21
- [17] http://en.wikipedia.org/wiki/Microsoft_SQL_Server, Micosoft SQL Server-wikipedia, 2010/1/21
- [18] http://en.wikipedia.org/wiki/JavaServer_Pages, Java Server Pages-wikipedia, 2010/1/21
- [19] http://en.wikipedia.org/wiki/Adjacency_list, Adjacency List, 2010/1/22.
- [20] http://en.wikipedia.org/wiki/Nested_set_model, Nested Set Model, 2010/1/24.
- [21] [http://en.wikipedia.org/wiki/Java_\(programming_language\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Java_(programming_language)), Java(Programming Language), 2010/2/1
- [22] http://en.wikipedia.org/wiki/Unified_Modeling_Language, Unified Modeling Language, 2010/2/1.

- [23] <http://www.fcc.gov/>, FCC(Federal Communications Commission), 2010/6/29
- [24] <http://www.ncc.gov.tw/chinese/index.aspx>, NCC 國家通訊傳播委員會, 2009/10/26
- [25] <http://zh.wikipedia.org/wiki/臺灣廣播電台列表>, 臺灣廣播電台列表, 2010/2/1
- [26] Jacob, K. G. and Charles, A. H., “Hierarchical Package Bidding: A Paper & Pencil Combinatorial Auction,” Institute for Empirical Research in Economics University of Zurich, Working Paper, NO. 436, Sept., 2007.
- [27] Krishna, V., Auction Theory, 2nd Ed., Academic Press, 2009.
- [28] Kellerer, H., Pferschy, U., and Pisinger, D., Knapsack Problems, Springer Verlag Berlin, 2004.
- [29] Levin, D., “A Simple Approach to Easing Threshold Problem in Simultaneous Auctions with Combined Value Bidding: Contingent Bids,” Report No. AUC-00-31-G, Dept. of Economics, Ohio State University, 2000.
- [30] Milgrom, P., Putting Auction Theory to Work, Cambridge University Press, 2004.
- [31] Rothkopf, M., and Pekeč, A., “Computationally Manageable Combinatorial Auction,” Management Science, Vol. 44, No. 8, 1998.
- [32] Richard H., and Thaler, R., H., “Anomalies: The Winner's Curse,” The Journal of Economic Perspectives, Vol. 2, No. 1, pp. 191-202, 1988.
- [33] Rothkopf, M., and Pekeč, A., “Combinatorial Auction Design,” Management Science, Vol. 49, No. 11, pp. 1485-1503, 2003.
- [34] Sakurai, Y., Yokoo, M., and Kamei, K., “An Efficient Approximate Algorithm for Winner Determination in Combinatorial Auctions,” Proc. of the 2nd ACM Conf. Electronic Commerce, ACM Press, pp. 30-37, 2000.
- [35] Sanjeev, A., Boaz, B., Computational Complexity: A Modern Approach, Cambridge University Press, 2009

附表 A.1

行政院新聞局廣播頻率核配統計一覽表[15]

開放梯次	公告開放時間	審議公告日期	頻率類別	申請件	公告核配頻率數	實際核配頻率數	備註
第一梯次	82. 2. 1	82. 12. 11	調頻中功率	62	28	13	1. 第一梯次調頻中功率開放案所餘之已併入第二梯次調頻中功率開放案中公告開放。
第二梯次	83. 1. 29	83. 9. 6	調頻中功率	29	29	11	
第三梯次	83. 6. 29	84. 2. 15	調幅	4	6	2	2. 第二梯次調頻中功率開放案所餘之頻率已併入第四梯次調頻中功率開放案中公告開放。
第四梯次	83. 8. 31	83. 12. 24	調頻小功率	174	99	46	
第四梯次	83. 8. 31	84. 8. 17	調頻中功率	45	28	11	3. 第五梯次公告開放申請之頻率含第四梯次未核配出去之小功率調頻率及第三梯次未核配出去之調幅頻率。
第四梯次	83. 8. 31	84. 10. 13	調頻大功率	14	1	1	
第五梯次	84. 2. 15	85. 1. 18	調頻小功率	136	53	21	4. 第九梯次之中、小功率電台含一般性電台及指定性電台，其中指定性電台又分原住民語電台及客語電台。
第六梯次	84. 5. 16	85. 2. 13	調幅	6	4	1	
			金馬調頻	1	10	1	
			調幅	2	1	0	5. 第九梯次開放案所餘花東地區頻率併入第十梯次再公告開放。
第七梯次	84. 11. 22	85. 9. 2	調頻中功率	54	17	10	
第八梯次	85. 1. 15	85. 6. 15	台北地區客語調頻中功率	2		1	6. 第十梯次僅規劃開放指定用途電台，含原住民語及客語電台。
第九梯次	88. 5. 17	90. 3. 26	調頻中功率	399	36	22	
			調頻小功率	96	29	8	
第十梯次	89. 9. 30	90. 6. 20	調頻中功率	6	3	1	
			調頻小功率	3	2	2	
合 計				1033	239	151	

附錄一 拍賣系統操作簡介

在組合拍賣系統使用拍賣系統有權限分級的限制，要查看所有的拍賣資訊需要以系統管理者的角色登入，預設帳號密碼為 1/44。登入系統後可由右邊功能區選擇所需之功能，主要分成三種，第一種為投標功能，可以選擇不指定頻率投標、指定頻率投標，或是競標組合代碼查詢三種不同選擇。第二種為查詢拍賣功能，可以選擇拍賣標單的查詢、拍賣結果查詢、所有競標人查詢。第三種為拍賣模擬功能，輸入拍賣人數後可以模擬四種拍賣模式的拍賣情形。

首先，第一種投標功能，由投標:不指定頻率下選擇拍賣模式，選擇巢式為圖 A.1 所示，選擇幾何為圖 A.2 所示；由投標:指定頻率下選擇拍賣模式，選擇巢式為圖 A.3 所示，選擇數量由圖 A.4 所示。



圖 A.1 不指定頻率巢式投標頁面



圖 A.2 不指定頻率幾何投標頁面

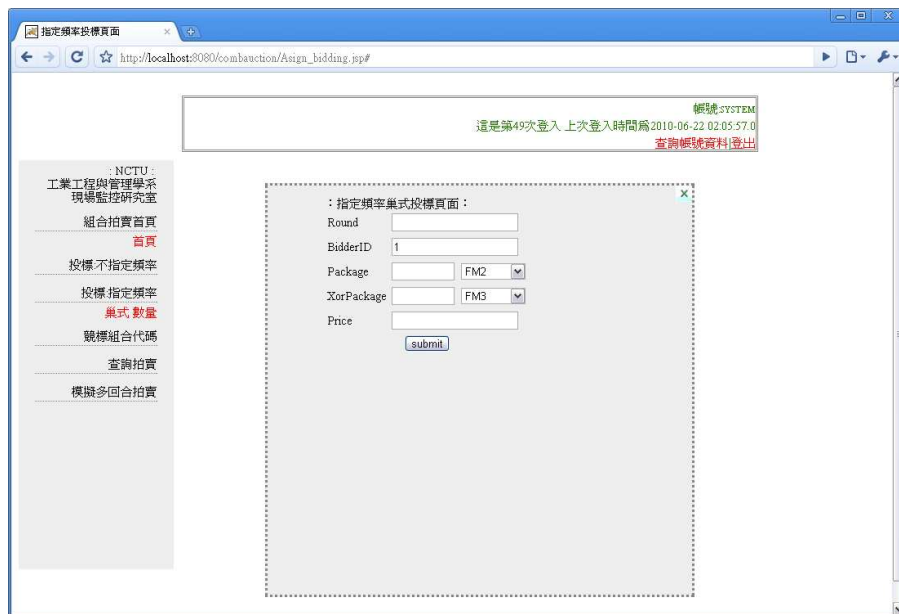


圖 A.3 指定頻率巢式投標頁面

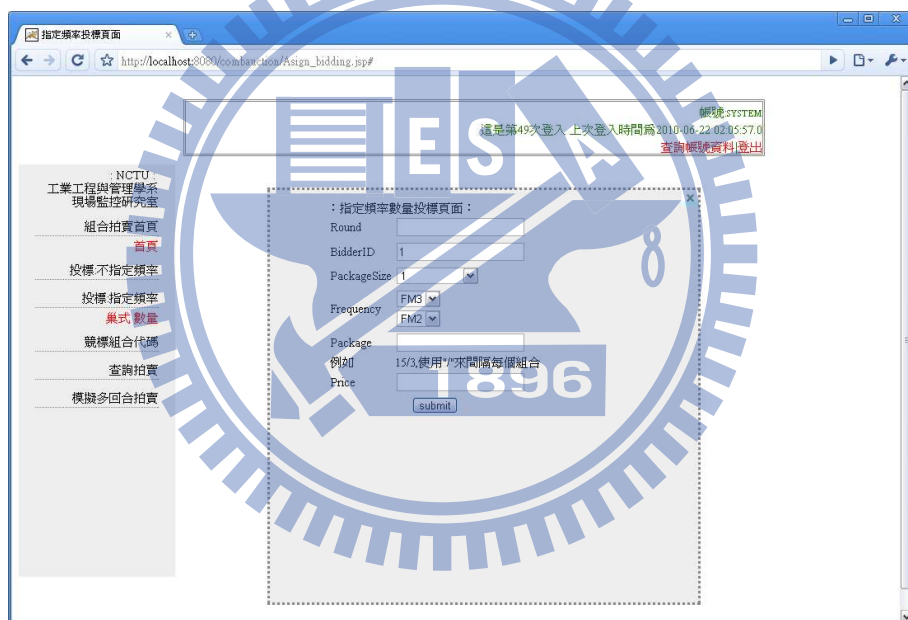


圖 A.4 指定頻率數量投標頁面

第二種為查詢拍賣資料功能，由查詢拍賣下選擇拍賣標單，可以查詢各拍賣模式之下的標單以回合數來分類，由圖 A.5 所示；選擇拍賣結果，可以查詢現階段各回合的拍賣結果，由圖 A.6 所示，其拍賣結果頁面分為最高出價以及首價拍賣結果，選擇首價拍賣選單下的拍賣模式後可以觀看所計算出的得標人與得標金額，由圖 A.7 所示。在圖 A.7 中可以看到每回合下方有判斷本回合是否有多個得標者選項，若有多個得標者可以點選進入，可以看到在本回合中的所有得標者。



圖 A.5 拍賣標準查詢頁面

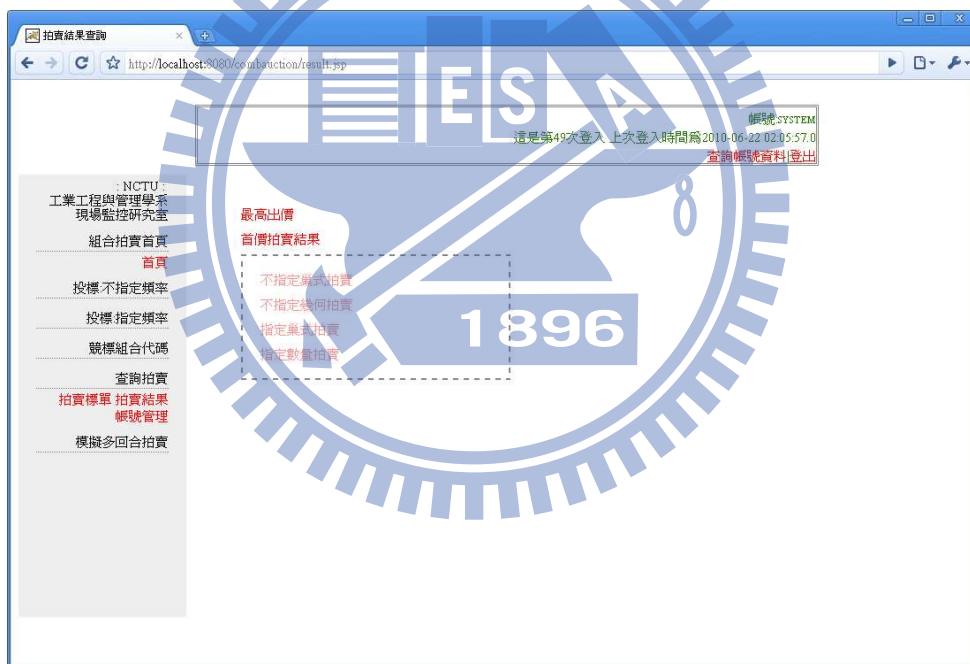


圖 A.6 拍賣結果查詢頁面

圖 A.7 首價拍賣結果頁面

第三種為模擬拍賣功能，由模擬多回合拍賣下選擇不指定或是指定，選擇不指定後在操作區顯示兩個表單為不指定頻率巢式與不指定頻率幾何，可以表單欄位上填入後送出，由圖 A.8 所示。在不指定頻率巢式標單下鍵入 Bidder 為 5 以及選取 Auto 後可隨機模擬出此拍賣模式之下的拍賣資料由圖 A.9 所示，按下重新整理鍵後所顯示的模擬資料皆不相同。

圖 A.8 模擬多回合拍賣選擇頁面

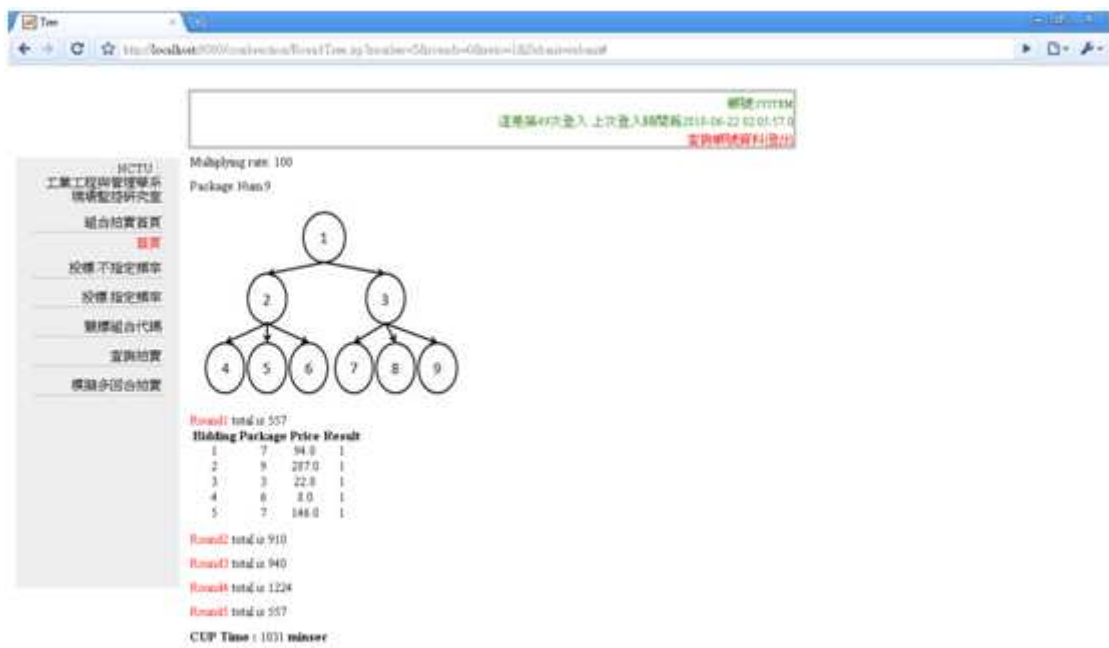


圖 9 模擬拍賣結果資料頁面

