

國立成功大學

電信管理研究所

碩士論文

頻譜拍賣模擬分析

Spectrum Auction simulation analysis



研 究 生：郭勝楠

指導教授：陳文字 博士

中華民國一百一十一年七月

國立成功大學

碩士論文

頻譜拍賣模擬分析

Spectrum Auction simulation analysis

研究生：郭勝楠

本論文業經審查及口試合格特此證明

論文考試委員：

林易泉

林福林

林調元

陳文宇

指導教授：陳文宇

單位主管：郭勝楠

（此處應有指導教授及單位主管簽名，但圖中僅有學生簽名）

中華民國 111 年 7 月 11 日

摘要

5G 架構的推出，使得新型科技的應用場景得以實現，如 AR/VR、智慧工廠…等，創新應用的實現更需要 5G 頻帶加以支援，這也使得稀缺的 5G 頻譜資源更顯彌足珍貴。但 5G 執照的第一波拍賣結果使頻譜價值備受質疑，因此衡量執照的頻譜價值顯得至關重要。

本研究著重於探討大型電信業者對執照使用權的出價動機，藉由模擬拍賣的方式模擬出類真實結果，將先回顧相關文獻，整理頻譜價值的衡量方式，再回顧國際間常用的拍賣形式與拍賣經驗，最後回顧台灣本身的頻譜拍賣經驗，以利於營收與成本模型及模擬拍賣程式的設定。

研究方法將藉由模擬拍賣的方式模擬出類真實結果探討電信業者對執照使用權的出價動機，以結果推論各業者的出價動機以衡量頻譜資源在各業者眼中所隱含的真實價值。政府未來也將開放第二波黃金頻段供各業者進行競標，本研究也將設定新頻段商業應用的營收與成本模型，模擬第二波釋照拍賣，利於後續業者拍賣做為參考。

比對第一波釋照模擬的結果與實際結果後發現，每 MHz 得標金額與實際結果相距不大，表示相關頻譜價值參數具參考價值；但實際得標的頻譜數量相差較大，推論因程式是以花光所有預算為優先，而可能保留預算用於其他資產投資上；而小型業者在未來推估現金流部分為負值，但頻譜執照仍有其資產價值，可能以貸款或籌資的方式爭取拍賣預算。

而在第二波釋照的預測後發現，因未來小型業者將被大型業者併購，因此三家大型業者的拍賣預算相近，導致最後市場規模均分的結果，並且第二波模擬的每 MHz 得標金額小於第一波釋照，符合過往台灣執照的拍賣經驗，模擬結果具正確性。

本研究給予後續相關研究以下建議，本研究採納的成本模型參數中，未考慮到更細節的層面，如相關土地與維護成本皆納入營運成本中，後續研究若能收集到以上資料將使模擬結果更精確；各業者基地台相關的使用廠商與技術也有變更的可能，使基地台相關成本有高估的可能，後續研究若能掌握細節資料也能使模擬結果更精確。

關鍵字：5G 頻譜拍賣、頻譜價值衡量、執照拍賣制度、電信業營收成本模型、拍賣模擬

Extended Abstract

SPECTRUM AUCTION SIMULATION ANALYSIS

Author: Sheng-Nan Gwo

Advisor: Wen-Tzu Chen

Institute of Telecommunications Management, National Cheng Kung University

SUMMARY

The 5G system can realize new technologies. The realization of innovative applications requires the support of 5G frequency bands. For this reason, the 5G spectrum resources are even more precious.

This study will start by reviewing the measurement method of spectrum value. The next step will review the auction forms and auction experiences commonly used on international. Finally, this study will review Taiwan's spectrum auction experiences to facilitate the setting of revenue and cost models. With these models, the simulation can be started. The purpose of simulation is to explore the bidding motivations of telecom operators for license usage rights and use the results to infer the hidden real value of spectrum resources first wave 5G auction in Taiwan. The second wave 5G auction will be launched by government in the future. This study will also set up a revenue and cost model for commercial applications of the new frequency bands and simulate the outcome. The result of simulation can be used by future auctions.

Keywords: 5G Spectrum Auction, Spectrum Value Measurement, License Auction Forms, Telecom-Industry Revenue and Cost Model, Auction Simulation

INTRODUCTION

The 5G system can realize new technologies. The realization of innovative applications requires the support of 5G frequency bands. For this reason, the 5G spectrum resources are even more precious. The 3.5GHz frequency band is the earliest frequency band released by 5G auctions in various countries. Compared with other 5G frequency bands, the business model is more mature and stable at 3.5GHz. The cost of spectrum acquired by telecom operators is escalating.

This paper hopes to achieve the following objectives: a) To analyze the characteristics of the spectrum auction mechanism commonly used in spectrum auctions by nations. b) To review the relevant literature on spectrum value measurement commonly used. d) To derive revenue and cost models. c) To write a program simulating the spectrum auction. e) To analyze the simulation results of the actual first wave of the 5G spectrum auction in Taiwan. f) To simulate the second wave auction bidding results.

Economists, analysts, and policymakers usually use three methods to evaluate the value of the spectrum. These methods are Market comparable analysis, discounted cash flow, and Econometric analysis. The discounted cash flow method is mainly used in this paper.

Economists Milgrom and Wilson designed the SMRA auction mechanism in 1994. The SMRA auction mechanism is a multi-round auction system for a single commodity or similar commodities. SMRA's dynamic bidding process is able to disclose the auction information. Economists Ausubel and Milgrom respectively proposed two auction models in 2004 and 2006, which are the prototypes of the current international CCA auction system. The Ausubel auction model determines the participants' income using opportunity cost.

This study reviews the auction mechanism results and experience in the United States, Europe, and Taiwan to understand the market allocation efficiency and government auction revenue of spectrum transactions. The United Kingdom used the SMRA auction mechanism to achieve outstanding success in the 3G bands. In the 700 MHz spectrum auction conducted by the United States in 2008, some bands adopted the SMRA mechanism, and some bands adopted the CCA mechanism.

RESEARCH METHOD

The direct bidding method is the dominant strategy for SMRA auctions based on the value-independent model. Bidders simply choose to bid on those items that can bring the most value and bid with the smallest price without worrying about the bidding behavior of other bidders.

When the future cash flow brought by the license is positive, the operator will bid. As a result of the direct bidding method, the study defined the evaluation of the license in Eq. (1).

$$v_i(S_k) = \sum_{t=1}^y \frac{FCF_t}{(1+r)^t} \quad (1)$$

FCF_t denotes the cash flow during the operation period of the license. y denotes the operating period of the license. r denotes the annual discounted interest rate.

Operators will consider the value and cost brought by spectrum licenses in the future. If the value is more than cost, they will decide to bid. This study mainly considers the following key indicators in future cash flow, including mobile communication business revenue, NB-iot business revenue, base station construction costs, software use costs, and operating costs. With these models, the simulation can be started. Fig. 1 shows the auction simulation algorithm. The first step is to set the number and names of the bidders. The second step is to enter every bidder's auction budget. Last step is to enter the total supply in the auction. The price of the current round is determined by SMRA auction mechanism in each round. The dominant strategy for the bidders is the direct bidding method. The bidders decide to bid

whether their evaluation of the license is greater than their budget. The demand quantity of each participant will sum to get the total demand. The mechanism will compare the total supply with the total demand in each round. If the total supply is more than the total demand, the auction will enter into next round.

Fig. 1 Auction simulation algorithm

Algorithm 1 Auction simulation	
Input: bid agent n , quantity of auction items S , agent reserve price $V_k=(v_1, \dots, v_n)$ Output: agent bid price $b_{kt}=(b_{1kt}, \dots, b_{nkt})$, agent bid quantity $D_k^t=(D_1^t, \dots, D_n^t)$, bid rounds t	
1: initialize bid list;	
2: for i in range n do participant decide round bid price	
3: add = make a higher bid	
4: $b_{ikt} = b_{ikt} + \text{add}$	
5: bid list = $(b_{1kt}, \dots, b_{nkt})$	
6: $b_{kt} = \max(\text{bid list})$	
7: if $v_i \geq b_{kt}$ then participant decide quantity need	12: if $D_k^t > S$ then step into next round
8: $D_i^t = v_i b_{ikt}$	13: participant decide round new bid price
9: sum all participants quantity needs	14: $b_{kt} = \max(\text{bid list})$
10: $D_k^t = \sum_{n=1}^i D_n^t$	15: $D_i^t = v_i b_{ikt}$
11: end if	16: sum all participants new quantity needs
	17: $D_k^t = \sum_{n=1}^i D_n^t$
	18: else auction end
	19: record final round bid price and quantity every participant
	20: end if
	21: end for

SIMULATION RESULT

The first wave auction's simulation result is shown in Table 1:

Table 1. First wave auction's simulation result

Table 1					
\$100 M	Chunghwa	Taiwan-mobile	Far Eas Tone	T-star	Asia pacific
revenue	3191	2132	2112	795	578
Base station	1715	1302	1317	933	670
software	149	113	114	81	58
operating	555	370	367	47	39
$v_i(\mathcal{S}_k)$	770	346	312	-267	-190

In Table1. and Fig. 2, we can infer that Chunghwa Telecom has the largest number of users. For this reason, Chunghwa Telecom creates huge future business revenue and makes its assessment of the value of licenses far better than other operators. In the end, Chunghwa Telecom won more bids than other operators and holds the most spectrum resources.

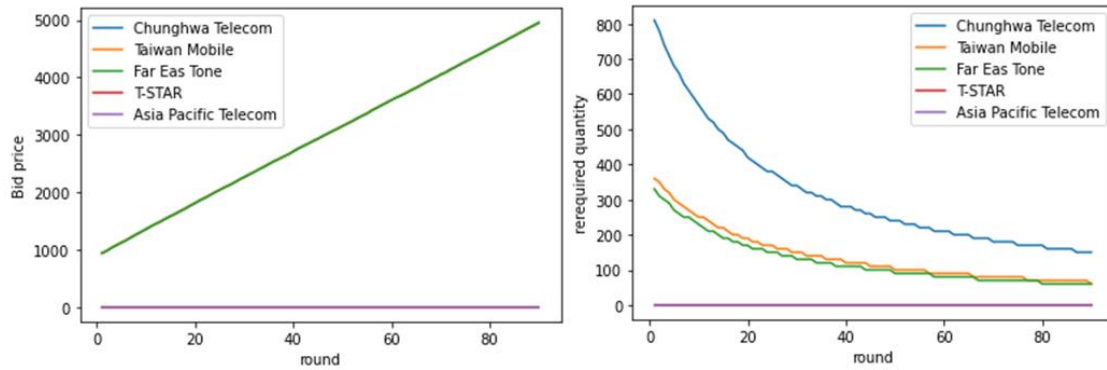


Fig. 2 Line chart of bid record and quantity demanded in First Wave

Taiwan is a country with a narrow territory. For this reason, telecom operators may have fierce competition to seize market share. However, Chunghwa Telecom, Taiwan Mobile, and Far EasTone Telecom can all earn excess profits during their operating years. This result shows that the cost of bidding for licenses does not far exceed the actual value in Taiwan.

The second wave auction's simulation result is shown in Table 2:

Table 2. Second wave auction's simulation result

Table 2			
\$100 M	Chunghwa	Taiwan-mobile	Far Eas Tone
revenue	3088.4	2638.0	2374.4
Base station	1489.3	1130.7	1144.0
software	129.8	98.5	99.7
operating	708.6	6772.5	468.2
$v_i(S_k)$	706.4	695.1	620.7

In Table 2 and Fig. 3, as the bidders have merged small players, the overall market size difference will be narrowed. The increase in operating revenue has made the three major players to bid more motivated.

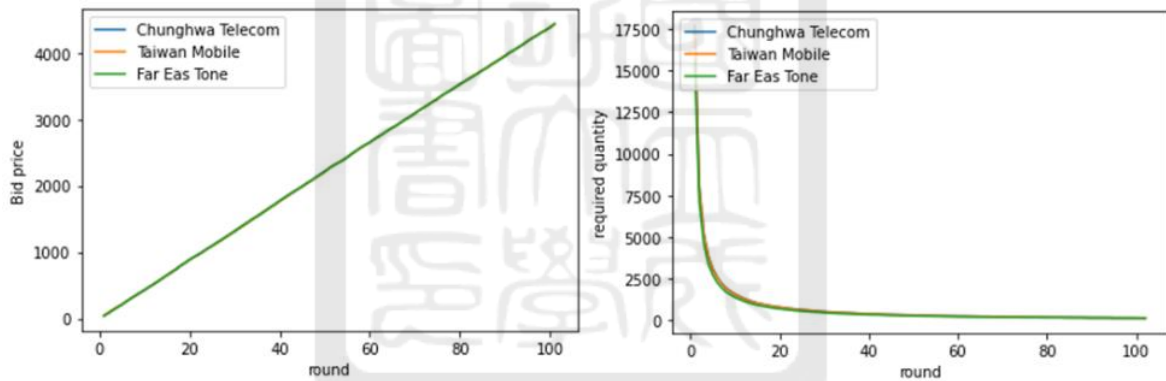


Fig. 3 Line chart of bid record and quantity demanded in Second Wave

However, the simulation results are still limited. On the basis of result, operators will use all the auction budget to bid more licenses. The number of bids in the simulation are mainly determined by the market size of the industry players.

CONCLUSION

This study achieved the following goals: a) To review two types of the license auction mechanism (SMRA and CCA). b) To review experience of spectrum auctions in U.K., U.S., and Taiwan. b) To collect revenue data, base station construction costs, software usage costs, operating costs, and the value of licenses of various operators. c) To simulate the auction results with a program. d) To present charts in the graphical user interface. e) To predict the possible auction results of the future second wave.

誌謝

碩士班兩年的生活如白駒過隙，回想學習其間的種種，充滿了歡笑、淚水與收穫，但此時此刻最多的是無限感恩。

論文能夠順利完成，首先誠摯的感謝指導教授陳文字教授，老師在指導期間除了網路與電信專業知識的剖析，也常與我分享生活中的哲理，使我感觸良多、受益匪淺，往後不論是學習或工作上都將處處受用。在我修改論文的其間，老師也不時的討論並指點我正確的方向，論文能夠完成都歸功於老師悉心的指導。再者，我要感謝另一位曾經指導過的老師，周詩梵教授，老師為人溫柔細心，在老師的底下學習，讓我打下扎實的程式基礎。

再者，口試期間承蒙口試委員成功大學交管系林珮琚教授、虎尾科技大學資工系林易泉教授以及南臺科技大學電子工程系林福林教授以的細心指正，提供諸多寶貴意見，使本論文更臻完備，在此致上深深的謝意。

本論文的完成另外亦得感謝畢業學長姐大力協助，在他們給予的業內建議與資料下，使得本論文能夠更完整而嚴謹。也感謝同實驗室的姚郁雯、王柏鈞與簡辰奕同學，時不時與我討論相關內容，互相腦力激盪，模型能成功設定，他們功不可沒。

最後，感謝我的家人，他們的體諒、包容與支持更是我前進的動力，讓我沒有後顧之憂的能盡心學習，讓我研究生的生涯的畫下完美的句號。

郭勝楠僅誌於國立成功大學
管理學院電信管理研究所
中華民國一百一十二年一月

目錄

摘要	i
Extended Abstract	ii
誌謝	vi
目錄	vii
圖目錄	ix
表目錄	x
 第一章 緒論	 1
1.1 研究背景	1
1.2 研究動機	2
1.3 研究目的	3
 第二章 文獻回顧	 4
2.1 頻譜價值	4
2.1.1 頻譜價值衡量	4
2.2 頻譜拍賣	7
2.2.1 多回合上升拍賣法	8
2.2.2 Ausubel 拍賣法	10
2.3 頻譜拍賣回顧	11
2.3.1 頻譜資源	11
2.3.2 美國頻譜拍賣經驗	12
2.3.3 英國頻譜拍賣經驗	13
2.3.4 台灣頻譜拍賣經驗	14
 第三章 研究方法	 18
3.1 研究架構	18
3.2 拍賣策略	18
3.2.1 行動網路容量	18
3.2.2 執照均衡拍賣策略	19
3.3 頻譜價值參數	20
3.3.1 行動通訊業務與 NB-iot 業務營收	20
3.3.2 基地台成本	21
3.3.3 軟體使用成本	22
3.3.4 營運成本	22
 第四章 模擬規則與流程	 23

4.1 模擬環境	23
4.2 模擬流程	24
4.3 模擬規則	27
第五章 結果與分析	29
5.1 第一波釋照模擬參數設定	29
5.1.1 營運業務營收	29
5.1.2 基地台建置成本	33
5.1.3 軟體使用成本	34
5.1.4 營運成本	35
5.1.5 業者對第一波拍賣的執照評價	37
5.2 第一波釋照模擬結果與分析	37
5.2.1 模擬結果	37
5.2.2 模擬結果與真實結果比較分析	41
5.3 第二波釋照模擬參數設定	42
5.3.1 營運業務營收	42
5.3.2 基地台維護成本與增置成本	46
5.3.4 營運成本	49
5.3.5 業者對第二波拍賣的執照評價	50
5.4 第二波釋照模擬結果	51
第六章 結論與建議	55
6.1 研究結果	55
6.2 研究限制與可改進方向	55
參考文獻	57

圖目錄

圖 1、5G 多元服務應用	1
圖 2、2017 年至 2023 年行動數據使用量成長	2
圖 3、FCC 700MHz 執照釋出區塊	12
圖 4、3.5GHz 釋出頻寬	17
圖 5、各業者 3.5GHz 得標總量	17
圖 6、頻譜資源與基地台密度	18
圖 7、基地台涵蓋範圍	21
圖 8、command 函式範例	23
圖 9、模擬拍賣流程圖	24
圖 10、程式虛擬碼	25
圖 11、SMRA 拍賣中競價與價格紀錄	26
圖 12、比較總需求量與總供給量之間的關係	27
圖 13、第一波釋照規則	27
圖 14、第二波釋照拍賣規則	28
圖 15、第一波釋照圖形介面	38
圖 16、第一波釋照模擬結果	39
圖 17、各回合業者出價紀錄折線圖	40
圖 18、各回合業者得標數量折線圖	40
圖 19、第二波釋照拍賣圖形介面	51
圖 20、第二波釋照拍賣結果	52
圖 21、第二波釋照各回合出價紀錄折線圖	53
圖 22、第二波釋照各回合需求數量紀錄折線圖	53

表目錄

表 1、3 位投標者 4 張執照價值範例	9
表 2、3 位投標者對 S2 執照採取直接競標法	9
表 3、3 位投標者對 10 執照的需求量過程	11
表 4、台灣 3G 執照得標者與得標金	14
表 5、台灣 4G 第一波釋照結果	15
表 6、台灣 4G 第二波釋照結果	16
表 7、台灣 4G 第三波釋照結果	16
表 8、各業者 4G 行動業務用戶數量	29
表 9、第三代行動通信(3G)與行動寬頻(4G)網路的用戶變動資料	30
表 10、5G 用戶數假設	31
表 11、5G 行動通訊業務營收試算	32
表 12、各業者 4G 基地台數量	33
表 13、5G 基地台比例與售價	33
表 14、各業者 5G 基地台數量推估	33
表 15、各業者 5G 基地台建置成本推估	34
表 16、各業者軟體使用成本推估	34
表 17、各業者行動通訊業務營運成本推算	36
表 18、各業者營運成本	36
表 19、各業者對 3.5GHz 執照的評價	37
表 20、實際結果與模擬結果	41
表 21、第二波釋照各業者行動通訊業務營收	43
表 22、各業者持有 NB-iot 門號數量預估	44
表 23、各業者 NB-iot 門號數量假設	44
表 24、NB-iot 業務營收試算	45
表 25、各業者第二波基地台維護成本推估	46
表 26、BBU 比例與售價	47
表 27、各業者 5G 基地台數量推估	47
表 28、各業者 BBU 增置成本	47
表 29、第二波執照的建置成本	48
表 30、各業者第二波軟體使用成本推估	48
表 31、各業者的營運成本	49
表 32、各業者對 NB-iot 執照的評價	50

第一章 緒論

1.1 研究背景

長久以來，設備要連上網路只連結單一的基地台，再由該基地台追蹤設備後續與其他基地台的連結情況，隨著使用者的移動，在切換至下一個基地台，但在 5G 網路實現後，此種連結方式將發生改變。5G 體系的網路結構支援用戶端連結多個不同頻率的基地台，有助於實現多層次的網路建置。

2018 年 6 月 4 日，3GPP 在聖地牙哥大會正式宣布 5G Release 15 的技術標準，尤其是針對 5G NR (New Radio) 的獨立式 (Standalone, SA) 網路基礎架構的定案。獨立式的 5G NR 網路標準的制定，確立了 5G 增強型行動寬頻 (Enhanced Mobile Broadband, eMBB) 和超可靠低延遲 (Ultra-reliable and Low Latency Communications, URLLC) 兩大技術背景的相關應用情境實現的可能[1]。

eMBB 能大幅增強以使用者為中心的相關服務，透過網路覆蓋、容量的提升，支援更快的資料傳輸，對應於多媒體應用、超高解析視訊、擴充與虛擬實境 (AR 與 VR) 等大流量移動寬頻業務。URLLC 被視作 5G 領域的關鍵服務，主要應用於對延遲時間和性能可靠性要求較高的應用情境，如自動駕駛、遠距醫療、工廠自動化控制、智慧零售等[2]。圖 1 為行政院科技會報辦公室針對 5G 歸納的相關創新應用，但實現需要足夠的 5G 頻譜寬帶支援，這也使得稀缺的 5G 頻譜資源更顯彌足珍貴。



圖 1、5G 多元服務應用

Release 16 於 2020 年 7 月 3 日宣布，為電信營運商開拓了一片新藍海，重要之處在能為終端消費者帶來更高資料速率、覆蓋率與可靠度；Release 17 將特別關注毫米波頻段的波束管理、多傳輸點操作、更高的行動性，以提高頻譜資源的使用效率，兩項協議的宣布使 NB-iot (Narrowband Internet of Things) 的商業進程邁開了一大步。

1.2 研究動機

在過去 10 年間，各國的政府透過拍賣與政策管制向市場提供了大量的頻譜資源，以滿足與日俱增的行動數據需求，儘管各國政府不斷釋出頻譜使用權，仍然追趕不上行動數據的需求，根據圖 2 的 Ericsson 對市場未來預測所示，於 2017 年至 2023 年底間，行動數據的需求將成長 8 倍，且預測 2023 年將有 110EB(Exabyte)大小的總移動數據需求[3]。因此，電信服務商為滿足與日俱增的行動數據需求，勢必要取得更多的頻譜資源，以趕上不斷擴大的供給缺口。

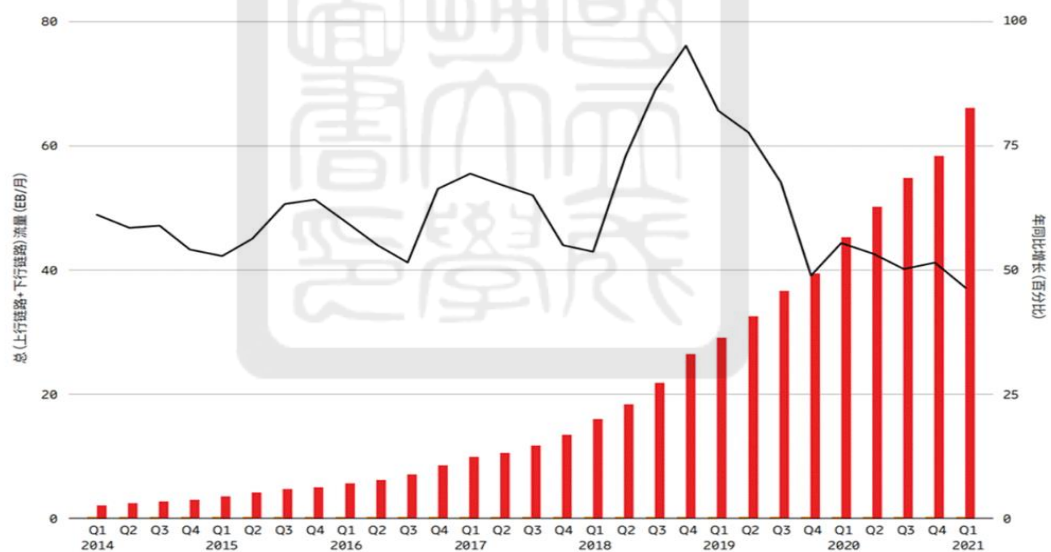


圖 2、2017 年至 2023 年行動數據使用量成長

但隨著行動數據需求的不斷增加，電信商獲取的頻譜成本也逐漸提高，頻譜拍賣出現天價標金也時有耳聞，拍賣價格高於頻譜價值的結論也常在報章媒體廣為流傳。但隨著時間推移，高頻段也可能發展出商業化進程，甚至能與低頻段互相配合產生綜效產生更多價值，因此，實際上的頻譜價值通常被低估。

數位發展部在未來也將提供 N77 頻段 (3.3~4.2GHz) 的頻譜資源供業者進

行投標，配合 3GPP 宣布的 Release 16 與 17，依照國際間的發展情況，未來 NB-iot 會成為此頻段的黃金商業應用，牽動各業者第二波投標的策略與預算。

1.3 研究目的

3.5GHz 頻段為各國 5G 拍賣最早釋出的頻段，相關應用也先於進行開發，商業模式也相較於其他頻段較為成熟穩定，但要實際發揮 5G 網路的特性，電信業者若能得標越多的頻段數量越能滿足使用者行動數據的流量需求。

台灣首輪 5G 拍賣釋出總量 270MHz 頻寬的 3.5GHz 頻段，總得標金額高達 1364 億台幣，而中華電信支出 462.93 億取得 90MHz 頻寬，遠傳支出 410.12 億取得 80MHz 頻寬，台灣大支出 306.56 億取得 70MHz 頻寬，台灣之星支出 197.08 億取得 40MHz 頻寬。

本研究會先回顧國際間常用的拍賣形式與拍賣經驗，以及台灣本身的頻譜拍賣經驗，以利於營收與成本模型與模擬拍賣程式的設定。藉由模擬拍賣的方式模擬出類真實結果探討電信業者對執照使用權的出價動機，以結果推論各業者的出價動機以衡量頻譜資源在各業者眼中所隱含的真實價值。政府未來也將開放第二波黃金頻段供各業者進行競標，本研究也將設定新頻段商業應用的營收與成本模型，模擬第二波釋照拍賣，利於後續業者拍賣做為參考。

基於研究動機以及背景，本論文希望能達成以下幾個目的：

1. 分析頻譜拍賣機制的特性，以及國際上常用的頻譜拍賣機制。
2. 回顧相關頻譜價值衡量的文獻後，得出頻譜價值參數以利於營收與成本模型的推導。
3. 撰寫程式模擬頻譜拍賣過程。
4. 以我國實際拍賣 5G 頻譜的結果與模擬結果進行分析比對，討論結果的差異與可能原因。
5. 對第二波釋照進行模擬，預測投標結果。

第二章 文獻回顧

2.1 頻譜價值

市場上衡量頻譜價值的方式主要以市場供需平衡透過拍賣決定最終得標金額，而頻譜得標金額由眾多經濟因素、競標者心理因素、拍賣方式組成，如此衡量頻譜的真實價值可能有高估或低估的風險。例如，美國各州的人口分布有明顯的差異，在人口較少的地區的使用者分得的頻譜資源較多；而人口密集區域的頻譜資源分配較為稀少，但卻是以全美國的頻譜估值為衡量標準，即產生了高估與低估的現象。

頻譜為稀缺資源，但頻譜拍賣週期不固定，因此不像其他商品能頻繁的透過市場的價格機能做到價值的公開透明，因此在衡量頻譜的價值困難重重。但衡量頻譜價值仍至關重要，政策制定者與電信營運商需要了解其背後的經濟價值才能做到有效率的管理。

使用計量經濟學的觀點能幫助我們更容易分析特定經濟因素對頻譜價值有何影響，但無法實際衡量頻譜的市場認可價格，因此本文將回顧相關文獻探討哪些因素是形塑頻譜產生價值的關鍵與相關文獻是用哪些方法或技術加以衡量。

2.1.1 頻譜價值衡量

經濟學家、分析師與政策制定者通常使用三種方式評估頻譜價值，分別是市場比較(Market comparable analysis)、現金流量折現(Discounted cash flow)、計量經濟分析(Econometric analysis)，在頻譜價值的衡量中，這三種方式早已被頻繁的使用[4]。

文獻[4]的學者 Bazelon 對美國以及歐洲(英國、德國、芬蘭、丹麥)國家的政策對頻譜管理與策略以上述三種衡量方式進行了歸納與回顧：

(一)、市場比較

在市場比較法中，分析人員以先前銷售過的同質性商品得知的資產價值或銷售經驗來評估現在欲銷售產品的價值，這種方法通常是房地產估價師根據類似房屋的先前銷售情況來估計房屋的價值。

在 2005 年初，美國聯邦通信委員會在調整 PCS(Personal-Communication-Service) G Block 的頻帶使用權上，即使用市場比較分析法評估 Nextel 所持有的頻帶價值。FCC (Federal Communications Commission) 透過衡量業者 Nextel 經過兩次交易程序所得到的 10 MHz 的 PCS G Block 使用權價值來重新調整 G Block 執照的使用範圍[5]。文獻[6]的研究報告透過 FCC 對 PCS 執照的估值與分析，對 700MHz 的執照敲定最終的拍賣價值。

(二)、現金流量折現

此方式最常用於財務估值，透過預期未來的利潤收益或現金流量來預估資產的價值及營運成本，再使用折現率轉換為單一現實價值。

在釋出新的頻帶資源時，政策制定者最常使用的分析方式為現金流量折現法，政策制定者能透過專業人員分析頻帶特性與工程價值了解市場發展與技術演進的方向。

在現金流方面，易受頻段應用、頻段特性、營運區域、營運成本等因素所影響，以 5G 頻段為例：

1. 頻段應用

頻段能提供的服務大幅度影響未來收益率，電信營運商需要事先評估頻段未來提供服務的可行性與利潤率再進行頻譜資源的分配。國家頻段政策因素也可能影響該服務的未來預期利潤，即使頻段可提供的服務相同，但在不同國家實施可能造成營收上的差異[7]。例如，在美國多數 5G 中頻段的頻譜資源早已被軍事與衛星服務所占用，因此必須透過補償機制讓既有服務撤出 5G 中頻段才有可能有足夠的頻寬實現 5G 中頻段的服務應用。

2. 頻段特性

頻段自身的特性將大幅度影響收益與成本的現金流量，例如在物理傳播上的特性，中頻段穿透性較佳，且技術較為成熟，可沿用 4G 技術共享基頻單位(BBU)降低建置成本，在 5G 應用初期即可實現商業化大規模部署，開始實現收益現金流；高頻段的毫米波穿透性較差，容易收到地理因素的干擾，需要更密集建置基地台以維持覆蓋能力，建置成本高昂且設備與相關技術仍處與試驗性質的階段。

新頻譜的引入也對既有頻譜的價值產生影響，可能會因為綜效產生額外收益、同時降低成本頭的現金流。例如中頻段的相關設備可直接延用 4G 時

期的技術，營運商可以降低設備成本的投入，因此引入 5G 頻段間接提升了 4G 頻段的頻譜的價值。

3. 營運區域

根據文獻[8]的作者 Cavea 與文獻[9]的作者 Prasad 的研究中發現，頻譜在人口稠密區域與高收入地區有更高的經濟價值。因此，在建置相關網路時考量人口密度的重要性會影響電信營運商經濟利潤，頻譜價值取決於架設的地理位置，因為不同的區域在收入和成本的驅動下具有不同的盈利能力。例如普及服務主要提供在偏遠地區保障當地用戶有一定的通訊品質，但此舉無法為電信營運商帶來利潤甚至可能因營運、建制與保養進而產生虧損；而某些電信營運商只鎖定人口密集較高的區域進行網路部署，只進行有利可圖的經濟活動。

但在未來 5G 應用方面上，機器對機器的設備網路在衡量地區價值時可能產生誤差，需考慮此項指標的占比縮小，例如智慧工廠與企業特定專網的架設可能挑選人口密集度較低的區域以確保服務品質。

4. 營運成本

營運成本將影響廠商的現金流量，營運成本，在提供一定質量上的通訊服務所需的設備建置成本、設備保養成本、網路營運成本。取的新的頻段資源後，也有可能幫助廠商降低營運成本，例如現行台灣電信業者所擁有的原先 4G 頻段能基於網路技術加以延伸，電信設備可將原有的 4G 的 BBU(Based-band-unit)進行升級並與 5G NR(New-radio)共用 BBU，減少額外設備的投入與開發成本。

(三)、計量經濟分析

計量經濟學以統計方法估計任意數量的解釋變量來說明樣本資產的價值，而學術界通常使用此方式來評估關鍵因素如何影響資產的價值。

文獻[10]的作者 Cramton 透過回歸分析尋找在 FCC 拍賣 PCS 執照中廠商圍標(collusive bidding)的證據；文獻[11]的作者 Hazlett 以量化模型模擬 FCC 的執照拍賣，分析頻譜價值被哪些關鍵的經濟變量所影響。文獻[12]的作者蒐集了多國頻譜拍賣的相關數據，以變量的方式推估哪些政策因素驅使頻譜價值有所提升。

若有關頻譜的價值資訊完全透明公開，所有的計量經濟分析得出的結果

會大致相似，但事實上要獲取準確的頻譜相關資訊困難重重，頻譜本身受限於其交易性質，拍賣次數屈指可數。市場比較法有其使用限制，只能針對同頻段的頻譜進行估量，但隨著頻譜執照釋出越往高頻段，市場比較法將越難以衡量；同時，計量分析需要大量的歷史資料才有其準確信，但頻譜拍賣的歷史資料僅有少量可參考，因此單就計量分析頻譜價值可能產生偏頗；同時，投機性質的商業計畫與特殊頻段的業務部屬都充滿機會與風險，會使未來現金流量變得難以分析，現金流量折現衡量方式將會失真[4]。

因此在無法完整或的資訊的情況下，使用混和方式分析將更加準確，更能找出驅動頻譜價值的潛在因素。

2.2 頻譜拍賣

FCC 於 1994 年首次以拍賣制度的方式釋出頻譜執照[13]，依靠市場機制充分發揮頻譜資源的最大價值。各國政府在觀察到此次拍賣結果後，紛紛放棄原先由審議制分配頻譜資源，效仿美國採用拍賣方式，讓頻譜資源分配更具效率。

英國在 2000 年舉行了第一次頻譜執照拍賣，為第三代 (3G) 行動通訊市場分發執照，而其他歐洲國家也緊隨其後，包括德國、法國、荷蘭與丹麥。

經濟學家設計了許多不同制度的頻譜拍賣方式來尋求頻譜資源的有效分配，此處的文獻回顧針對兩種國際最常使用的頻譜拍賣制度，分別多回合上升拍賣法(simultaneous multi-round auction, SMRA)與組合鐘拍賣法(combinatorial clock auction, CCA)。

SMRA 拍賣制度中，參與者可以同時競拍多張頻段相同的頻譜執照，競價過程隨每回合不斷進行，直到沒有新的標價出現才同時結束多張同頻段的許可執照的拍賣；CCA 拍賣制度也分多回合進行，但不同於 SMRA 的拍賣方式，同時競標多張不同頻段的頻譜執照，競價者可於回合內自由移動投標標的，結束方式同 SMRA，直到沒有最新價格出現才同時結束多張不同頻段的許可執照的拍賣。

學者 Klemperer 提出[14]，頻譜拍賣制度設計的兩個主要目標是市場效率最大化與政府收入最大化，但兩個政策目標彼此矛盾。例如，政策制定者在追求拍賣利潤最大化時，將使參與競價的電信服務營運商增加服務成本，電信營運商也是以追求自身利潤極大化為決策，反而將更高昂的執照使用成本轉移到

消費者身上。因此，根據不同性質的頻譜拍賣時，應使用不同的方式進行拍賣以追求政策制定者實現拍賣效率最大化的目標。

2.2.1 多回合上升拍賣法

SMRA 拍賣制度由經濟學者 Milgrom 和 Wilson 所設計，改良 FCC 於 1994 年拍賣採取的 SAA 制，SMRA 拍賣制度為針對單一商品或性質類似的商品的多回合拍賣制度[15]。

在 SMRA 制度中，參與者可以同時競拍多張頻譜執照，競價過程隨每回合不斷進行，直到沒有新的標價出現才同時結束多張許可執照的拍賣。SMRA 競價法所得到的結果類似於奈許均衡，參與者沒有離開均衡的背離誘因，因此 SMRA 拍賣法在國際上為最常見的拍賣方式。

SMRA 的動態競標過程能做到充分的拍賣資訊揭露，隨著每回合的價格變動，競價者可考慮自身誘因在價格間自由移動，有助於市場效率分配[16]。經過競拍流程後，執政者也能從拍賣過程了解頻譜的市場價值[17]。

但 SMRA 拍賣方式仍存在缺失，在此制度下各業者只能針對相同頻率牌照競標，無法對不同頻率的頻段下組合標，但不同頻段的頻譜在各業者的取得下有可能會有互補效果，多重經營下產生綜效，此時使用 SMRA 拍賣法無法完全呈現頻譜的實際價值[17]。例如業者在 5G 頻段的 3.5GHz 與 28GHz 的頻譜競價時只能針對單一標的下標，無法組合競拍兩種不同頻段，若業者只有拍得單一頻段，有無法完全發揮頻段完整價值的風險，業者在經營時可能產生虧損，導致市場效率無法均衡發揮。

參考文獻[13][15][18]，模型假設如下，有 K 張執照正在進行拍賣，以 $S = (S_1, \dots, S_i, \dots, S_K)$ 代表此 K 張執照的集合；有 N 位投標者參與投標，其中 $K > N$ 。每位投標者對 K 張執照區塊的集合都有一個價值函數，即 $v = (v_1, \dots, v_i, \dots, v_K)$ ，其中 v_i 表示投標者對執照 i 的估值，並假設價值函數皆為正效益。若廠商對該執照有興趣，此時執照對廠商具有一定價值，即 $v \geq 0$ ；並假設執照不存在負價值的情況，以 $v = 0$ 表示最低價值。假設有 3 位參與者競標 4 張執照，以 N_1 至 N_3 表示 3 位投標者，以 S_1 、 S_2 、 S_3 與 S_4 表示 4 張執照，並假設投標者價值區間 (v) 由 $(0, 15)$ 、 $(0, 30)$ 、 $(0, 45)$ 與 $(0, 60)$ 隨機抽出，由下表 1 所呈現：

表 1、3 位投標者 4 張執照價值範例

	S_1 價值(v_1)	S_2 價值(v_2)	S_3 價值(v_3)	S_4 價值(v_4)
N_1	8	26	30	51
N_2	11	19	41	58
N_3	14	23	44	55

並且在 t 回合的拍賣中，每一張執照的價格為 $P = P(S_{1t}), \dots, P(S_{it}), \dots, P(S_{kt})$ ，令 S_{it} 為競標者 N_i 在回合 t 時出價的目標執照， $X(S_{it})$ 為其出價，則直接競標法(straight forward bidding)為：

$$\begin{cases} S_{it} = \arg \max \{v_i(S_k) - P(S_{kt})\} , \text{ if } v_i(S_k) - P(S_{kt}) > 0 \\ S_{it} = \emptyset , \text{ if } v_i(S_k) - P(S_{kt}) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

以及

$$\{X(S_{it}) = P(S_{it}) , \text{ if } S_{it} \neq \emptyset \quad (2)$$

其中 $S_{it} = \emptyset$ 表示當回合價格高於競標者自身價值，競標者退出執照競標。第(1)式表示，競標者在競標時選擇對當回合價格下能極大化自身利潤或剩餘的執照出價，並且(2)式表示，競標者 i 應以拍賣規則所允許的最低價格出價。在文獻[13]中，學者 Milgrom 與 Wilson 證明直接競標法為 SMRA 拍賣制度的均衡策略。以 N_1 至 N_3 3 位投標者競標執照 S_2 為例，沿用表 1 價值區間資料，以 v_2 表示各投標者對 S_2 執照的價值，並假設拍賣經過 4 回合，將直接競標法以表 2 呈現：

表 2、3 位投標者對 S_2 執照採取直接競標法

	v_2	$X(S_{21})$	v_2	$X(S_{22})$	v_2	$X(S_{23})$	v_2	$X(S_{24})$
N_1	26	11	26	17	26	23	26	24
N_2	19	7	19	12	19	19	19	19
N_3	23	10	23	15	23	23	23	23

可從表 2 中發現，於第 3 回合時， N_2 及 N_3 的出價已達到他們認定 S_2 執照的最大價值，因此於第 4 回合時，以直接競標法為出價策略，因此 N_2 及 N_3 皆不再出價，因此由 N_1 以略高於 23 得價格得標 S_2 執照。

2.2.2 Ausubel 拍賣法

經濟學者 Ausubel 與 Milgrom 分別在 2004 年[19]與 2006 年[20]提出兩種拍賣模型，為現行國際間使用的 CCA 拍賣制的原形，Ausubel 拍賣模型以機會成本的方式來決定參與者的得標數量，每個回合的得標數量是由總供給的數量減去投標者的總需求量，可作為分析多單位同頻段拍賣與多單位多頻段組合拍賣的依據，而 SMRA 制度拍賣的結束也採用此條件比較供給量與需求量是否吻合。

Ausubel 模型中，商品價格與商品數量會隨著拍賣回增加而不斷的變動，因此有可能會發生價格劇烈上升但需求量驟減進而產生超額供給的情況，Ausubel 在研究中提到可以透過調整投標者在不同回合的兩個價格的需求量來結清市場，保證商品能全部售出的機制。

參考文獻[19][20][21]，拍賣模型假設如下，拍賣者釋出之商品總供給量為 S ，有 $N=(N_1, \dots, N_i)$ 家業者參與投標，拍賣回合表示為 t ，每回合參與者能自由進行投標，價格更新為 P_t ，參與者 N_i 在觀察到價格更新為 P_t 後，會決定自身需求量 Q_i^t ，在 t 回合的總需求量將以各參與者需求量進行加總並表示為 $D_i^t = \sum_{i=1}^N Q_i^t$ ；而 $D_{-i}^t = \sum_{j \neq i} Q_j^t$ 表示除 N_i 以外其他投標者在 t 回合的總需求量。

拍賣者在 t 回合時收到所有投標者的總需求量後，將依照以下條件決定拍賣結果：

$$S \geq D^t, Q_i^t = S - D_{-i}^t \quad (3)$$

(3)式表示如果總供給量大於等於該回合的總需求量，當回合拍賣將進行結算並結束，參與者 N_i 以當前回合價格得標自身需求量，購得數量為總供給減去其他參與者的總需求量。

$$S < D^t, \begin{cases} S > D_{-i}^t, Q_i^t = 1 \\ S < D_{-i}^t, Q_i^t = 0 \end{cases} \quad (4)$$

反之，(4)式表示當總供給量小於當回合的總需求量，則比較當回合剩餘的總供給量與其他參與者投標的總需求量，決定參與者 N_i 是否得標。若總供給量大於其他參與者總需求量，則參與者 N_i 以當前回合最高價格得標 1 單位；若總供給量小於其他參與者總需求量，則參與者 N_i 得標 0 單位。

依照上述條件不斷持續拍賣過程，直到回合總供給量為零，則拍賣結束；若回合總供給量不為零，則拍賣將進入下一回合，並更新當回合價格，繼續進行參與者投標需求量直到總供給量為零為止。

以 N_1 至 N_3 3 位投標者競標總量 S 為 10 張的執照為例，起標價格為 P_0 ，並假設價格上升至 P_3 結束，競拍資訊由表 3 所呈現：

表 3、3 位投標者對 10 執照的需求量過程

	P_0	P_1	P_2	P_3
N_1	8	6	5	4
N_2	9	7	6	5
N_3	5	3	1	1

從表中可發現，價格為 P_0 時，3 位投標者的總需求為 22，大於總供給量 10 張，因此拍賣進入下一回合；直至價格為 P_3 時，3 位投標者的總需求與總供給量相同皆為 10 張，因此拍賣結束， N_1 以 P_3 標得 4 張， N_2 以 P_3 標得 5 張， N_3 以 P_3 標得 1 張。

Ausubel 同質拍賣以動態方式不斷更新每一回剩餘的總供給量與新增的需求量與得標價格，參與者衡量自身得標利益在決定是否參加下一回合的出價。

2.3 頻譜拍賣回顧

在此節中將回顧美國、歐洲[22]與台灣使用拍賣制度後的拍賣結果及經驗，了解頻譜交易的市場分配效率與政府拍賣收益。英國使用 SMRA 拍賣制度在拍賣 3G 頻段獲得巨大成功；美國在 2008 年進行的 700MHz 執照拍賣中，部分頻段採用 SMRA 制，部分頻段採用 CCA 制，政策結果令執政者滿意；而台灣歷次的頻譜執照拍賣都採用 SMRA 拍賣制。

2.3.1 頻譜資源

在回顧拍賣前，必須先了解頻譜資源的特性，才能了解電信營運商對特定執照的出價的動機。頻段訊號的發送與接收需對應相似頻率的不同波長，例如美國在拍賣 700MHz 的頻段時，電信營運商積極競標鄰近區塊的頻譜執照，因為在 700MHz 的頻段的信號相較於 900MHz 不容易收到干擾，並且營運商持有

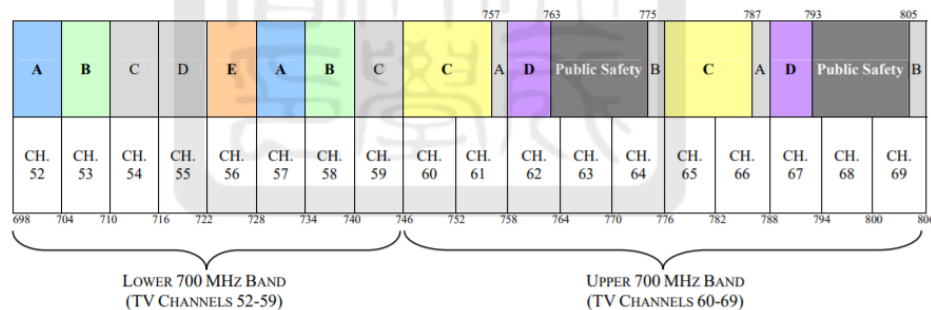
鄰近的區塊網路越多時越能產生規模經濟，能大幅降低網路的營運成本。

在部分國家，執照有效的經營區塊又被分為配對頻段與未配對頻段兩種，業者在營運時會在配對頻段上採取頻分雙工(FDD)，而未配對頻段將採取時分雙工(TDD)。配對區塊允許不同波長的訊號能自由接收與發送，使兩個不同頻率的訊號能同時工作(上鍊下載、下鍊傳輸)，更有效率的使用頻譜資源；而非配對區塊的頻譜需要使用相同頻段資源，因此，電信運營商會更專注在配對頻段的投標。

例如美國在拍賣 700MHz 的頻段時，A、B、C 與部分 D 區塊為配對頻段，部分 D 與 E 區塊屬於未配對頻段，因此配對頻段的競標較為激烈。

2.3.2 美國頻譜拍賣經驗

自 1994 年以來，美國舉行了多次的頻譜拍賣，但其中最引人注目的為 2008 年拍賣的 700MHz 的頻段的執照拍賣。參考文獻[4]歸納的資料，此次拍賣如圖 3 所示，FCC 總釋出了 1100 張執照，每張執照對應特定的頻譜區塊從 A 區塊至 E 區塊，然後再將區塊細分為配對與非配對區塊，每張執照都有屬於各自特定的經濟領域經營區，用意在於讓小型業者在人口非密集區也能順利經營。



Block	Frequencies (MHz)	Bandwidth	Pairing	Area Type	Licenses
A	698-704, 728-734	12 MHz	2 x 6 MHz	EA	176
B	704-710, 734-740	12 MHz	2 x 6 MHz	CMA	734
C	710-716, 740-746	12 MHz	2 x 6 MHz	CMA	734
D	716-722	6 MHz	unpaired	EAG	6
E	722-728	6 MHz	unpaired	EA	176
C	746-757, 776-787	22 MHz	2 x 11 MHz	REAG	12
A	757-758, 787-788	2 MHz	2 x 1 MHz	MEA	52
D	758-763, 788-793	10 MHz	2 x 5 MHz	Nationwide	1 *
B	775-776, 805-806	2 MHz	2 x 1 MHz	MEA	52

圖 3、FCC 700MHz 執照釋出區塊

此次的執照拍賣不同於其他拍賣在於 FCC 使用 SMRA 制拍賣大多數的頻段區塊，但在 C 區塊的拍賣上採用 CCA 制。C 區塊執照被分成三個不同的經濟區域，第一個經濟區域涵蓋美國本土的 50 個州，共配發 8 張執照；第二個經濟區域由波多黎各和維爾京群島和墨西哥灣組成，共配發 2 張執照；第三個經濟區域涵蓋關島、濱海群島、薩摩亞等太平洋區域組成，共配發 2 張執照。C 區塊允許電信運營商向三個經濟區域的其中一個區域進行投標，不允許跨區域運營。C 區域的競拍方式解決了組合拍賣常遇到的可算性問題 (Computational problem)，同時確保地區性小型業者能免於被大型業者吞併市占率。

拍賣為美國政府籌集了大約 191 億美元的收入，並將執照分配予全美 101 家不同的電信營運商。此次拍賣充分地呈現了頻譜資源分配得效率性，3G 電信市場由眾多業者自由競爭，解決了以往電信產業寡占、業者互相勾結的問題，消費者能從中選擇對自身最有利的電信服務。

2.3.3 英國頻譜拍賣經驗

1994 年 FCC 舉行的頻譜拍賣獲得巨大成功後，英國也從 2000 年以 SMRA 制度舉行頻譜拍賣。英國電信業由 4 大老牌電信營運商 Orange、Vodafone、One-2-One 和 Cellnet 所組成，隨著 3G 執照 700MHz 頻段將以拍賣的型式的開放，各業者為了搶進市場占有率，開始了激烈的競價[23]。

英國通訊管理局(Office of Communications)將 3G 頻段將分割為 5 個不同大小的(A、B、C、D、E)執照進行競標，同時禁止同一業者取得複數執照以確保廠商間相互制衡，不會產生一家獨大的情況。其中，為了吸引產業新的潛在進入者，A 頻段的執照只有新進業者可參與投標。A 執照由 2×15 MHz 的配對頻段與 5MHz 的未配對頻段組成；而執照 B 包含 2×15 MHz 的配對頻段；其餘執照皆為 2×10 MHz 的配對頻段與 5MHz 的未配對頻段組成。因執照 B 擁有額外的 5MHz 的配對頻段，執照價值遠大於其他執照，廠商投標意願較高。

經過 150 回合的拍賣後，B 頻段執由 Vodafone 以 60 億英鎊標得，而 Orange、One-2-One 和 Cellnet 分別以 40 億英鎊取得 C、D 與 E 頻段執照，而 A 頻段執照則由新進業者 TIW 以 45 億英鎊標得。

根據文獻[23]的作者 Binmore 和 Klemperer 分析此次的英國 3G 拍賣，此

次拍賣不僅使英國政府籌集了 225 億英鎊的收入，並因 A 頻段執照保護新進業者的政策，吸引了更多潛在廠商試圖進入電信產業。總拍賣執照數量為 5 張，但實際吸引了額外 9 家廠商投標，為執照拍賣建立了一個良好的競爭環境，使頻譜資源更有效率的分配。

2.3.4 台灣頻譜拍賣經驗

回首台灣頻譜拍賣的過程，每次的拍賣方式都是採取 SMRA 拍賣制度進行。受到國際間執照拍賣制度的成功，台灣也將執照釋出由審議制改為由市場自由競爭。

(一)、 3G 執照拍賣

2002 年的 3G 執照拍賣由交通部電信總局主持，以 SMRA 的競價方式釋出 5 張執照，與英國的 3G 執照拍賣相同，限定單一業者最多只能取得 1 張執照，避免市場壟斷的情形發生。最後結果由中華電信、聯邦電信、遠致電信（現遠傳）與台灣大哥大等四家業者在 2100 MHz 頻段各取得一張執照，而亞太電信標得位於 800 MHz 頻段的執照，表 4 紀錄各業者得標頻段、金額與頻寬。

表 4、台灣 3G 執照得標者與得標金

電信業者	執照頻段	得標金額	得標頻寬
中華電信	2100 MHz	101.69 億	2×15 MHz + 5MHz
聯邦電信	2100 MHz	77.0 億	2×10 MHz + 5MHz
遠致電信	2100 MHz	102.8 億	2×15 MHz + 5MHz
台灣大哥大	2100 MHz	101.7 億	2×15 MHz + 5MHz
亞太電信	800 MHz	105.7 億	2×20 MHz

資料來源:NCC 3G 執照拍賣 2100MHz 與 800MHz

(二)、 4G 執照拍賣

台灣第一階段的 4G 的頻譜釋照也採用 SMRA 制度並於 2013 年施行，首次釋出多個不同的頻段，分別為 700 MHz、900 MHz 以及 1800 MHz，三個不同頻率各釋出 270 MHz 的頻寬。六大業者參與競標，分別為中華電信、遠傳、台灣大哥大、國基、亞太與台灣之星，因 4G 服務商機龐大，各業者積極出價，競爭激烈，最終六家業者付出高達 1186.5 億元的總標金，此金額是底價的 3.3

倍。表 5 紀錄此次業者得標的頻段、區塊、頻寬與得標金額。

表 5、台灣 4G 第一波釋照結果

電信業者	執照頻段	執照區塊	得標頻寬	得標金額
中華電信	900 MHz	B2	10 MHz	33.20 億
	1800 MHz	C2	10 MHz	100.70 億
	1800 MHz	C5	15 MHz	256.85 億
	合計		35 MHz	390.75 億
遠傳電信	700 MHz	A2	10 MHz	68.10 億
	1800 MHz	C3	10 MHz	127.90 億
	1800 MHz	C4	10 MHz	117.15 億
	合計		30 MHz	313.15 億
台灣大哥大	700 MHz	A4	15 MHz	104.85 億
	1800 MHz	C1	15 MHz	185.25 億
	合計		30 MHz	290.10 億
國基(鴻海)	700 MHz	A3	10 MHz	68.10 億
	900 MHz	B3	10 MHz	23.70 億
	合計		20 MHz	91.80 億
亞太電信	700 MHz	A1	10 MHz	64.15 億
台灣之星	900 MHz	B1	10 MHz	36.55 億

資料來源:NCC 第一波 4G 執照拍賣

2015 年第二階段的 4G 的頻譜釋照實施，因 WiMAX 業務在台灣逐漸淡出，釋出 WiMAX 服務所使用的 2600MHz 頻段，總釋出頻寬為 190MHz，並以 SMRA 制度拍賣總共 6 張執照分別為 D1 至 D6 區塊，由中華電信、遠傳、台灣大哥大、台灣之星與亞太電信共同競標。

此次釋出的頻段主要用途為擴充現有 4G 網路頻寬，增加業者網路服務的品質，因此各業者出價並不積極，同時台灣大哥大因標金超出預算而退出此次拍賣，最後歷經 15 天競標共 142 回合出價，4 家業者以總標金 279.25 億元結束。

表 6 紀錄此次拍賣各業者得標的頻譜區塊、金額與頻數量，中華電信此次投入近 100 億元取得 D2 與 D4 頻寬，合計拿到 60MHz 頻寬資源，遠傳電信以 91.3 億元取得 D3、D6 頻寬共計 65MHz 頻寬，台灣之星以 66.15 億元取得 D1 頻寬 40MHz，亞太電信以 22.25 億元拿到 D5 頻寬 25MHz。

表 6、台灣 4G 第二波釋照結果

電信業者	執照區塊	得標金額	得標頻寬
中華電信	D2、D4	101.69 億	60MHz
遠傳電信	D3、D6	102.81 億	65MHz
台灣之星	D1	101.79 億	40MHz
亞太電信	D5	105.70 億	25MHz

資料來源:NCC 第二波 4G 執照拍賣

台灣第三波釋照於 2017 年展開，NCC 將這次競標劃分為 15 個區塊，每個區塊各 10MHz，其中 1800MHz 頻段劃分 3 個區塊 C6-1、C6-2 與 C6-3 共 30MHz，而 2100MHz 頻段劃分為 12 個區塊 EV1 至 EV12 共 120MHz，由中華電信、台灣大哥大、台灣之星、亞太電信及遠傳電信等 5 家現有行動業者參與。

經過四天共 38 回合競標後，最後是由現有的 4 家行動通信業者(中華電信、台灣大哥大、遠傳電信及台灣之星)得標，亞太電信雖參與競價但最後並未標得任何執照。而 1800MHz 頻段中，C6-2 與 C6-3 因無人出價而流標

表 7 紀錄此次拍賣各業者得標的頻譜區塊、金額與頻數量，中華電信以 86.65 億元標得 2100MHz 的 4 個區塊及以 22.7 億元標得 1800MHz 的 1 個區塊，合計新台幣 109.35 億元；台灣大哥大則以 86 億元標得 2100MHz 的 4 個區塊；遠傳電信以 65.15 億元標得 2100MHz 的 3 個區塊；台灣之星以 22.15 億元標得 1800MHz 的 1 個區塊。

表 7、台灣 4G 第三波釋照結果

電信業者	執照頻段	執照區塊	得標頻寬	得標金額
中華電信	2100MHz	E9 至 E12	40 MHz	86.65 億
	1800 MHz	C6-1	10 MHz	22.7 億

	合計		50MHz	109.35 億
台灣大哥大	2100MHz	E5 至 E8	40 MHz	86 億
遠傳電信	2100MHz	E1 至 E3	30 MHz	65.15 億
台灣之星	1800MHz	E4	10 MHz	22.15 億

資料來源:NCC 第三波 4G 執照拍賣

(三)、 5G 執照 3.5GHz 頻段拍賣

台灣首輪 5G 的 3.5GHz 頻段採用 SMRA 拍賣制進行數量競標，總釋出頻寬數量為 270MHz，每單位執照頻寬為 10MHz，總共劃分為 27 個單位，如圖 4 所示。參與競價的電信業者有中華電信、台灣大哥大、遠傳電信、亞太電信及台灣之星，總拍賣標金無設定上限。



圖 4、3.5GHz 釋出頻寬

經過 27 天，261 回合出價，3.5GHz 頻段數量競價結果出爐，總投標金額為 1364.33 億新台幣，中華電信取得 90MHz 頻寬，得標價 456.75 億元；遠傳拿 80MHz，得標價 406 億元；台灣大哥大獲得 60MHz，得標價 304.5 億元；台灣之星取得 40MHz，得標價 197.08 億元，亞太電信放棄投標，尋求與其他業者進行 3.5GHz 共網合作。每一單位的得標金額為 50.75 億元，為底價 9 億元的 5.6 倍，各業者得標的頻寬數量如圖 5 所示。

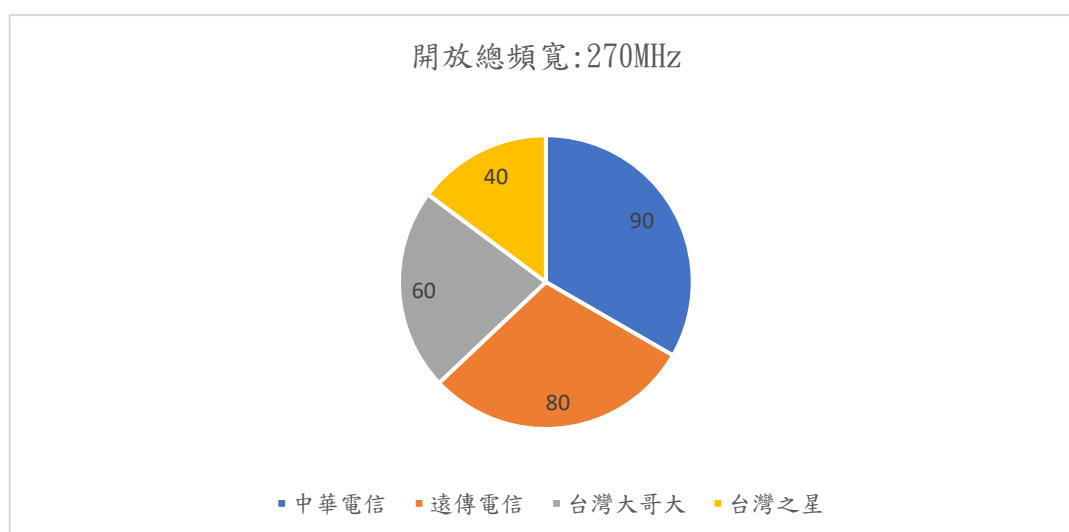


圖 5、各業者 3.5GHz 得標總量

第三章 研究方法

3.1 研究架構

本文將針對 5G 頻譜中的 3.5GHz 拍賣為主要研究項目，研究在 SMRA 拍賣度中各電信業者(中華電信、遠傳、台灣大哥大、台灣之星、亞太電信)將採取的均衡價格拍賣策略，並蒐集各業者的背景資料後，再設定各業者的頻譜價值參數(行動通訊業務營收、基地台建置成本、軟體使用成本、營運成本)後，再將頻譜價值參數導入以模擬拍賣過程。最後將模擬的拍賣結果與實際拍賣結果進行對比，若結果類似，則設定之譜價值參數為業者之重要考量因子，模擬結果具備其正確性，後續類似拍賣競價可參考此方式衡量頻譜真實價值；若結果差異甚大，檢視各參數何者使模擬出現偏離，將該設定參數重新設定或剔除後再次進行模擬，直到模擬結果類似實際拍賣結果。

3.2 拍賣策略

此節將先說明網路容量對業者拍賣策略的影響，再說明在 SMRA 拍賣制度的過程中對各業者最重要的優勢策略，最後說明執照評價如何求出。

3.2.1 行動網路容量

電信業者取得的頻譜資源對需要建置多少基地台將產生直接性的影響，根據文獻[24]，網路容量的多寡受電信業者持有的頻譜資源與興建的基地台數量影響，而移動網路容量可同過兩種方式增加，以更多基地台或新型技術提高網路效率或電信營運商持有更多的頻譜寬帶。

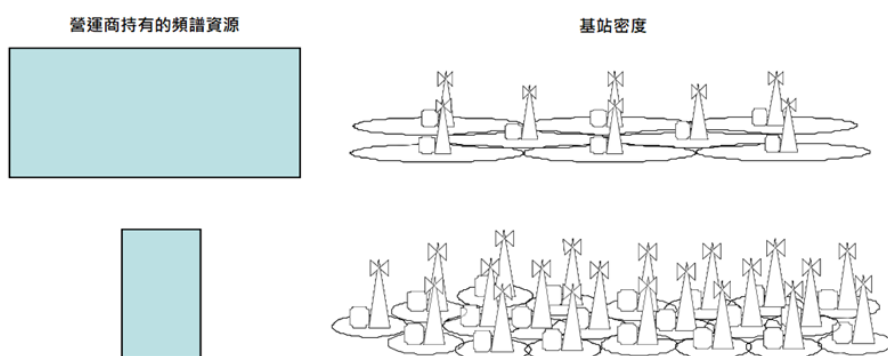


圖 6、頻譜資源與基地台密度

圖 6 表示的為 2 種不同情境下，電信業者在基地台密度與執照數量之間的配置，當業者持有的執照數量越多，興建基地台密度可以較低；但當業者無法取的更多的頻譜資源卻需要提供客戶一定的網路容量時，必須建立更多的基地台。在地狹人稠、基地台場地建置與租賃費用較高的國家中，通常會發生業者為了搶進市占率，不惜成本的取得頻譜資源的激烈競爭行為。電信營運商擁有越多的頻譜資源能減少部署成本，而無法取得足夠的頻譜資源的小型營運商可採取建立較多的基地台使密度提升，轉向頻譜資源較多的業者尋求共同興建網路的機會，此舉能減少雙方在營運上投入的成本。

3.2.2 執照均衡拍賣策略

參與頻譜執照競標的業者首先要考量他所願意為執照所付出的最大價格，亦即它對每一張執照的衡量(valuation)價值。這包含了運用決策當時所能獲得的所有資訊，對獲得某一特定執照後，其未來收益、基地台建置成本、軟體使用成本、營運成本等影響關鍵項目作出估計，決定公司的加權平均資金成本(WACC)，在以折現的方式算出該執照的淨現值(NPV)，此即為該競標者為取得執照所願支付的最高價格。

再者，在拍賣開始後，根據它在拍賣開始前所決定的對各張執照的評價，它該如何在拍賣中出價競標，亦即它該採取什麼樣的競標策略。學者 Milgrom 在文獻[13]中提出直接競標法並且證明在價格持續上升的拍賣中，如果所有的競標者都採用這種競標方式，則拍賣的結果將會是最有效率的。學者 Tong 在文獻[25]也提出價值獨立模型(private-value model)，並驗證在價格逐漸上升的拍賣中，競標者持續出價直到競標價格超過自身對此物品的價值衡量為優勢策略(dominant strategy)，即競標者無須考其他競標者的策略行為，只需考慮是否吻合自身價值衡量。

參考文獻[13][15][18][26]，在價值獨立模型基礎下，直接競標法為 SMRA 拍賣的優勢策略，亦即在選擇對哪些物品出價，以及該出多少價錢的競標行為上，競標者單純地選擇對在當時的價格下，能帶給競標者最大價值(value，即該物品對競標者的價值減去該物品的獲得成本大於 0)的那些物品進行投標，並且以拍賣規則所允許的最小加價幅度來出價，而無需顧慮其他競標者的競標行為。

每位投標者在第 t 回合對 n 件商品進行價格投標，以 $P_t = (p_{1,t}, \dots, p_{n,t})^t$ 表

示。每位投標者都有一個標價遞增的函數，以 $b_{k,t}(v_k) = (b_{1,k,t}(v_1), \dots, b_{n,k,t}(v_n))^t$ 表示，對應他們每 t 回合對 n 件商品的出價。若投標者在回合 t 認為 n 件商品具有價值時，就會進行出價，此時投標者其報酬函數可表示為式(5)：

$$\pi(v_k) = \sum_{s=1}^n v_k - b_{k,t}(v_k) \quad (5)$$

因此，透過直接競標法可得出以下結論，當業者經營執照所帶來的未來現金流量為正時，業者就會進行投標。而未來現金流量經過折現後才能轉換為現行對執照的評價，此時執照的評價 $v_i(S_k)$ 表示為：

$$v_i(S_k) = \sum_{t=1}^y \frac{FCF_t}{(1+r)^t} \quad (6)$$

式(6)中， FCF_t 表示為執照運營期間帶來的現金流量， y 表示為執照的營運年限， r 表示為年折現利率。

而經營執照的未來現金流量能以營運執照期間的營收扣除成本表示，因此 FCF_t 可以表示為：

$$FCF_t = \pi - Cost \quad (7)$$

式(7)中， π 表示電信業者取得執照後經營業務的總營收， $Cost$ 表示為經營業務所花費的總成本，本研究模型決定的營收與成本相關的頻譜價值參數將在 3.3 節中詳細說明。

3.3 頻譜價值參數

參與頻譜執照競標的業者將考量競拍的頻譜執照未來帶來的價值與付出的成本，本研究主要考量以下關鍵指標，分別為行動通訊業務與 NB-iot 業務營收、基地台建置成本、軟體使用成本、營運成本。

3.3.1 行動通訊業務與 NB-iot 業務營收

業者競拍 3.5GHz 執照的根本目的為滿足消費者日益增加的行動數據需求，而業者主要的營收來源則是向消費者收取行動數據月租費。而後續 5G 網路的

應用也將不止於個人行動通訊業務，未來將配合第二波釋照，並搭配 3GPP 宣布的 Release16 與 17 協定，額外的頻寬供用者發展 NB-iot，相關商業應用也可望為業者帶來額外收入。

5G 的 3.5GHz 頻段下，個人通訊業務收取的月租費為業者主要的獲利來源，其營運收入可表示為：

$$\pi_{m,t} = U_{pcs,t} \times P_{pcs,t} \quad (8)$$

式(8)中， $\pi_{m,t}$ 表示為該年度 5G 個人行動通訊業務營收， $U_{pcs,t}$ 表示為該年度業者擁有的行動用戶數， $P_{pcs,t}$ 表示為該年度收取的行動業務月租費的總和。

而未來的 5G 第二波釋照下，NB-iot 業務將會是業者主要的獲利來源，其營運收入可表示為：

$$\pi_{iot,t} = U_{iot,t} \times P_{iot,t} \quad (9)$$

式(9)中， $\pi_{iot,t}$ 表示為該年度 NB-iot 業務營收， $U_{iot,t}$ 表示為該年度業者擁有的 NB-iot 門號數， $P_{iot,t}$ 表示為該年度向消費者收取的 NB-iot 業務月租費的總和。

3.3.2 基地台成本

基地台成本為 5G 行動通訊網路建立初期投入的最大成本，而現行主要的基地台供應商為 Ericson 與 Nokia，設備供應商所提供的基地台解決方案根據 Base-Band Unit(基頻單元)分為 Macro base station(大型基地台，涵蓋範圍最大)、Micro base station(中型基地台，涵蓋範圍中等)與 Pico base station(小型基地台，涵蓋範圍最小)，圖 7 展示的為三種基地台涵蓋範圍的示意圖。

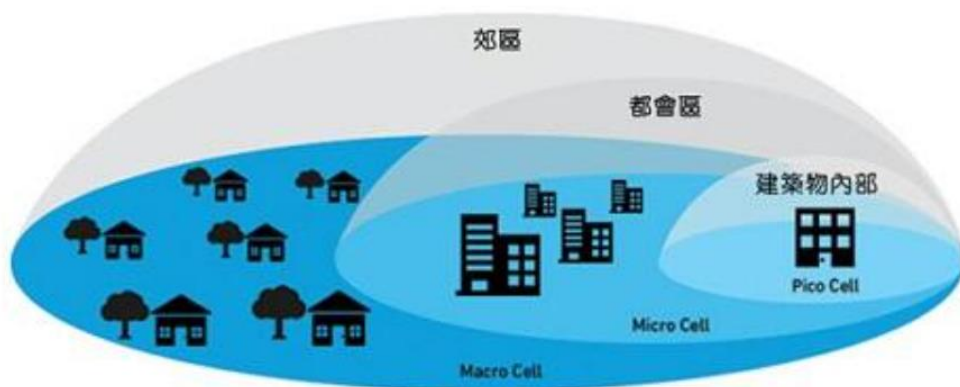


圖 7、基地台涵蓋範圍

電信業者建置基地台成本可表示為:

$$C_{system,t} = c_{1,t} \times Q_{Macro,t} + c_{2,t} \times Q_{Micro,t} + c_{3,t} \times Q_{pico,t} \quad (10)$$

式(10)中， $C_{system,t}$ 表示為該年度整體通訊網路所需建置的基地台總成本， $c_{1,t}$ 表示為該年度大型基地台的單位價格， $Q_{Macro,t}$ 表示為大型基地台在該年度所需建置的數量， $c_{2,t}$ 表示為該年度中型基地台的單位價格， $Q_{Micro,t}$ 表示為中型基地台在該年度所需建置的數量， $c_{3,t}$ 表示為該年度小型基地台的單位價格， $Q_{pico,t}$ 表示為小型基地台在該年度所需建置的數量。

3.3.3 軟體使用成本

軟體使用成本為設備供應商向電信業者收取的附加軟體費用，如遠端控制基地台通道數與設定介面、行動通訊用戶使用授權費(軟體公司根據用戶數收費)成本。

軟體使用成本可表示為:

$$C_{support,t} = c_{sc,t} \times Q_{UI,t} + c_{ac,t} \times Q_{Sim,t} \quad (11)$$

式(11)中， $C_{support,t}$ 表示為該年度整體通訊網路營運所需花費的軟體總成本， $c_{sc,t}$ 表示為該年度控制軟體的單位價格， $Q_{UI,t}$ 表示為該年度控制軟體使用數量， $c_{ac,t}$ 表示為該年度 sim 卡的單位授權價格， $Q_{Sim,t}$ 表示為該年度使用 sim 卡的授權數量。

3.3.4 營運成本

營運成本主要為電信業者維持行動網路運作與公司營運所需支出的費用，包含設備場地租賃與擴建、營銷宣傳、員工薪資...等，營運成本可表示為:

$$C_{operation,t} = c_{bc,t} + c_{pc,t} + c_{wc,t} \quad (12)$$

式(12)中， $C_{operation,t}$ 表示為該年度的營運成本， $c_{bc,t}$ 表示為該年度設備場地租賃與擴建成本， $c_{pc,t}$ 表示為該年度營銷宣傳成本， $c_{wc,t}$ 表示為該年度員工薪資成本。

第四章 模擬規則與流程

在此章節中，將說明拍賣模擬的環境、規則與流程，詳述 SMRA 制度的每回合價格決定、SMRA 拍賣制與價格鐘拍賣的總供給量與參與者總需求量的比較決定拍賣是否繼續，以及第一波釋照與第二波釋照的模擬規則。

4.1 模擬環境

表 8 為模擬環境，使用 python V.3.10.4，使用 random 與 python 主體函式撰寫模擬規則並進行模擬，再使用 Tkinter 進行使用者圖形介面設計，以 matplotlib 進行圖表繪製，最後將結果以數值及圖表顯示於使用者圖形介面中。

表 8、模擬環境

模擬環境
● 主體框架: python V.3.10.4 ● 函式套件: python 主體函式、random、tkinter、matplotlib

Tkinter 具備跨平台皆可使用的特點，能在 Linux 平臺、Windows、和 Mac OS X 系統上執行，且模組中具備大量標準庫，需要使用時直接導入即可。本文在設計模擬拍賣時，最常使用的為 Tkinter 中的 command 函式，將自定義函式放入 command 函式，如圖 8 所例，即可開始運行，最後將結果顯示於 Tkinter 設計的使用者介面中。

```
def hit_button():  
    window_simulation = tk.Toplevel(window)  
    window_simulation.geometry('830x750')  
    window_simulation.title('拍賣結果_顯示最後5回合')  
  
    star_button = tk.Button(window,text='開始模擬',command = hit_button)  
    star_button.place(x=350,y=220)
```

圖 8、command 函式範例

4.2 模擬流程

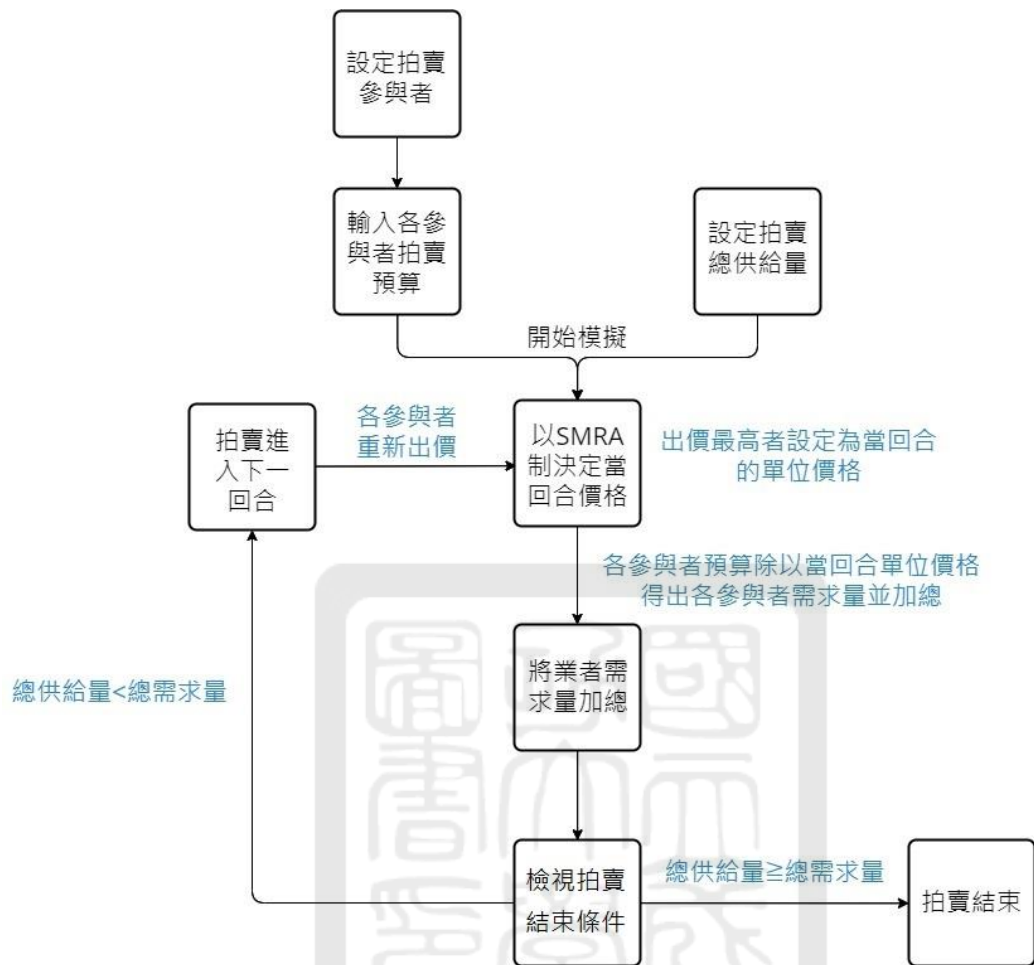


圖 9、模擬拍賣流程圖

圖 9 為拍賣模擬流程圖，拍賣開始前先設定參與的拍賣者人數與名稱，再輸入各業者的拍賣預算，此處的拍賣預算為第三章節所指的對執照的評價(執照經營業務所帶來的總營收扣除總成本)，最後輸入此次拍賣的總供給量，開始模擬拍賣。

每回合依照 SMRA 拍賣制度決定當回合的價格，此處拍賣參與者的決定性投標策略為 2.2.1 節中說明過的直接競標法，拍賣參與者依照自身對執照的評價是否大於其預算決定出價(若評價大於預算則出價；反之若評價小於預算則退出拍賣)，並在此過程中依照各參與者的拍賣預算除上各自投標價格得出各參與者的需求數量，最後將各參與者的需求數量加總得到總需求量。

拍賣是否進入下一回合或結束將依照 2.2.2 節中所說明的 SMRA 制度與價

格鐘制度拍賣結束條件而定，結束條件則是比較每回合結算時拍賣的總供給量與參與者總需求量之間的關係，若總供給量小於總需求量，則拍賣進入下一回合；若拍總需求量小於等於總供給量，則拍賣結束。

整體拍賣流程圖使用虛擬碼展示，如圖 10 所示，虛擬碼外層的 For 迴圈為記錄參與者在各回合的投標價格與需求量，並顯示最後各參與者的得標價格與得標數量；虛擬碼第 7 行至第 11 行的 if 迴圈為描述拍賣參與者使用直接競標法策略進行出價，各拍賣參與者將持續出價直到出價大於等於自身對執照的評價為止；而虛擬碼第 12 行至第 18 行為描述判斷總供給量與總需求量之間的關係以決定拍賣是否結束。

Algorithm 1 Auction simulation

Input: bid agent n , quantity of auction items S , agent reserve price $V_k=(v_1, \dots v_i \dots v_n)$
Output: agent bid price $b_{kt}=(b_{1kt}, \dots b_{ikt} \dots b_{nkt})$, agent bid quantity $D_k^t=(D_1^t, \dots D_i^t, \dots D_n^t)$, bid rounds t

```

1: initialize bid list;
2: for  $i$  in range  $n$  do participant decide round bid price
3:   add = make a higher bid
4:    $b_{ikt} = b_{ikt} + \text{add}$ 
5:   bid list =  $(b_{1kt}, \dots b_{ikt} \dots b_{nkt})$ 
6:    $b_{kt} = \max(\text{bid list})$ 
7:   if  $v_i \geq b_{kt}$  then participant decide quantity need
8:      $D_i^t = v_i b_{ikt}$ 
9:     sum all participants quantity needs
10:     $D_k^t = \sum_{n=1}^i D_n^t$ 
11:   end if
12:   if  $D_k^t > S$  then step into next round
13:     participant decide round new bid price
14:      $b_{kt} = \max(\text{bid list})$ 
15:      $D_i^t = v_i b_{ikt}$ 
16:     sum all participants new quantity needs
17:      $D_k^t = \sum_{n=1}^i D_n^t$ 
18:   else auction end
19:     record final round bid price and quantity every participant
20:   end if
21: end for

```

圖 10、程式虛擬碼

使用圖 11 的例子說明虛擬碼第 7 行至第 11 行，會先以 SMRA 制度進行每回合單位價格競價，拍賣參與者依照自身預算剩餘進行加價，模擬拍賣中各業者的加價方式將採取亂數進行，圖中的 33 至 47 百萬元的加價區間即是參考第一波拍賣的實際情況，在歷史資料中，最高加價紀錄為 47 百萬元，由中華電信出價；最低出價紀錄為 33 百萬元，由台灣之星出價。

在 SMRA 拍賣中，每回合價格會隨著參與者投標狀況將持續上升，直至沒有更高的價格出現則結束。虛擬碼外層的 FOR 迴圈會將每回合各拍賣者投標價格列出並紀錄該輪的最高投標價格為參考價。

```
9 lower = 33
10 upper = 47
11 import random
12 rd = 1
13 #加價的亂數區間為33至47百萬元，參考第一波拍賣的實際加價情況
14
15 while True:
16     bid_list = []
17     for i in range(5):
18         add = random.randint(lower,upper)
19         bid_given = bid_price + add
20         bid_list.append(bid_given)
21     print(f'Round{rd} 該輪各業者競標價格: {bid_list}')
22     bid_price = max(bid_list)
23     print(f'Round{rd} 該輪得標價格: {bid_price}')
```

圖 11、SMRA 拍賣中競價與價格紀錄

有了當回合的拍賣參考價後，各參與者會將自身的總預算除上當回合的參考價得出自身的需求量，再將所有參與者的需求量進行加總得出總需求量，使用圖 12 例子說明虛擬碼第 12 行至第 18 行，將比較總供給量與參與者的總需求量之間的關係，若總需求量大於總供給量，則拍賣進入到下一回合，再次以 SMRA 制進行加價；反之，若總需求量小於等於總供給量，則拍賣結束，並記錄各業者得標數量。

```

57 unit_a = budget_a // (bid_price)
58 unit_b = budget_b // (bid_price)
59 unit_c = budget_c // (bid_price)
60 unit_d = budget_d // (bid_price)
61 unit_e = budget_e // (bid_price)
62 unit_sum = unit_a*units + unit_b*units + unit_c*units + unit_d*units + unit_e*units
63 if unit_sum > 270:
64     print(f'Round{rd}每個人得標單位: 中華電信得{unit_a*units}, 台灣大哥大得{unit_b*units}, 遠傳得{unit_c*units}.
65     print(f'Round{rd} 總競標單位為: {unit_sum}')
66     print('再競標一次')
67
68 else:
69     print(f'Round{rd}每個人得標單位: 中華電信得{unit_a*units}, 台灣大哥大得{unit_b*units}, 遠傳得{unit_c*units}.
70     print(f'Round{rd} 總競標單位為: {unit_sum}')

```

圖 12、比較總需求量與總供給量之間的關係

4.3 模擬規則

第一波釋照將依照圖 13 的規則進行模擬：

- 參與競標業者為中華電信、台灣大哥大、遠傳電信、台灣之星以及亞太電信，共 5 家業者
- 總共開放競標頻譜頻段為 27 張執照，每此最小下標數量為 1 張執照。
- 拍賣起標價格為 900(百萬元)。
- 先決定價格，各業者在依照價格決定需求數量。
- 每回合開始時，以 SMRA 制度決定價格，先由各業者進行加價，參考第一波拍賣的實際加價情況，為 33 至 47(百萬元)，並從中取亂數為各業者模擬加價情況，喊價最高者為當回合得標價格，各業者再以當回合得標價格決定需求數量。
- 最後決定拍賣數量，若所有業者需求數量的加總大於 27 張，將進入下一回合，直至需求加總小於等於 27 張，則拍賣結束。

```

1  # 競標人：5
2  # 預算：預計營收扣除成本
3  # 競標單位：1張為基準，共27張
4
5  # 官方資料的加價大概落在33到47百萬元間
6  # 第一回合起標價格是900
7  # 單位是百萬
8
9  # 流程：
10 ## 1. 先bid單位價格，最高者得標
11 ## 2. 五個人根據總預算買入最高的單位數(10的倍數)
12 ## 3. 若5個人買入的總單位數大於27，則拍賣進入下一回合
13 ## 4. 直到總單位數小於等於27，結束競標，顯示每個人bid到的單位數與該期的bid price

```

圖 13、第一波釋照規則

第二波釋照將依照圖 14 的規則進行模擬：

- 參與競標業者為中華電信、台灣大哥大、遠傳電信，共 3 家業者
- 總共開放競標頻譜頻段為 43 張，每此最小下標數量為 1 張。
- 先決定當回合價格，各業者在依照當回合價格決定需求數量。
- 每回合開始時，以 SMRA 制度決定價格，先由各業者進行加價，參考第一波拍賣的實際加價情況，為 33 至 47(百萬元)，並從中取亂數為各業者模擬加價情況，喊價最高者為當回合得標價格，各業者再以當回合得標價格決定需求數量。
- 最後再定拍賣數量，若所有業者需求數量的加總大於 43 張，將進入下一回合，直至需求加總小於等於 43 張，則拍賣結束。

```
1 # 競標人：3
2 # 預算：預計營收扣除成本
3 # 競標單位：1張為基準，共43張
4
5 # 加價亂數區間33-47百萬元
6 # 單位是百萬
7
8 # 流程：
9 ## 1. 先bid單位價格(SMRA制)，最高者得標
10 ## 2. 五個人根據總預算買入最高的單位數(10的倍數)
11 ## 3. 若5個人買入的總單位數大於43，則拍賣進入下一回合
12 ## 4. 直到總單位數小於等於43，結束競標，顯示每個人bid到的單位數與該期的bid price
```

圖 14、第二波釋照拍賣規則

第五章 結果與分析

此章節將說明有關拍賣模擬的業者參數設定與限制，再將模擬產生的結果與真實拍賣結果進行對比，討論程式模擬結果所隱含的價值，同時以相同的參數模型對未來將進行的第二波釋照進行預測。

5.1 第一波釋照模擬參數設定

此節會將各業者的各項資料進行統整，獲取各業者的行動通訊業務營收、基地台建置成本、軟體使用成本、營運成本，算出各業者對執照的評價後，再將各業者評價導入拍賣程式得出模擬結果，最後將模擬結果與實際結果相互比較、分析以得出結論。

模擬過程會將 SMRA 拍賣制度與價格鐘拍賣皆納入，先以 SMRA 制度中的最高出價為當回合的統一價格，再以價格鐘拍賣決定各參與者需求量。若總需求量大於拍賣總供給量，將使拍賣進入下一回，並再以 SMRA 制度決定新的統一價格，直至參與者總需求量小於等於拍賣總供給量時，將宣告拍賣結束。

5.1.1 營運業務營收

行動通訊業務營收主要受業者擁有多少用戶數而定，參考國家通訊傳播委員會於 2021 年第三季的官方統計資料可以得知五大電信業者擁有的 4G 行動業務用戶數量，統計資料以表 8 所示：

表 8、各業者 4G 行動業務用戶數量

	中華電信	台灣大哥大	遠傳電信	台灣之星	亞太電信
行動用戶數					
2021Q3	1065.4	711.4	705.0	265.3	193.2
單位：萬戶					

依照國家通訊傳播委員會統計的第三代行動通信(3G)與行動寬頻(4G)網路的用戶變動資料，可以發現用戶數將先不斷遞增，再因新世代通訊網路技術開

放服務後開始不斷衰退，執照的營運黃金周期約為 12 年，統計資料以表 9 所示：

表 9、第三代行動通信(3G)與行動寬頻(4G)網路的用戶變動資料

年份	第三代行動通信(3G)	行動寬頻(4G)	3G 百分比	4G 百分比
95	203.9		9%	
96	524		23%	
97	922		40%	
98	1379.9		60%	
99	1742.6		75%	
100	1989.3		86%	
101	2185.9		95%	
102	2168.3	88.3	94%	3%
103	2308.4	765.2	100%	26%
104	2008.4	1532.7	87%	52%
105	1313.9	2059.9	57%	70%
106	804	2528.5	35%	86%
107	362.2	2922.7	16%	99%
108		2914.2		99%
109		2948.1		100%
單位：萬戶				

參考過去的用戶變動資料後，有鑑於目前能實際使用到 5G 通訊技術的相關應用尚未成熟，使現有 4G 行動寬頻用戶轉換至 5G 的意願較以往低，因此本研究假設各業者的 5G 用戶成長率為 4G 時期的一半，並以 4G 用戶數量作為基數換算 5G 用戶數，同時假設，用戶數在第 10 年後將逐年遞減，直至第 15 年後，仍有部分用戶會繼續使用 5G 服務，此部分比例參考現今仍使用 3G 的用戶數，約為 15%至 13%，資料由表 10 呈現：

表 10、5G 用戶數假設

年度	中華電信	台灣大哥大	遠傳電信	台灣之星	亞太電信	用戶百分比
1	32	21.3	21.2	8	5.8	3%
2	149.1	99.6	98.7	37.1	27.0	14%
3	287.6	192.1	190.4	71.6	52.1	27%
4	383.4	256.1	253.8	95.5	69.5	36%
5	479.3	320.1	317.3	119.4	86.9	45%
6	628.4	419.7	416.0	156.5	113.9	59%
7	724.2	483.8	479.4	180.4	131.2	68%
8	862.7	576.2	571.1	214.9	156.3	81%
9	969.2	647.4	641.6	241.4	175.6	91%
10	1054.4	704.3	698	262.6	191.1	99%
11	884.0	590.5	585.2	220.2	160.2	83%
12	649.7	434	430.1	161.8	117.7	61%
13	351.5	234.8	232.7	87.5	63.7	33%
14	181.1	120.9	119.9	45.1	32.8	17%
15	159.8	106.7	105.8	39.8	29.0	15%
16	159.8	106.7	105.8	39.8	29.0	15%
17	149.1	99.6	98.7	37.1	27.0	14%
18	149.1	99.6	98.7	37.1	27.0	14%
19	138.5	92.5	91.7	34.5	25.1	13%
20	138.5	92.5	91.7	34.5	25.1	13%

單位：萬戶

依照過往 4G 的執照開放經驗，未來將開放新的 5G 頻段供業者進行投標，此時業者經營的網路規模將擴大，預計第二波釋照下，未來將釋出頻段區間為 3570~4000MHz(共 430MHz)，且該頻段的持有業者。

本研究假設第二波釋照會在第一波執照經營第 5 年後發生，且各業者會取得新的頻段並將行動業務的使用者平均分流，此時行動業務支援的頻段數量將

達到 700MHz，第一波釋照的頻段在第 5 年後將服務 38%的使用者(第一波拍賣總釋出 270MHz，約 38%)，而第二波釋照頻段將服務 62%的使用者(第二波拍賣總釋出 430MHz，約 62%)。

因此在第 1 至 5 年經營時各業者第一波執照營運的行動業務的營收比率為 100%，但在第 6 年開始分流後，營收比率將降至 38%。並且假設行動通訊業務每月將向使用者收取 999 元的月租費，且在第 10 年後開始衰減，每年降價幅度為 5%，最低降至 50%，最後依照台灣中央銀行通告的年利率 1.5%進行折現，各業者的第一波釋照的行動通訊業務營收依表 11 所示：

表 11、5G 行動通訊業務營收試算

年度	中華電信	台灣大哥大	遠傳電信	台灣之星	亞太電信	營收比率	月租費比率
1	383016.6	255847.9	253546.2	95412.5	69410.5	100%	100%
2	1702296.0	1137101.8	1126872.0	424055.5	308491.2	100%	100%
3	3126666.1	2088554.3	2069764.9	778877.5	566616.5	100%	100%
4	3970369.7	2652132.4	2628272.9	989050.8	719513.0	100%	100%
5	4726630.6	3157300.5	3128896.3	1177441.4	856563.1	100%	100%
6	1947671.9	1301008.5	1289303.9	485180.6	352958.4	33%	100%
7	2137880.4	1428063.9	1415216.6	532563.1	387428.1	33%	100%
8	2425326.5	1620072.5	1605497.8	604168.2	439519.2	33%	100%
9	2594999.5	1733410.9	1717816.6	646435.1	470267.5	33%	100%
10	2688696.5	1795998.8	1779841.4	669775.8	487247.3	33%	95%
11	1932136.9	1290631.2	1279020.2	481310.7	350143.1	33%	90%
12	1277252.5	853180.7	845505.1	318173.8	231464.5	33%	85%
13	619359.2	413720.3	409998.4	154287.3	112240.7	33%	80%
14	503610.3	349613.4	333083.4	126806.0	94402.3	33%	75%
15	442384.2	295504.3	292845.9	110201.4	80169.2	33%	70%
16	391224.1	261330.3	258979.3	97457.0	70897.9	33%	65%
17	321004.4	214424.9	212495.9	79964.8	58172.6	33%	60%
18	280241.9	187196.3	185512.3	69810.5	50785.6	33%	55%
19	225302.7	150498.0	149144.1	56124.7	40829.5	33%	50%
20	214574.0	143331.4	142042.0	53452.1	38885.3	33%	50%
總營收	31910644.1	21328922.5	21123655.0	7950548.8	5786005.6		

單位：萬元

5.1.2 基地台建置成本

依照國家通訊委員會 2021 年第三季度的統計，各業者擁有的 4G 基地台數量如表 12 所示：

表 12、各業者 4G 基地台數量

年度	中華電信	台灣大哥大	遠傳電信	台灣之星	亞太電信
2021Q3	30742	23340	23615	16727	12020
單位：台					

電信設備供應商提出的基地台解決方案依照基頻單元分為大型、中型、小型三種，本研究假設大型基地台將占總建置數量比例的 20%，單台建置成本為 500 萬新台幣，中型基地台將占總建置數量比例的 30%，單台建置成本為 300 萬新台幣，小型基地台將占總建置數量比例的 50%，單台建置成本為 100 萬新台幣，資料如表 13 所示：

表 13、5G 基地台比例與售價

	Macro	Micro	Pico
占比	20%	30%	50%
單位成本	500 萬元	300 萬元	100 萬元

依據 5G 行動通訊網路採用高頻段 3.5GHz 訊號，有訊號穿透率與容易受到干擾的特性，需要建立現有 4G 基地台倍數以上的數量才能擁有相同的覆蓋率，因此本研究假設各業者以現有 4G 基地台數量為基數，建置 3 倍數量的 5G 基地台以維持現有 4G 網路覆蓋率，各業者的基地台建置數量以表 14 表示：

表 14、各業者 5G 基地台數量推估

單位：台	中華電信	台灣大哥大	遠傳電信	台灣之星	亞太電信
Macro	18445	14004	14169	10036	7212
Micro	27667	21006	21253	15054	10818
Pico	46113	35010	35422	25090	18030
總建置數量	92225	70020	70844	50180	36060

並假設各業者分 8 年將所需基地台數建置完畢，初期建置數量將較多並逐漸遞減，比率參考過往 4G 基地台建置資料，同時假設各基地台售價會依照時間、技術進步等因素逐漸下降，每年價格將下降 10% 的幅度，最後再依照台灣中央銀行通告的年利率 1.5% 進行折現，將基地台建置成本以表 15 所示：

表 15、各業者 5G 基地台建置成本推估

單位：萬元	中華電信	台灣大哥大	遠傳電信	台灣之星	亞太電信	建置比率	售價比率
1	6197587.2	4705344.0	4760784.0	3372163.2	2423232.0	35%	100%
2	3604719.1	2736781.7	2769027.4	1961360.2	1409430.9	20%	90%
3	2439283.6	1851957.6	1873778.0	1327236.2	953750.2	15%	81%
4	1376668.0	1045196.5	1057511.4	749057.5	538271.7	10%	72%
5	1129013.4	857171.7	867271.2	614306.4	441439.8	8%	62%
6	631276.3	479278.8	484925.8	343483.2	246826.5	5%	52%
7	426136.3	323532.0	327344.0	231864.6	166617.6	4%	43%
8	259551.5	197057.2	199378.9	141224.3	101483.6	3%	33%
總成本	17151320.9	13021658.6	13175084.3	9332188.7	6706098.4		
單位：萬元							

5.1.3 軟體使用成本

電信設備供應商同時會向電信業者提供軟體服務，如遠端控制基地台、用戶軟體使用成本花費等，本研究假設軟體使用成本為基地台總建置成本 20 年平均的 10%，並依照台灣中央銀行通告的年利率 1.5% 進行折現，各業者軟體使用成本依表 16 所示：

表 16、各業者軟體使用成本推估

年度	中華電信	台灣大哥大	遠傳電信	台灣之星	亞太電信
20 年平均成本	857566.0	651082.9	658754.2	466609.4	335304.9

1	85756.6	65108.3	65875.4	46660.9	33530.5
2	84489.3	64146.1	64901.9	45971.4	33035.0
3	83240.7	63198.1	63942.8	45292.0	32546.8
4	82010.5	62264.2	62997.8	44622.7	32065.8
5	80798.5	61344.0	62066.8	43963.2	31591.9
6	79604.5	60437.4	61149.5	43313.5	31125.0
7	78428.0	59544.3	60245.9	42673.4	30665.0
8	77269.0	58664.3	59355.5	42042.8	30211.9
9	76127.1	57797.4	58478.3	41421.4	29765.4
10	75002.1	56943.2	57614.1	40809.3	29325.5
11	73893.7	56101.7	56762.7	40206.2	28892.1
12	72801.6	55272.6	55923.8	39612.0	28465.1
13	71725.7	54455.8	55097.4	39026.6	28044.5
14	70665.8	53651.0	54283.1	38449.9	27630.0
15	69621.4	52858.1	53480.9	37881.7	27221.7
16	68592.5	52077.0	52690.6	37321.8	26819.4
17	67578.9	51307.4	51911.9	36770.3	26423.1
18	66580.2	50549.1	51144.7	36226.9	26032.6
19	65596.2	49802.1	50388.9	35691.5	25647.9
20	64626.8	49066.1	49644.2	35164.0	25268.8
總使用成本	1494409.0	1134588.1	1147956.2	813121.5	584308.0
單位：萬元					

5.1.4 營運成本

即使執照的黃金營運期間為 12 年，但業者在執照許可期間仍會向消費者提供前一世代的行動通訊服務，如現行仍提供 3G 網路服務。

本研究將營運成本以執照許可年限 20 年做計算，參考各電信業者的 2021 年年度財務報表後，將人事成本、營業成本、營業費用...等相加後，並依照中

華電信財報提供的資料，2021 行動通訊業務占 45%、網際網路業務 12.1%、國內固定通信業務 34.9%、國際固定通信業務 8.7%，各業者行動通訊業務營運成本推算如表 17 所示：

表 17、各業者行動通訊業務營運成本推算

年度	中華電信	台灣大哥大	遠傳電信	台灣之星	亞太電信
2021 年財報					
	1282343	855016	847323	109885	91962
通訊業務 (45%)	577054.4	384757.2	381295.4	49448.3	41382.9
單位：萬元					

假設行動通訊業務占總營運成本的 45%，同時考慮到未來第二波執照營運時的分流情況，成本比率在 1 至 5 年時成本比率為 100%，第 6 年之後成本比率降至 38%，並依照台灣中央銀行通告的年利率 1.5%進行折現，各業者的營運成本推估如表 18 所示：

表 18、各業者營運成本

年度	中華電信	台灣大哥大	遠傳電信	台灣之星	亞太電信	成本比率
營運成本						
1	577054	384757	381295	49448	41383	100%
2	568526	379071	375660	48717	40771	100%
3	560125	373469	370109	47998	40169	100%
4	551847	367950	364639	47288	39575	100%
5	543692	362512	359250	46589	38990	100%
6	203550	135719	134498	17442	14597	38%
7	200542	133713	132510	17185	14381	38%
8	197578	131737	130552	16931	14169	38%
9	194658	129790	128622	16680	13960	38%
10	191781	127872	126722	16434	13753	38%
11	188947	125983	124849	16191	13550	38%
12	186155	124121	123004	15952	13350	38%
13	183404	122286	121186	15716	13153	38%
14	180693	120479	119395	15484	12958	38%
15	178023	118699	117631	15255	12767	38%
16	175392	116945	115892	15029	12578	38%

17	172800	115216	114180	14807	12392	38%
18	170246	113514	112492	14589	12209	38%
19	167730	111836	110830	14373	12029	38%
20	165251	110183	109192	14161	11851	38%
總成本	5557993.1	3705851.68	3672507	476268.9	398584.9	
單位:萬元						

5.1.5 業者對第一波拍賣的執照評價

將各業者的行動通訊業務營收、基地台建置成本、軟體使用成本以及營運成本代入第(6)式即可獲得各業者對執照的評價，為業者最大願意付出的拍賣成本，也可視為各業者對執照的拍賣預算，各業者對第一波拍賣的執照評價依表 19 所示：

表 19、各業者對 3.5GHz 執照的評價

	中華電信	台灣大哥大	遠傳電信	台灣之星	亞太電信
營收	31910644.1	21328922.5	21123655.0	7950548.8	5786005.6
基地台成本	17151320.9	13021658.6	13175084.3	9332188.7	6706098.4
軟體使用成本	1494409.0	1134588.1	1147956.2	813121.5	584308.0
營運成本	5557993.1	3705851.6	3672507	476268.9	398584.9
$v_i(S_k)$	7706921.1	3466824.1	3128107.5	-2671030.3	-1902985
單位:萬元					

5.2 第一波釋照模擬結果與分析

此節將各業者對執照的評價放入程式中，並設計拍賣規則並模擬各業者投標，最後產生第一波釋照模擬結果以及圖表，並討論模擬結果與實際拍賣的差異。

5.2.1 模擬結果

程式執行後將先開啟拍賣圖形介面，圖形介面如圖 15 所示，在該介面中，可以輸入各業者的拍賣預算，單位為百萬元，並設置開始模擬之按鈕，將 4.1.5 節求得之各業者對執照的評價輸入圖形介面並開始模擬，因台灣之星與亞太電

信依照本研究模型算出評價執照為負，因此兩業者初始輸入預算為 0。



請輸入各業者預算(以100萬為單位)	
中華電信:	77069
台灣大哥大:	34668
遠傳電信:	31281
台灣之星:	0
亞太電信:	0

開始模擬

圖 15、第一波釋照圖形介面

開始模擬後，將顯示最後 5 回合的拍賣結果，如圖 16 所示，包含各業者的出價紀錄、當回合的得標價格、各業者需求數量與總得標單位數，並在最下方設置各回合出價紀錄折線圖以及得標數量折線圖的按鈕，如圖 17、18 所示，將各回合廠商出價的變動與需求數量的變動使用折線圖記錄。

第86回合結果

中華電信出價:	4781
台灣大哥大出價:	4776
遠傳電信出價:	4784
台灣之星出價:	0
亞太電信出價:	0

當回合得標價格為4784

中華電信獲得單位:	160
台灣大哥大獲得單位:	70
遠傳電信獲得單位:	60
台灣之星獲得單位:	0
亞太電信獲得單位:	0

總競標單位為: 290

第87回合結果

中華電信出價:	4826
台灣大哥大出價:	4830
遠傳電信出價:	4818
台灣之星出價:	0
亞太電信出價:	0

當回合得標價格為4830

中華電信獲得單位:	150
台灣大哥大獲得單位:	70
遠傳電信獲得單位:	60
台灣之星獲得單位:	0
亞太電信獲得單位:	0

總競標單位為: 280

第88回合結果

中華電信出價:	4877
台灣大哥大出價:	4865
遠傳電信出價:	4873
台灣之星出價:	0
亞太電信出價:	0

當回合得標價格為4877

中華電信獲得單位:	150
台灣大哥大獲得單位:	70
遠傳電信獲得單位:	60
台灣之星獲得單位:	0
亞太電信獲得單位:	0

總競標單位為: 280

第89回合結果

中華電信出價:	4922
台灣大哥大出價:	4914
遠傳電信出價:	4915
台灣之星出價:	0
亞太電信出價:	0

當回合得標價格為4922

中華電信獲得單位:	150
台灣大哥大獲得單位:	70
遠傳電信獲得單位:	60
台灣之星獲得單位:	0
亞太電信獲得單位:	0

總競標單位為: 280

第90回合結果

中華電信出價:	4962
台灣大哥大出價:	4966
遠傳電信出價:	4959
台灣之星出價:	0
亞太電信出價:	0

當回合得標價格為4966

中華電信獲得單位:	150
台灣大哥大獲得單位:	60
遠傳電信獲得單位:	60
台灣之星獲得單位:	0
亞太電信獲得單位:	0

總競標單位為: 270

各回合競價折線圖

各回合需求數量折線圖

圖 16、第一波釋照模擬結果

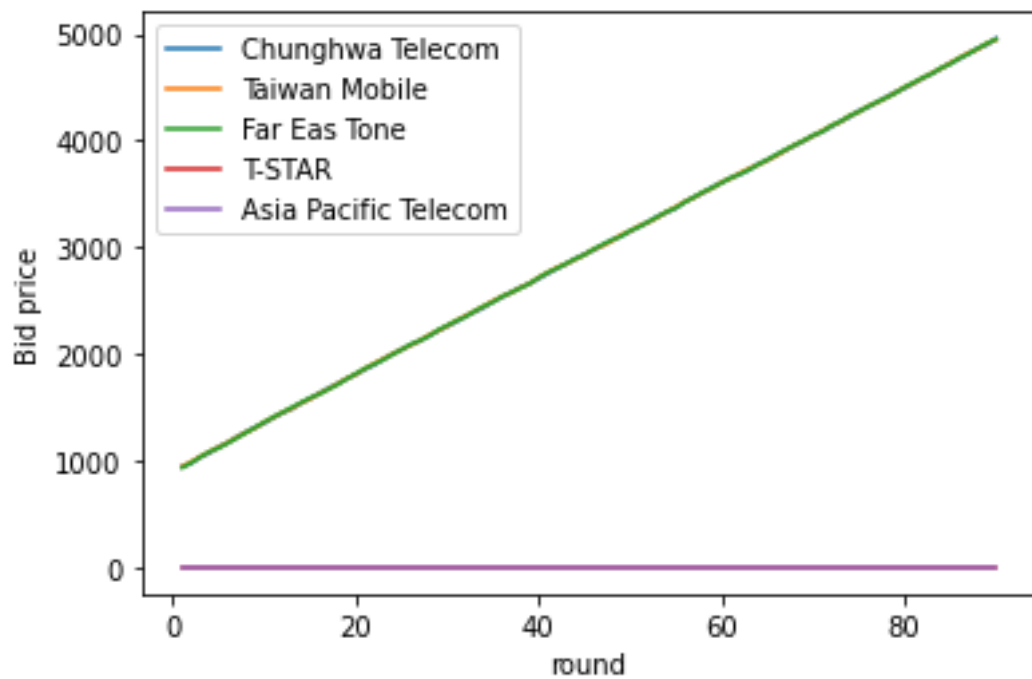


圖 17、各回合業者出價紀錄折線圖

從圖 17 中可以發現，台灣之星與亞太電信在一開始就沒有拍賣預算，因此選擇不出價；而其他三家大型業者在後續回合仍有剩餘產生(即執照評價仍為正)，因此持續加價直至拍賣結束。

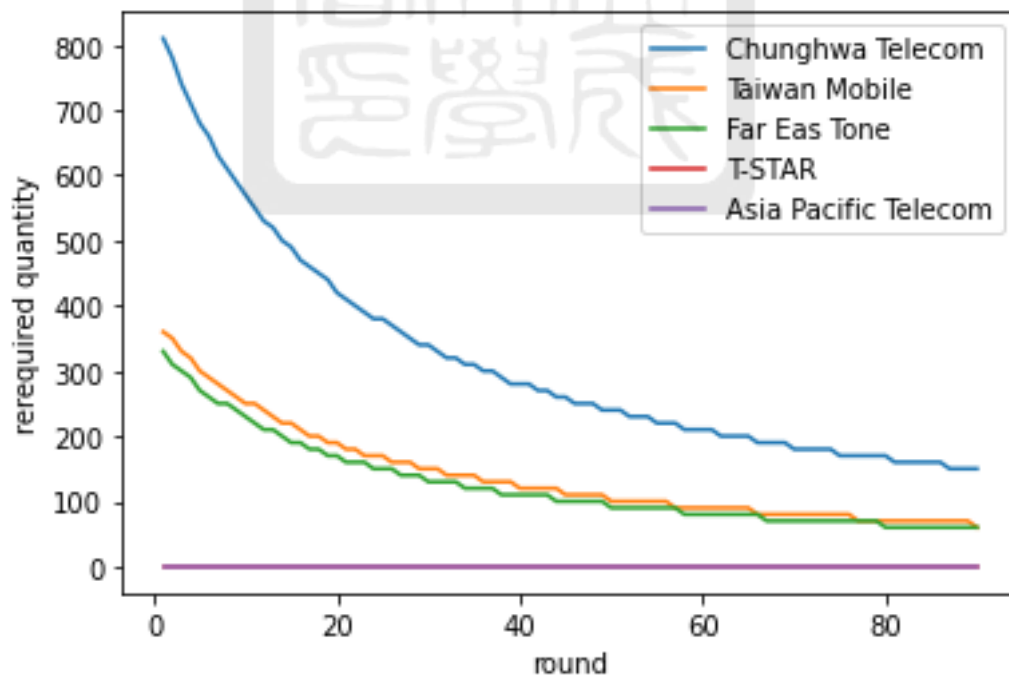


圖 18、各回合業者得標數量折線圖

從圖 18 中可發現，中華電信初始的需求量最多，台灣大哥大與遠傳電信次之，而台灣之星與亞太電信皆為 0。中華電信的用戶最多，為其創造龐大的未來業務營收，使其對執照價值的評估遠勝於其他業者，最終得標數量遠大於其他業者並持有最多的頻譜資源；而台灣大哥大與遠傳電信的用戶規模相近，致使拍賣預算相距不大，因此最終得標入數量相同；反之，台灣之星與亞太電信因用戶規模不足，營運的未來現金流量為負值，致使拍賣預算為 0 而無法投標，因此為了能提供現有客戶足夠的網路容量，必須建立更多的基地台，以共享基地台的方式與得標數量較多的業者尋求共同營運網路的機會。

5.2.2 模擬結果與真實結果比較分析

表 20、實際結果與模擬結果

業者	中華電信	台哥大	遠傳電信	台灣之星	亞太電信
實際得標數量	90 MHz	60 MHz	80 MHz	40 MHz	0
實際總得標價格 (億元)	456.75	304.5	406	197.08	0
模擬得標數量	150 MHz	60 MHz	60 MHz	0	0
模擬總得標價格 (億元)	744.9	297.96	297.96	0	0

從表 20 中可以發現，在最終價格方面，實際結果每 MHz 的執照得標價為 5075 十萬元，中華電信總花費 456.75 億元；台哥大總花費 304.5 億元；遠傳電信總花費 406 億元；台灣之星總花費 197.08 億元；而模擬結果每 MHz 的執照得標價為 4966 百萬元，中華電信總花費 744.9 億元；台哥大總花費 297.96 億元；遠傳電信總花費 297.96 億元。在得標數量方面，實際結果與模擬結過差異較大的為中華電信與台灣之星得標數量。

以模擬角度分析，是以業者將所有執照拍賣預算全數用光以取得越多的頻譜資源為目的；但從現實層面分析，行動業務營收決定業者的投標能力，用戶數越多的業者越具備競價能力，再者，分析業者可能投入建置的基地台成本後，可推論業者只需拍得一定數量的頻段(實際中華電信最終只投標 90 單位)並配

合特定基地台密度即可達成業者的目標網路容量，因此不需過度出價以取得更多的頻譜資源。且在未來也將釋出更多頻譜執照供業者進行投標，因此在第一波拍賣中，既使特定業者未標得目標頻段數量也有機會在未來後續的拍賣中取得額外的頻譜資源，導致各業者不會過度出價。

台灣本身就屬地狹人稠、基地台場地建置與租賃費用較高的國家，各業者為搶進市佔率本就可能產生激烈的競爭行為，但從行動業務營收角度分析，大型電信業者中華電信、台灣大哥大、遠傳電信在營運年限中都可賺取超額利潤，說明台灣執照競拍所花費的成本並無遠超過實際執照價值。

5.3 第二波釋照模擬參數設定

此節將模擬第二波釋照拍賣，將各業者的各項資料進行統整以獲取各業者的行動業務與 NB-iot 業務營收、iot 基地台建置與維護成本、頻譜使用費，最後再算出各業者對執照的評價以分析第二波釋照拍賣。其中，台灣大哥大合併台灣之星；遠傳合併亞太，因此台灣大哥大與遠傳以合併方式計算營收與成本。

預計數發部將釋出頻段區間為 3570~4000MHz(共 430MHz)，同樣以 SMRA 制拍賣決定每回合價格，再比對總需求量與總供給量決定拍賣是否繼續。

預計參與業者為中華電信、遠傳電信(合併亞太)、台灣大哥大(合併台灣之星)，並假設業者依照市占率(現有行動網路用戶數)競標頻段數量。

5.3.1 營運業務營收

第二波釋照將使各業者能經營行動業務的網路規模擴大，更多的執照頻段能用於經營原有的 5G 行動通訊業務以增價服務品質，同時能導入 NB-iot 業務。原有的 5G 行動通訊業務在第二波釋照後使業者能有更多的頻段服務原有的行動通訊業務，而第二波釋照預計將釋出 430MHz 的頻段數量，假設第二波釋照會在第一波釋照經營第 5 年後發生，且各業者在取得新的頻段後會將行動業務的使用者平均分流。

各業者行動通訊用戶數將參考前列表 8 中的用戶變動資料，第一波釋照的頻段將服務 33%的使用者，而第二波釋照頻段將服務 66%的使用者，因此在第 1 至 15 年經營時各業者第二波的行動業務營收比率為 66%，但在第 16 年後，第一波執照將到期，剩餘用戶將全數導流至第二波釋照所開放的頻段，營收比

率將回歸 100%，並且假設行動通訊業務每月將向使用者收取 499 元的月租費，最後依照台灣中央銀行通告的年利率 1.5% 進行折現，第二波釋照各業者行動通訊業務營收由表 21 所示：

表 21、第二波釋照各業者行動通訊業務營收

單位:萬元	中華電信	台灣大哥大	遠傳電信	營收比率
1	2142439.1	1786189.1	1642262.3	62%
2	2351668.4	1960627.0	1802644.7	62%
3	2667859.1	2224240.7	1242268.2	62%
4	2854499.5	2379846.0	2188084.1	62%
5	2957566.2	2465774.6	2267088.7	62%
6	2361500.6	1968824.3	1810181.5	62%
7	1652915.0	1378064.1	1267023.2	62%
8	851618.9	710009.6	652798.8	62%
9	738628.4	635225.8	569980.9	62%
10	695175.1	579579.7	532878.6	62%
11	662071.6	551980.6	507503.4	62%
12	588508.1	490649.4	451114.1	62%
13	560483.9	467285.2	429632.5	62%
14	495666.0	413245.4	379947.2	62%
15	472062.8	393567.0	361854.4	62%
16	254441.9	192847.9	177308.7	100%
17	137144.2	94495.4	86881.3	100%
18	73920.7	46302.8	42571.8	100%
19	39843.3	22688.4	20860.2	100%
20	21475.5	11117.3	10221.5	100%
總營收	22579488.3	18772560.2	16443105.9	
單位:萬元				

NB-iot 營收主要受業者擁有多少 E.164 字首之物聯網門號數而定，參考國家通訊傳播委員會準備釋出的門號數資訊，預計釋出 1350 萬個互聯網專用門號，並假設業者依照市佔率分配門號數，門號資料如表 22 所示：

表 22、各業者持有 NB-iot 門號數量預估

中華電信 台灣大哥大 遠傳電信			
NB-iot 門號數			
	489.9	448.5	412.3
單位:萬戶			

參考表 8 中的行動用戶變動資料後，有鑑於目前能實際使用到 NB-iot 技術的相關商業應用尚未成熟，各業者在初期的門號數增長較慢，但隨著 NB-iot 應用逐漸成熟，後續將爆發性增長，國家通訊委員會將釋出更多的物連網專用門號數，本研究參考國家通訊委員會 5G 與 IOT 未來規劃應用，假設在營業 8 年後會將 E.164 字首之物聯網門號數全數用完，後續將逐漸釋出多於原先數量的專用門號數。初期參考先前 3G 與 4G 用戶數資料假設成長率，後期參考國家通訊委員會規劃假設成長率，最後以市佔率換算各業者 NB-iot 門號數，資料如表 23 呈現：

表 23、各業者 NB-iot 門號數量假設

年度	門號成長率	中華電信	台灣大哥大	遠傳電信
1	3%	14.7	13.4	12.4
2	14%	68.5	62.7	57.7
3	36%	176.1	161.3	148.4
4	59%	288.6	264.3	243.3
5	81%	396.2	362.9	334.0
6	91%	445.1	407.7	375.2
7	99%	484.2	443.6	408.2
8	239%	1168.9	1070.8	985.4
9	524%	2562.8	2347.8	2160.5
10	731%	3575.2	3275.2	3013.9
11	1112%	5438.6	4982.3	4584.8
12	1678%	8206.8	7518.3	6918.4
13	2145%	13630.7	12487.2	11490.8

14	2787%	13630.7	12487.2	11490.8
15	3147%	15391.3	14100.1	12975.1
16	3789%	18531.2	16976.6	15622.0
17	4152%	20306.6	18603.0	17118.7
18	4678%	22879.2	20959.8	19287.4
19	4976%	24336.6	22295.0	20516.0
20	5098%	26775.4	24885.2	21709.3
單位:萬戶				

並假設因初期業務發展較緩慢，各業者向 NB-iot 業務使用者每月收取費用將較高，前 7 年每月向收使用者收取每門號 49 元的月租費，以維持經營，但隨著業務成熟後將爆發性增長，後續改採取薄利多銷策略，第 8 年後改以每月向收使用者收取 9 元的月租費，並依照台灣中央銀行通告的年利率 1.5% 進行折現，將各業者的 NB-iot 業務折現營收以表 24 呈現：

表 24、NB-iot 業務營收試算

年度	中華電信	台灣大哥大	遠傳電信
1	8216.5	7527.2	6926.6
2	36518.0	33454.4	30785.1
3	85173.1	78027.8	71801.9
4	132942.2	121789.4	112071.8
5	165545.4	151657.4	139556.7
6	177126.8	162267.2	149319.9
7	183522.3	168126.2	154711.3
8	77501.2	70999.5	65334.4
9	161827.6	148251.5	136422.5
10	215005.4	196968.2	181252.0
11	311492.5	285360.7	262591.7
12	447657.1	410102.1	377380.0
13	708110.7	648705.7	596945.3

14	708110.7	648705.7	596945.3
15	799578.1	732499.8	674053.5
16	962695.1	881932.5	811562.9
17	1054924.8	966424.9	939313.6
18	1188569.0	1088857.3	1051977.2
19	1264283.7	1158220.2	1065805.5
20	1384152.6	1254327.3	1189752.4
總營收	8304540.6	7607854.4	7300822.2
單位:萬元			

5.3.2 基地台維護成本與增置成本

第一波釋照已建置完整的 5G 基地台可給予第二波執照的營運活動進行協助，但在第二波執照服務期間需投入維護成本以確保基地台能正常運作，因此本研究假設第二波基地台維護成本為第一波 5G 基地台建成本的 50%，各業者基地台維護成本推估(台灣大哥大合併台灣之星，遠傳合併亞太)依表 25 所示：

表 25、各業者第二波基地台維護成本推估

	中華電信	台灣大哥大	遠傳電信
第一波建置成本	16064235.4	12196319.5	12340020.8
第二波維護成本	8032117.7	6098159.7	6170010.4
單位:萬元			

隨著 NB-iot 業務的加入與行動通訊服務的服務頻段的增加，將使核心網路擴大，原先基地台內部的基頻單元(Base-Band unit, BBU)與接受單元(Radio unit, RU)的數量將無法負荷，因此需增建其數量。本研究假設 BBU 與 RU 依照不同大小的基地台有不同的造價，為原先基地台的 50%，即大型基地台 BBU 與 RU 增置成本為 250 萬新台幣，中型基地台 BBU 與 RU 增置成本為 120 萬新台幣，小型基地台 BBU 與 RU 增置成本為 40 萬新台幣，而 BBU 占比維持原先的基地台類型，BBU 與 RU 比例與售價如表 26 所示：

表 26、BBU 比例與售價

	Macro 內部 BBU 與 RU	Micro 內部 BBU 與 RU	Pico 內部 BBU 與 RU
占比	20%	30%	50%
增置成本	200 萬元	120 萬元	40 萬元

同時假設 BBU 與 RU 增置與表 15 中原先 5G 基地台建置數量相同，並且台灣大哥大與遠傳電信在合併後不再額外吸收台灣之星與亞太電信的增置成本，只吸收兩業者的用戶規模。各業者的 BBU 與 RU 增置數量以表 27 表示：

表 27、各業者 5G 基地台數量推估

	中華電信	台灣大哥大	遠傳電信
Macro BBU 與 RU	18445	14004	14169
Micro BBU 與 RU	27667	21006	21253
Pico BBU 與 RU	46113	35010	35422
總增置數量	92225	70020	70844
單位：萬台			

並假設各業者也分 8 年將所需 BBU 增置完畢，初期增置數量將較多並逐漸遞減，比率參考過往 4G 基地台建置資料，同時假設各 BBU 售價會依照時間、技術進步等因素逐漸下降，每年價格將下降 10% 的幅度，最後再依照台灣中央銀行通告的年利率 1.5% 進行折現，將各業者 BBU 增置成本以表 28 所示：

表 28、各業者 BBU 增置成本

年度	中華電信	台灣大哥大	遠傳電信	建置比率	售價比率
1	3098793.6	2352672.0	2380392.0	35%	100%
2	1517776.5	1152329.1	1165906.3	20%	90%
3	975713.4	740783.0	749511.2	15%	81%
4	550667.2	418078.6	423004.5	10%	72%
5	361284.3	274295.0	277526.8	8%	62%
6	180364.7	136936.8	138550.2	5%	52%

7	113636.3	86275.2	87291.7	4%	43%
8	62292.3	47293.7	47850.9	3%	33%
總增置成本	6860528.3	5208663.4	5270033.7		
單位:萬元					

最後將基地台維護成本與 BBU 增置成本進行加總，各業者第二波執照的建置成本投入如表 29 所示：

表 29、第二波執照的建置成本

	中華電信	台灣大哥大	遠傳電信
維護成本	8032117.7	6098159.7	6170010.4
增置成本	6860528.3	5208663.4	5270033.7
總維護與增置成本	14892646	11306823.1	11440044
單位:萬元			

5.3.3 軟體使用成本

第二波釋照下，各業者仍需電信設備供應商提供軟體服務，此處衡量的成本有遠端控制基地台、用戶軟體使用成本花費等，本研究假設軟體使用成本為第二波執照的建置成本 20 年平均的 10%，並依照台灣中央銀行通告的年利率 1.5% 進行折現，各業者第二波軟體使用成本推估如表 30 所示：

表 30、各業者第二波軟體使用成本推估

年度	中華電信	台灣大哥大	遠傳電信
20 年平均成本	857566.0	651082.9	658754.2
1	85756.6	65108.3	65875.4
2	84489.3	64146.1	64901.9
3	83240.7	63198.1	63942.8
4	82010.5	62264.2	62997.8
5	80798.5	61344.0	62066.8
6	79604.5	60437.4	61149.5
7	78428.0	59544.3	60245.9
8	77269.0	58664.3	59355.5

9	76127.1	57797.4	58478.3
10	75002.1	56943.2	57614.1
11	73893.7	56101.7	56762.7
12	72801.6	55272.6	55923.8
13	71725.7	54455.8	55097.4
14	70665.8	53651.0	54283.1
15	69621.4	52858.1	53480.9
16	68592.5	52077.0	52690.6
17	67578.9	51307.4	51911.9
18	66580.2	50549.1	51144.7
19	65596.2	49802.1	50388.9
20	64626.8	49066.1	49644.2
總軟體成本	1297608.8	985173.0	996780.7
單位:萬元			

5.3.4 營運成本

第二波執照仍將產生同第一波執照的營運成本，假設行動通訊業務與 NB-iot 業務仍占總營運成本的 45%且同樣參考 2021 年時的營運成本資料，同時考慮到未來第一波執照將有營運結束時的情況，成本比率在 1 至 15 年時成本比率為 62%，第 16 年之後因第一波執照到期，成本比率回升至 100%，並依照台灣中央銀行通告的年利率 1.5%進行折現，各業者的營運成本推估如表 31 所示：

表 31、各業者的營運成本

單位:萬元	中華電信	台灣大哥大	遠傳電信	成本比率
1	357773	248549	236403	62%
2	352486	245024	232909	62%
3	347278	241551	229468	62%
4	342145	238129	226076	62%
5	337089	234757	222735	62%
6	332107	231436	219443	62%
7	327199	228164	216201	62%
8	322363	224940	213005	62%

9	317600	221763	209858	62%
10	312906	218634	206756	62%
11	308282	215550	203701	62%
12	303726	212512	200690	62%
13	299237	209520	197725	62%
14	294815	206571	194803	62%
15	290458	203666	191923	62%
16	461558	317749	304980	100%
17	454737	313201	300473	100%
18	448016	308720	296032	100%
19	441396	304305	291657	100%
20	434872	299956	287347	100%
總成本	7086045	6724698	4682186	
單位:萬元				

5.3.5 業者對第二波拍賣的執照評價

將各業者的行動通訊業務營收、NB-iot 業務營收、基地台建置與成本、軟體使用成本以及頻率使用費成本代入第(6)式即可獲得各業者對執照的評價，即是他們最大願意付出的拍賣成本，也可視為各業者對執照的拍賣預算，各業者對第二波釋照的執照評價依表 32 所示：

表 32、各業者對 NB-iot 執照的評價

	中華電信	台灣大哥大	遠傳電信
行動通訊業務營收	22579488.3	18772560.2	16443105.9
NB-iot 業務營收	8304540.6	7607854.4	7300822.2
維護與增置成本	14892646	11306823.1	11440044
軟體使用成本	1297608.8	985173.0	996780.7
營運成本	7086045	6724698	4682186
$v_i(S_k)$	7064186.3	6951051.2	6207385.4
單位:萬元			

5.4 第二波釋照模擬結果

此節將各業者對執照的評價放入程式中，並設計拍賣規則並模擬各業者投標，最後預測第二波釋照拍賣結果以及圖表。

程式執行後將先開啟拍賣圖形介面，如圖 19 所示。在該介面中，可以輸入各業者的拍賣預算，單位為百萬元，並設置開始模擬之按鈕，將 4.3.5 節求得之各業者對執照的評價輸入圖形介面並開始模擬。



第二波釋照拍賣模擬

請輸入各業者預算(以100萬為單位)

中華電信:	70641
台灣大哥大:	69501
遠傳電信:	62073

開始模擬

圖 19、第二波釋照拍賣圖形介面

開始模擬後，將顯示最後 5 回合的拍賣結果，如圖 20 所示，包含各業者的出價紀錄、當回合的得標價格、各業者需求數量與總得標單位數，並在最下方設置各回合出價紀錄折線圖以及得標數量折線圖的按鈕，如圖 21、22 所示，將各回合廠商出價的變動與需求數量的變動使用折線圖記錄。

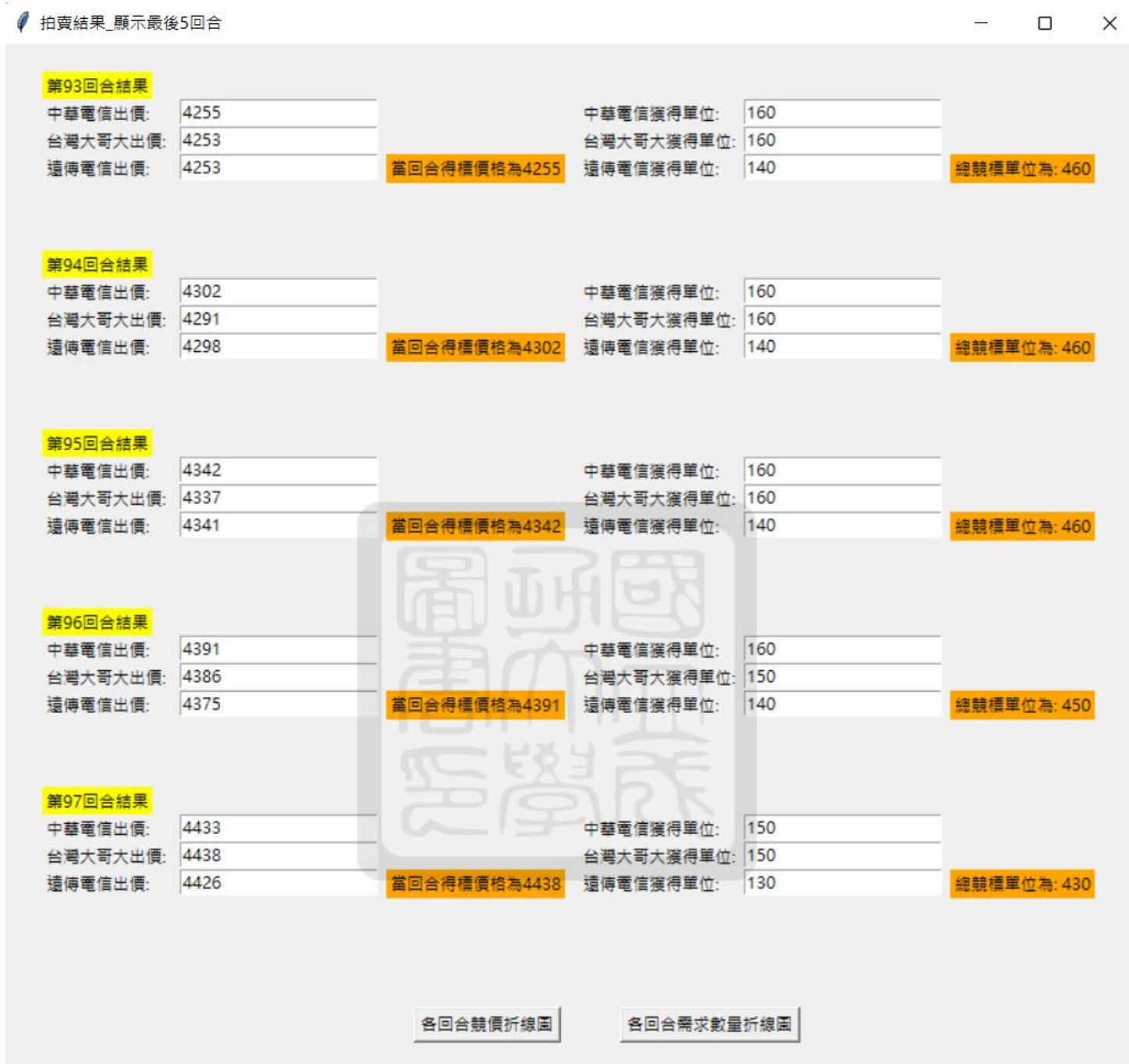


圖 20、第二波釋照拍賣結果

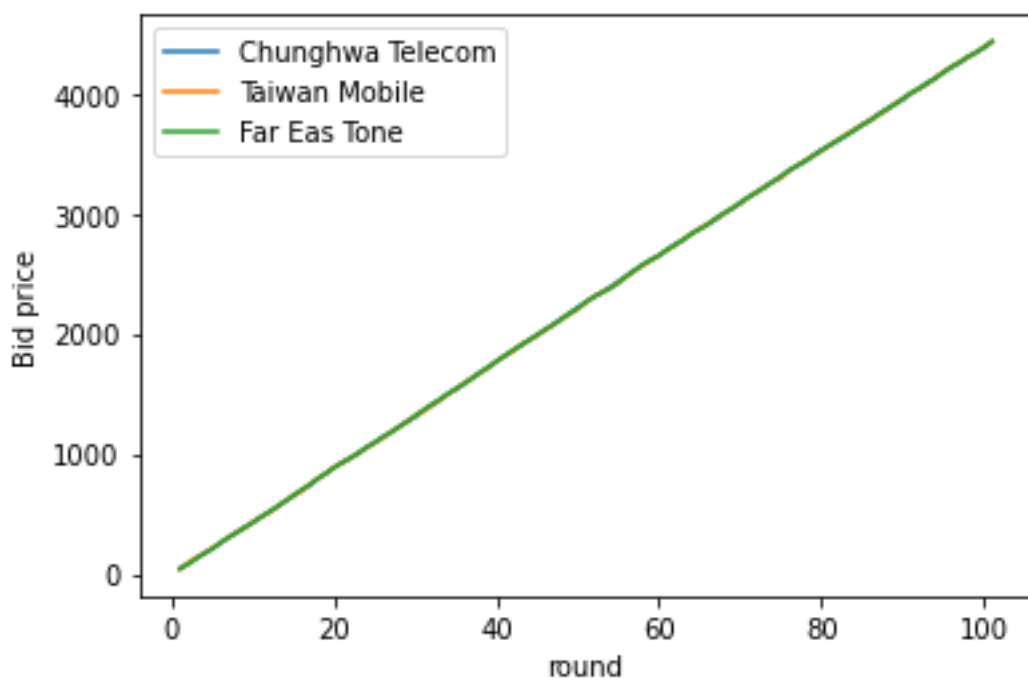


圖 21、第二波釋照各回合出價紀錄折線圖

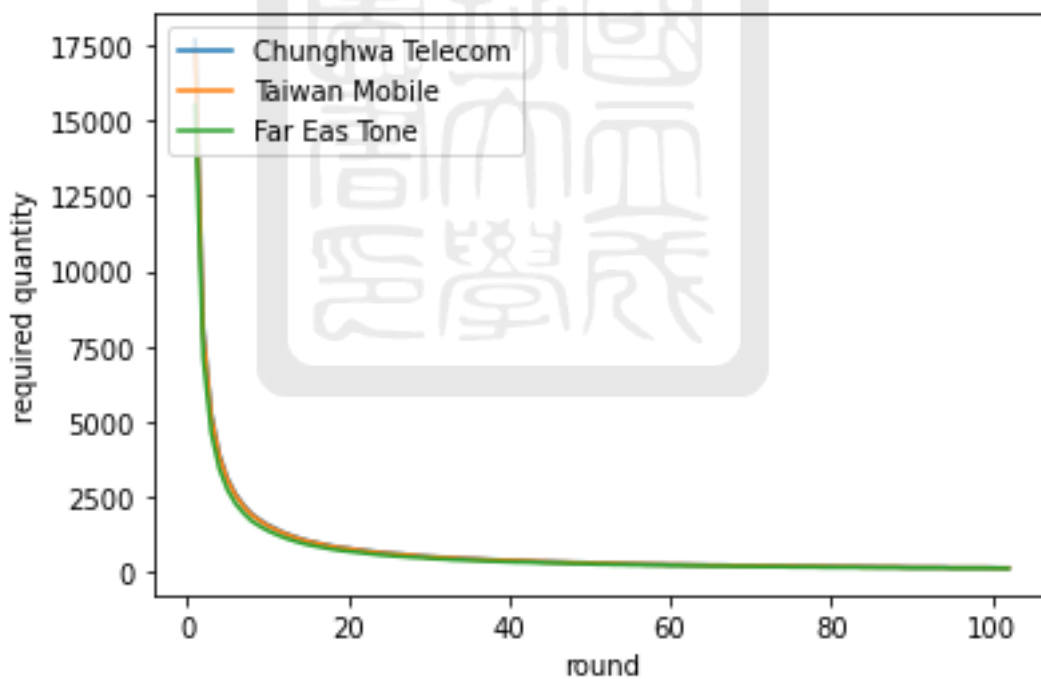


圖 22、第二波釋照各回合需求數量紀錄折線圖

從圖 21 中可發現，三家大型業者未來營運的現金流量皆為正，直至拍賣結束為止皆持續出價，因此為斜直線；從圖 22 中可發現，三家業者各回合的需求單位數量相近。

最後拍賣結果彙整於表 33。最終每 MHz 得標價格為 4438 十萬元，並從表 33 可觀察出，中華電信最終將花費 665.78 億元標得 150MHz；台灣大哥大也花費 657.53 億元標得 150MHz；而遠傳最終花費 576.94 億元標得 130MHz。因第二波釋照的參與者將併購小型業者，其中，台灣大哥大將合併台灣之星，用戶數將逼近中華電信，而遠傳合併亞太，整體電信市場規模差異性將縮小，最終模擬結果三家業者相近。

但模擬結果仍受到限制，因模擬是以業者將全數拍賣預算用以投標，以拍得越多執照數量為目的，因此同第一波模擬的結果，使最終得標價格將高於實際情況；而模擬得標數量主要受到業者市場規模而定，若未來三大業者市場規模如本研究假設相似，則模擬結果將與實際結果差異不大。

表 33、模擬得標價格與得標數量

業者	中華電信	台灣大哥大	遠傳電信
模擬總得標價格 (億元)	665.78	657.53	576.94
模擬得標數量	150 MHz	150 MHz	130 MHz

第六章 結論與建議

6.1 研究結果

本研究達成以下目標：

首先，回顧了不同類型的執照拍賣方式(多回合上升拍賣、價格鐘拍賣)、有關 5G 頻段拍賣(美國、英國)的經驗以及台灣過往的拍賣經驗，並使用 SMRA 制度中的最佳回應策略—直接競標法為程式模擬的基礎，算出各業者對執照的評價；再將 SMRA 與 CCA 制度中的拍賣結束條件作為模擬終止條件。

次者，以蒐集資料或推估的方式得出各業者的行動通訊業務與 NB-iot 業務營收、基地台建置成本、軟體使用成本、營運成本。

最後將模擬拍賣結果以數值與圖表呈現於圖形使用者介面中，並將第一波釋照的模擬結果與實際結果進行對比，討論兩者之間產生差異的原因，其中，模擬的每 MHz 得標金額與實際結果相距不大，表示相關頻譜價值參數具參考價值；但實際得標的頻譜數量相差較大，其中，中華電信在模擬結果中標得 150MHz 但實際結果僅 90MHz，推論因程式是以用完所有預算為優先，而實際上中華電信可能保留預算用於其他資產投資上；而台灣之星在未來推估現金流部分為負值，理應沒有預算參與拍賣，但頻譜執照仍有其資產價值，推論台灣之星的拍賣預算來源可能以貸款或籌資的方式。

沿用第一波預測的頻譜價值參數用於第二波釋照的預測後發現，因未來小型業者將被大型業者併購，因此三家大型業者的拍賣預算相近，導致最後市場規模均分的結果，並且第二波模擬的每 MHz 得標金額小於第一波釋照，符合過往台灣執照的拍賣經驗，模擬結果具正確性。

6.2 研究限制與可改進方向

本研究存在以下限制與可改進方向：

5G 行動業務營收試算參考過去 3G 與 4G 行動網路業務營運經驗，未來有可能因科技進步更為快速，加速新世代通訊技術商業化應用的問世，使黃金執業年限縮短，進而導致高估營收。

業者收取的行動通訊業務月租費在本研究假設為 999 元，並在第一波執照

營運第 10 年後以每年 5% 價格下跌，並假設最低月租費為 499 元，但有可能在後續各業者搶佔市占率的情況下使月租費下降幅度增加，行動通信業務總營收有高估的可能。

由於 NB-iot 商業化模式還未真正普及，月租費有高估或低估的可能。且 NB-iot 的基地台與規格無從得知，有高估或低估建置與維護成本的可能。

有鑑於無法取得 5G 基地台各規格的實際廠商報價，在推估基地台建設成本時可能存在誤差，有高估或低估建置成本的可能。

三種不同解決方案的 5G 基地台的服務半徑也無從得知，使推測各業者未來可能興建的基地台數量也可能產生誤差，如服務半徑可能比推測更大，兩倍數量即可完成覆蓋率，導致建置成本高估。

因無法得知基地台服務半徑，進而無法推測業者的目標網路容量，若能推測出網路容量即可在模擬規則中增加限制條件，使模擬結果更為精準。

本研究並無考慮基地台的安裝成本與土地租賃或使用成本導致整體成本可能低估，且並無考慮基地台產生之電費相關費用。無法得知具體的軟體使用成本，可能有高估或低估成本的風險。

未來數位發展部會有可能釋出更多物連網專用門號提供業者進行業務，因此總營收有低估的可能。同時，未來 3GPP 新協定的推出可能使第二波釋照的頻段有其他應用產生，不只僅限於 NB-iot，營收有低估的可能。

參考文獻

- [1] 3GPP, “Release 15,” 2019.
[Online]. Available: <https://www.3gpp.org/release-15>
- [2] 行政院, “台灣 5G 行動計畫, ” 2019.
[Online]. Available: <https://digi.ey.gov.tw/File/76CD1E43C2424FF8>
- [3] J. Peisa, P. Persson, S. Parkvall, E. Dahlman, and A. Grøvlén, “5G Evolution: 3GPP Releases 16 & 17 Overview,” Ericsson Technology Review, 2020.
- [4] C. Bazelon and G. McHenry, “Spectrum Value,” Telecommunication Policy, volume 37, issue 9, 2013.
- [5] FCC, “Report and Order and Order. FCC Docket,” 2004.
- [6] W. Zarakas, “Letter to the Honorable Joe Barton, Chairman, Committee on Energy and Commerce, US House of Representatives, estimating how much revenue the US Treasury would receive if the Federal Communications Commission auctioned 60 MHz of spectrum in the 700 MHz (TV) band that the FCC has allocated for commercial use,” Brattle Group, 2005.
- [7] M. Cavea and R. Nicholls, “The Use of Spectrum Auctions to Attain Multiple Objectives: Policy Implications,” Telecommunication Policy, volume 41, issues 5–6 , 2017.
- [8] M. Cavea and N. Pratt, “Taking Account of Service Externalities When Spectrum Is Allocated and Assigned,” Telecommunication Policy, volume 40, issues 10–11, 2016.
- [9] R. Prasad, “The production function methodology for estimating the value of spectrum,” Telecommunication Policy, volume 39, issue 1, 2015.
- [10] P. Cramton and J. Schwartz, “Collusive Bidding in the FCC Spectrum Auctions,” Contributions in Economic Analysis & Policy, volume 1-1, pages 1-20, 2002.
- [11] T. Hazlett, “Market allocation of radio spectrum,” ITU Workshop, Geneva, January 22-23, 2007.
- [12] T. Hazlett and R. Muñoz, “A Welfare Analysis of Spectrum Allocation Policies,” The RAND Journal of Economics, volume 40, pages 424-454 , 2004.
- [13] P. Milgrom, “Putting Auction Theory to Work: The Simultaneous Ascending Auction,” Journal of Political Economy, volume 108, pages 245-272, 2000.
- [14] P. Klemperer, “Auctions: Theory and Practice,” Centre for Economic Policy Research, 2004.
- [15] P. Milgrom, “Putting Auction Theory to Work,” Cambridge University Press, 2004.
- [16] P. Cramton, “The FCC Spectrum Auctions: An Early Assessment,” Journal of Economics and Management Strategy, volume 40, pages 431-495, 1997.

- [17] P. Cramton, “Ascending auctions,” *European Economic Review*, volume 42, issues 3–5, 1998.
- [18] C. Brunner, J. Goeree, C. Holt, and J. Ledyard, “An Experimental Test of Flexible Combinatorial Spectrum Auction Formats,” *American Economic Journal: Microeconomics*, volume 2, pages 39-57, 2010.
- [19] L. Ausubel and P. Milgrom, “The Lovely but Lonely Vickrey Auction,” Stanford Institute for Economic Policy Research, Discussion Papers 03-036, 2004.
- [20] L. Ausubel and P. Milgrom, “An Efficient Ascending-Bid Auction for Multiple Objects,” *American Economic Review*, volume 94, pages 1452-1475, 2004.
- [21] 樊沁萍、許孝婷, “頻譜拍賣設計之理論與實驗研究—從 Ausubel 到 CCA, ” 管理與系統, 2014.
- [22] M. Iftekhhar and J. Tisdell, “Comparison of simultaneous and combinatorial auction designs in fisheries quota market,” *Marine Policy*, volume 36, issue 2, 2017.
- [23] K. Binmore and P. Klemperer, “The Biggest Auction Ever: The Sale of the British 3G Telecom Licenses,” *The Economic Journal*, volume 112, pages 74-96, 2002.
- [24] B. Mölleryd and J. Markendahl, “Analysis of spectrum auctions in India—An application of the opportunity cost approach to explain large variations in spectrum prices,” *Telecommunications Policy*, volume 38, pages 236-247, 2014.
- [25] L. Tong, “Structural Estimation of the Affiliated Private Value Auction Model,” *The RAND Journal of Economics*, volume 33, pages 171-193, 2002.
- [26] T. Borgers and C. Dustmann, “Strange Bids: Bidding Behavior in the United Kingdom’s Third Generation Spectrum Auction,” *University College London*, volume 115, issue 505, pages 551–578, 2002.