國立成功大學

電信管理研究所

碩士論文

評估星鏈衛星通訊服務對台灣通訊產業之影響

Assess the Impact of Starlink Satellite Communications Services on Taiwan's Communications Industry

研 究 生：簡辰亦

指導教授：陳文字 博士

中華民國一百一十一年六月

國立成功大學

碩士論文

評估星鏈衛星通訊服務對台灣通訊產業之影響

Assess the impact of Starlink satellite communications services on Taiwan' s communications industry

研究生：簡辰亦

本論文業經審查及口試合格特此證明

論文考試委員：

指導教授：

單位主管：

（單位主管是否簽章授權由各院、系（所、學位學程）自訂）

中 華 民 國 111 年 6 月 17 日

摘要

隨著網路與資通訊技術日新月異，且應用越來越廣泛，使得人們對網路的需求越來越強烈。為了滿足對於所有通信類型的巨大需求，通信衛星系統的設計正從地球靜止軌道衛星轉（Geostationary Satellite Orbits, GSO）移到非同步的低軌道衛星（Non-Geostationary Satellite Orbits, NGSO）。

如今，隨著多年來國際衛星業者投入大量資金來發展太空產業，使得衛星技術有突破性的成長，加上可重複使用的火箭的出現，衛星製造與發射的成本大幅度降低，促使國際大型衛星業者如 SpaceX、OneWeb、Amazon 與 Telesat 等相繼投入大量資源進入低軌衛星市場。其中以 SpaceX 之星鏈服務佈署最為積極，且即將進入我國市場。

因此，本研究結合情境分析法以及專家訪談以評估星鏈服務進入我國對國內通訊產業之影響。首先在通訊服務商中，使用了不確定軸面為分析架構，並產生了短期與長期兩個主要情境。其次，在通訊設備商中，本研究分為技術、國內環境，以及政府法規三大構面。並整理出低軌衛星中的設備製造將成為台灣未來的發展方向，尤其在四大產業中的衛星製造以及衛星地面設備。在頻譜管理中，本研究先整理出了可能發生干擾的情形，包含了最終用戶端上鏈訊號，以及地面收發站上鏈訊號。

在上述分析中，本論文亦加入了專家訪談。以半結構式的問卷，詢問專家們對於上述三個主題的看法，以進行分析與驗證。最終整理出星鏈服務引入我國後，對我國通訊產業雖然會造成一些衝擊，但以正面影響居多。

綜合上述，本研究希冀可以透過這份論文，提供我國不論是在通訊服務商、設備商，抑或是主管機關未來進行決策或商討時，提供些許參考方向。

關鍵字：星鏈服務、通訊服務產業、通訊設備產業、頻譜管理、半結構式訪談

Assess the impact of Starlink satellite communications services on Taiwan's communications industry

Chen-Yi Chien
Wen-Tzu Chen
Institute of Telecommunication Management
National Cheng Kung University

SUMMARY

Due to the rapid growth of technology, the need for broadband wireless networks has increased in the modern world. To meet the huge demands required for all types of communication, the design of communication satellite systems has shifted from geostationary satellite orbits to non-geostationary satellite orbits.

The international satellite industry has invested a lot of money in developing the space industry, resulting in a breakthrough in satellite technology. Furthermore, the emergence of reusable rockets has greatly reduced the costs involved in satellite launches. These reasons have prompted large international satellite operators to keep investing the Low Earth Orbit (LEO) market. Among such operators, Starlink is the most active one, and its service may soon enter Taiwan's market.

Therefore, to evaluate the impact of this market entry on the domestic communication industry, this study attempts to combine two methods of scenario analysis and expert interviews, dividing the research into three main parts: communication service providers, communication equipment providers, and spectrum management.

After the initial analysis, our study then proceeds with semi-structured expert interviews regarding the three topics mentioned above, validating the analysis described in the previous sections. Finally, the conclusion indicates that the introduction of Starlink services would have a mostly positive impact on the Taiwan communication industry.

In summary, we hope to provide some reference directions for future decisions about communication service providers, equipment manufacturers, and authorities in Taiwan.

Key Words: Starlink, communication service industry, communication equipment industry, spectrum management, semi-structured interview.

INTRODUCTION

As a complementary system for supporting terrestrial communications, satellite communications can provide network services to residents in high mountain or rural areas. In recent years, major international LEO operators such as SpaceX, OneWeb, Amazon, etc. have emerged rapidly, with SpaceX being the most active one.

SpaceX has already applied to the Federal Communications Commission (FCC) for authorization to launch and operate Non-Geostationary Satellite Orbits (NGSO) service. In terms of frequency used by Starlink, shown as in Fig.1, user link is the connection between user and satellite; gateway link is the connection between the gateway (Earth station) and the satellite.

As the Starlink service would enter into Taiwan soon, this study hopes to investigate its impacts on the domestic communication industry. The domestic communications industry can be divided into three major sectors: communications services, communications equipment, and spectrum management. First, in terms of communication services, Taiwan's telecommunication industry is an oligopoly market, with high network coverage across the land. This paper will evaluate the impact of the introduction of the Starlink service in Taiwan and discuss its possible applications. Secondly, in the satellite equipment manufacturing industry, Taiwan's Executive Yuan has approved the third phase of the "Space Technology Long-Term Development Plan", which combines domestic industries, academia, and research institutes to create a highly profitable space industry chain. However, the specific method and impact are still worth discussing. Thirdly, with regards to frequency, the National Communications Commission released 27.9-29.5 GHz for 5G mobile communication in 2020. Therefore, we may encounter the problem of interference between LEO satellites and 5G mobile communication bands in the future.

Hence, to evaluate the impact on the domestic communication industry upon Starlink's entry into Taiwan, this research combines the methods of scenario analysis and expert interviews.

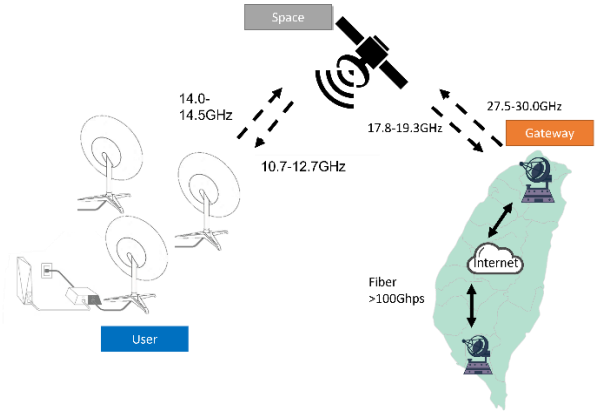


Fig. 1 - Frequency used by Starlink

MATERIALS AND METHODS

The research steps, data sources, and data collection methods for this research are shown in Table 1. The primary data source for Starlink service stems from the Federal Communications Commission (FCC) research data and is supplemented by other website, such as the Starlink's official website and related reports. In addition, secondary data analysis and expert interviews were used to collect data on the impact of Starlink on various industries in Taiwan. The interviewees were selected from those who have many years of experience in the telecom industry, as well as a high level of expertise and industry sensitivity. Semi-structured Interviews (SSIs) were used in this study.

This research conducts semi-structured interviews with experts and then evaluate the impact of Starlink in Taiwan in regards to domestic communications services and the equipment industry. The first and second steps of the scenarios analysis are used as the structure of the semi-structured interviews.

Table 1- List of research steps, data sources and methods.

NO	Research Steps	Data Sources	Methods
1	The service characteristics and benefits of the starlink .	Secondary Data	Literature Review + Interview
2	Current status of domestic communications industry.	Secondary Data	Literature Review + Interview
3	Scenario	Secondary Data	Literature Review
4	Expert interviews and validations	Interviewed Experts	Interview
5	Result analysis	Primary + Secondary Data	Literature Review + Interview

As shown in Table 2, according to the purpose of this study, the decision topic is "to assess the impact of satellite communication services on Taiwan's communication industry". The time frame of the general situational analysis is most suitable for a ten- to twenty-year period. However, due to the communication is an industry prone to high levels of environmental change, this study considers a five-year period. The impact can be divided into three sectors: domestic telecommunication service, equipment industry, and signal interference to existing stations

The interview process is conducted via either face-to-face or online video interviews. Each expert was interviewed for 45-60 minutes. The experts we interviewed have more than 10 years of experience in the organization in positions related to the communications industry.

Table 2- The decision point and background of the scenario.

Define the issue	「Assess the impact of Starlink satellite communications services on Taiwan's communications industry」
Content	**Illustrate**
Period	2021~2026，5 Years
Scope	Taiwan's communication industry
Factors	Taiwan's communication service industry.
	Taiwan's communication equipment industry.
	Frequency management

RESULT AND DISCUSSION

First, in the case of communication service providers, the uncertainty axis was used as the analysis framework. Then, the core competencies of the star chain services were compiled, with the possible future development scenarios being presented for both scenarios. Second, among the communication equipment providers, this study was divided into three major sectors: technology, domestic environment, and government regulations. It was also concluded that equipment manufacturing in LEO ground equipment might be involved in future developments in Taiwan. In terms of spectrum management, this study lists the possible interference scenarios. Since the frequency used by LEO gateway overlaps with part of the 5G frequency bands, the problem in this area may be more serious than the user link. We can observe that the Starlink service may have somewhat of a negative impact on the spectrum management in Taiwan. However, the service may also enhance the efficiency of spectrum utilization. After the above analysis, the researcher presented a semi-structured questionnaire to reference the experts' opinions. The conclusion is that the introduction of Starlink services in Taiwan can have somewhat of an impact on the communication industry in China, but this impact may be mostly positive.

CONCLUSION

To evaluate the impact on the domestic communication industry when Starlink enters Taiwan, this study combined the dual methods of scenario analysis and expert interviews, with the analysis being broken into three main sectors: communication service, communication equipment, and spectrum management. After this main analysis, the paper then proceeded with expert interviews. A semi-structured questionnaire was used to ask the experts for their opinions on the three topics mentioned above, and we validated the analysis described in the previous sections. Finally, the conclusion is that the introduction of Starlink services in Taiwan can have somewhat of an impact, but it may be mostly positive. In summary, we hope to provide some reference directions for future decision about communication service providers, equipment manufacturers, and authorities in Taiwan.

致謝

歲月如白駒過隙，一轉眼就要從研究所畢業了。回想自大學畢業的兩年多間，由於一路都有貴人的相助，才能從最初對人生與職涯的方向感到疑惑，逐步早至今日。對於即將離別台南這個美食之都的我來說，除了滿滿的不捨，便是萬分的感謝。

首先，要誠摯的感謝我的指導教授陳文字老師。老師不因我並非理工背景的學生便將我拒之門外，反而將因材施教四字發揮的淋漓盡致。在研究所的兩年中，不論是在系上課堂中，或者每次的研究室會議，老師皆不厭其煩地為我們解惑。使原先對於技術一竅不通的我，如今可以學習到通訊領域的皮毛。除了專業領域，老師也時常常分享為人處世之觀念，透過故事讓我們省思自身有所不足之處，真的非常謝謝老師。

其次，要感謝的是三位口試委員高凱聲教授、林珮珺教授，以及盧筱涵教授。承蒙他們在論文口試中認真審閱並給予許多寶貴建議，才使得本論文內容更加完善。再來，要感謝論文中應邀接受專訪談的專家們，有了他們的想法與意見，才使的本研究內容更加豐富與扎實。除此之外，還要謝謝 Lab402 的夥伴以及其他實驗室的同學們，讓我有一個多采多姿的研究生生活，補足了大學總是宅在宿舍的缺憾。

最後，由衷感謝我的家人，不僅為我的求學之路一路開著綠燈，可以毫無後顧之憂地專注在念書這件事上，也在考研究所上這件事上不斷的鼓勵，才使得我沒有錯失這段旅程。

簡辰亦　謹致

國立成功大學電信管理研究所

中華民國 111 年 6 月

目錄

第一章 緒論 1
1.1 研究背景與動機 1
1.2 研究目的 4
1.3 研究架構 5
第二章 背景回顧與文獻探討 6
2.1 低軌衛星 6
2.1.1 非地球同步軌道衛星 7
2.1.2 國際低軌衛星發展情況 7
2.1.3 SpaceX 的 Starlink 衛星系統 8
2.1.4 Amazon 的 Kuiper 衛星系統 8
2.1.5 OneWeb 的 LEO 衛星系統 9
2.1.6 Telesat 的 Lightspeed 衛星系統 9
2.1.7 低軌衛星業者比較 10
2.2 SpaceX 的 Starlink 商業模式 10
2.3 SpaceX 之 Starlink 資費方案 11
2.4 星鏈（Starlink）通訊架構 12
2.4.1 星鏈通訊架構概述與使用頻段 12
2.4.2 以固定網路為核心的運作模式 13
2.4.3 衛星 13
2.4.4 地面收發站 15
2.4.5 終端用戶設備 16
2.5 Starlink 目前網路速度實測情況 18
2.6 各國在低軌衛星與 5G 通訊干擾處理方式 20
2.6.1 美國 20
2.6.2 英國 22
2.6.3 澳洲 24
2.7 台灣 28GHz 頻段干擾情形 26
2.8 台灣通訊服務現況 26
2.8.1 行動通訊網路服務 27
2.8.2 固定通訊網路服務 28
2.9 台灣衛星設備商 30
2.10 文獻探討 31
第三章 研究方法 35
3.1 研究步驟 35
3.2 情境分析法(Scenario) 36
3.2.1 情境分析法適用時機 36

3.2.2 情境分析法步驟.....36
3.3 專家訪談法.....37
3.3.1 半結構化訪談(Semi-structured Interviews ,SSIs).....38
3.3.2 訪談對象.....38
3.4 本研究之情境分析初步操作與問卷設計.....38
3.4.1 認定議題焦點.....38
3.4.2 認定關鍵議題因素.....39
3.4.3 訪談方式.....40
第四章 分析與驗證.....42
4.1 三大議題焦點面向分析.....42
4.2 通訊服務商影響分析.....42
4.2.1 選擇不確定軸面.....42
4.2.2 選擇不確定情境.....43
4.2.3 情境內容.....56
4.2.4 星鏈服務核心競爭力.....57
4.2.5 分析情境及策略建議.....59
4.3 通訊設備商影響分析.....62
4.3.1 構面分析.....63
4.3.2 技術構面.....63
4.3.3 國內衛星產業發展環境構面.....66
4.3.4 政府法規構面.....68
4.3.5 市場預期產值.....70
4.4 頻譜管理影響分析.....76
4.4.1 可能發生的干擾情形.....77
4.4.2 最終用戶端上鏈.....77
4.4.3 地面收發站上鏈.....78
4.4.4 主管機關頻譜管理評估.....80
4.5 總體評估.....86
第五章 結論.....88
5.1 研究結論.....88
5.2 研究限制與後續研究建議.....89
參考文獻.....**91**

表目錄

表 1　低軌衛星廠商比較 10
表 2　各國 SpaceX 資費方案 11
表 3　各國 Starlink 實測與固網下載速度比較表 20
表 4　FCC 授權 SpaceX 使用頻段之和諧共存處理方式 21
表 5　國內各大電信業者 4G/5G 費率 28
表 6　國內各大電信商之光世代網路費率 30
表 7　台灣低軌衛星設備商 31
表 8　與本論文較有相關之期刊整理 34
表 9　研究步驟、資料來源以及蒐集辦法 35
表 10　決策焦點及背景 39
表 11　專家問卷內容 41
表 12　專家名單 41
表 13　不確定軸面之選定 43
表 14　不確定軸面分析 45
表 15　不確定軸面的未來發展趨勢 56
表 16　情境選擇 56
表 17　有機會打入星鏈服務供應鏈關鍵台廠 69
表 18　低軌衛星廠商以發射衛星數量及未來計畫 76
表 19　驗證與分析統整表 86

圖目錄

圖 1、Starlink 衛星與軌道分布示意圖 2
圖 2、Starlink 頻率使用示意圖 3
圖 3、研究流程 5
圖 4、兩種類型的軌道衛星通信系統：低地球軌道和地球靜止軌道。 6
圖 5、全球的太空產業規模 8
圖 6、Starlink 架構圖 12
圖 7、低軌衛星通訊網路系統架構 13
圖 8、Starlink 衛星發射方式的圖示 14
圖 9、Starlink 地面收發站 15
圖 10、Starlink Gateway V3 15
圖 11、Starlink Gateway 3x3 站點示例 16
圖 12、Starlink Gateway 1x9 站點示例 16
圖 13、Starlink 用戶端使用方式 17
圖 14、Starlink 屋頂實裝圖 17
圖 15、室內的 wifi 機 18
圖 16、美國 12GHz 頻段之規劃 22
圖 17、我國 28GHz 頻段使用情形 26
圖 18、2020 年個人上網率 27
圖 19、我國國內行動寬頻網路訊務量 27
圖 20 我國固網寬頻訂戶數與普及率 29
圖 21、我國固網寬頻各接取方式訂戶數 30
圖 22、本研究架構 42
圖 23、不確定軸面 44
圖 24、星鏈服務最終用戶端安裝照片 46
圖 25、2021 年第三季美國實測衛星網路速度 47
圖 26、2020 年衛星產業營收比例 63
圖 27、通訊設備影響分析架構 63
圖 28、太空衛星科技產業鏈 64
圖 29、星鏈服務設備架構圖 65
圖 30、衛星地面設備產業鏈及主要缺口 66
圖 31、台灣衛星四大次產業能量圖 66
圖 32、小型衛星地面站通訊網路服務 67
圖 33、全球衛星產業預估 71
圖 34、台灣衛星產業預估 71
圖 35、兩段上鏈頻率圖 77
圖 36、最終用戶端干擾示意圖 78

圖 37、國內 28GHz 頻率拍賣圖 79
圖 38、地面收發站干擾示意圖 79

第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

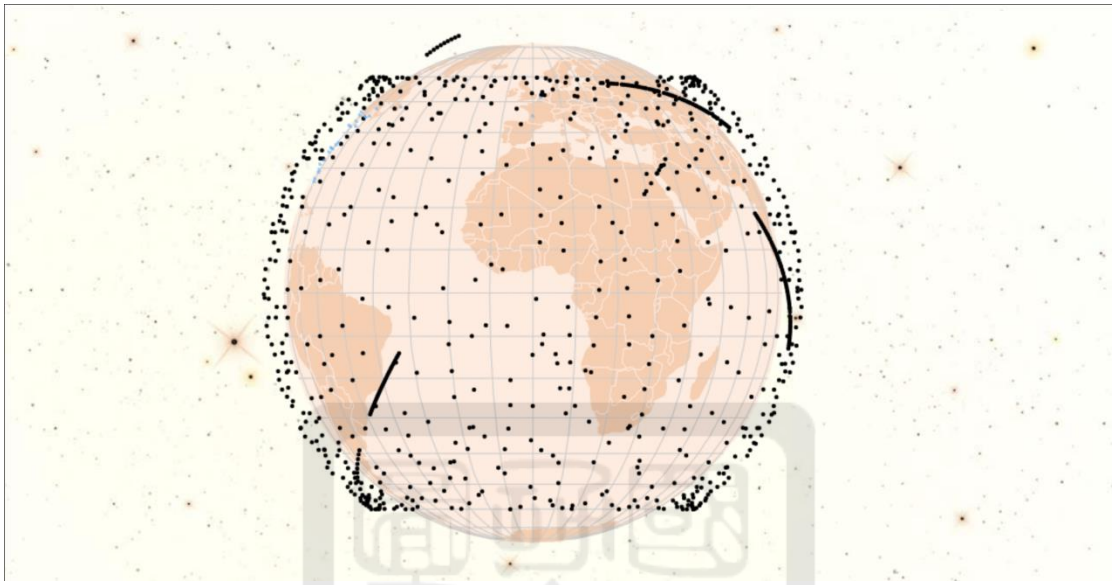
近年來，因為網路與資通訊技術日新月異，且應用越來越廣泛，使得人們對網路的需求越來越強烈。衛星通訊作為現行地面通訊的補充系統，可提供網路服務給在高山，或是人煙稀少因此尚無架設基地台之地區民眾，因此落地服務對其發展至關重要。

隨著衛星技術逐漸成熟，加上成本降低，為太空產業開啟了新一代的角逐戰。根據 Morgan Stanly 的調查顯示，鑒於衛星的大規模生產及技術成熟，促進可重複使用的火箭發射成本與衛星製造成本大幅下降。國際主要發展低軌（Low Earth Orbit, LEO）衛星業者如 SpaceX、OneWeb、Amazon 等快速崛起，其中以 SpaceX 佈署最為積極。

SpaceX 由 Elon Musk 於 2002 年成立，其創新之處有兩點。首先，SpaceX 自製火箭獵鷹 9 號(Falcon9)與重型獵鷹(Falcon Heavy)實現火箭的回收與重複使用，藉此大幅降低發射低軌衛星至太空之成本。其次，由於 SpaceX 為火箭發射與衛星製造垂直整合之公司，使其營運成本遠低於其他低軌衛星競爭者。2015 年，SpaceX 執行長 Elon Musk 在西雅圖宣布推出一項太空高速網際網路計劃—星鏈計劃（Starlink），其衛星系統中之單一顆低軌衛星製造成本約為 100 萬美元（約新台幣 2,807 萬元），使用壽命約為 5-6 年。

2016 年 11 月 15 日 SpaceX 向美國聯邦通信委員會（Federal Communications Commission, FCC）申請非地球同步軌道衛星(Non-Geostationary Satellite Orbits, NGSO)之軌道佈署與營運授權申請，規劃使用 Ku/Ka 頻段運行衛星固定業務（Fixed Satellite Service, FSS）。如圖 1 所示，根據目前最新 FCC 文件說明，SpaceX 之 NGSO 衛星將分為兩階段完成，第一階段必須在 2024 年

3 月 29 日前至少佈署 1,584 顆衛星，並於 2027 年將 4,409 顆衛星全部佈署完成。並將第一階段的衛星從原先獲准在 1,150 公里的軌道運行高度，降至較低的 550 公里，提高接收與發射訊號之效率。



資料來源：https://satellitemap.space/?norad=45075

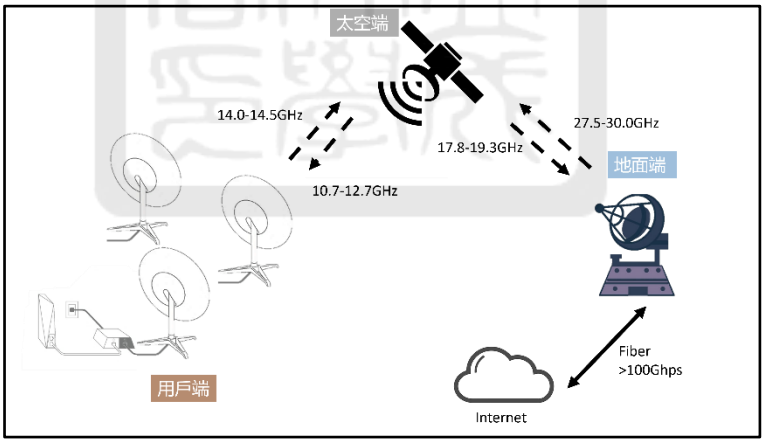
圖 1　Starlink 衛星與軌道分布示意圖

SpaceX 稱其衛星近地距離比其他電信運營商的衛星近 60 倍，可最大程度減少空間衛星到接受聯網服務的終端使用者的信號延遲。目前國外科技媒體 Wccftech 報導，藉由名為 Starlink Statuspage 的測試工具，收集了 70 多位用戶使用結果；結果顯示，歐洲用戶平均下載速度最快，可達 176Mbps，；其次是全球其他地區，平均下載速度是 157Mbps。美國排名第三，平均下載速度為 140Mbps。

在頻率方面，Starlink 使用的頻段分別為衛星用路終端和衛星間的用戶鏈路 (User Link) ，以及衛星閘道器地球電台和衛星間的閘道鏈路（Gateway Link）。如圖 2 所示，SpaceX 在美國申請 10.7-12.7GHz 用於用戶鏈路之下行鏈路，14.0-14.5GHz 用於終端用戶鏈路之上行鏈路，17.8-19.3GHz 用於閘道鏈路下鏈，以及 27.5-30GHz 為閘道鏈路上鏈。由於美國 FCC 將 28GHz 頻段核發給 5G 使

用，因此遇到了頻率干擾的問題，但已成功解決。

綜觀上述資料，可了解低軌衛星為未來對偏遠地區通訊服務之發展之重要性，以及星鏈服務在這個市場中扮演的角色。由於星鏈服務即將引進台灣，本研究希望可以探討其未來進入我國後對於我國通訊產業的影響。在通訊服務面，我國既有電信業者為寡佔市場，且網路覆蓋率極高，本論文將評估星鏈服務引進我國後的影響，以及討論其可能的應用服務。另外在衛星設備製造產業方面，目前我國行政院核定第三期「太空科技長程發展計劃」預計結合國內產業、學術界、研究機構，打造高經濟利潤之太空產業鏈，推出具競爭優勢之太空產品與服務，同時配合學界培養未來產業所需之太空人才，全面提升我國大空技術研發能量與產業製造力，然具體作法以及對生產面的影響仍值得討論。在頻率方面，國家通訊傳播委員會已將 27.9-29.5GHz 釋出供 5G 行動通訊使用，因此未來可能遇到低軌衛星與 5G 行動通訊頻段相互干擾之問題，因此本論文亦將探討台灣未來可能的解決方式。



資料來源：本研究製作

圖 2　Starlink 頻率使用示意圖

1.2 研究目的

Elon Musk 推出之星鏈服務（Starlink）即將在台灣上市，有鑒於其為第一個進入我國之低軌衛星網路系統，不論在消費者接受度，或者通訊穩定程度皆為未知數。因此本研究目的在於探討 Starlink 引進後，對於通訊商之衝擊、製造低軌衛星設備產業鏈之影響，以及政府如何解決低軌衛星閘道器地球電台和衛星間的閘道鏈路（Gateway Link）與 5G 行動通訊網路頻道重疊之問題。

本研究以專家訪談[21]與情境分析[22]為研究方法，討論 Starlink 進入台灣，對於台灣在通信產業面、設備面以及頻譜管理之影響。

本研究目的將歸納為以下幾點：

一、探討星鏈服務之特性與效益；

二、分析國內通訊服務現況；

三、評估 Starlink 對台灣通訊服務產業之影響；

四、評估 Starlink 對台灣通訊設備產業之影響；

五、探討 Starlink 對台灣頻譜管理之影響。

1.3 研究架構

圖 3 為本研究預計進行的七大流程，希冀能透過文獻回顧與專家訪談分析未來 Starlink 引進台灣後對台灣在通訊業、設備業，以及頻譜管理之影響。

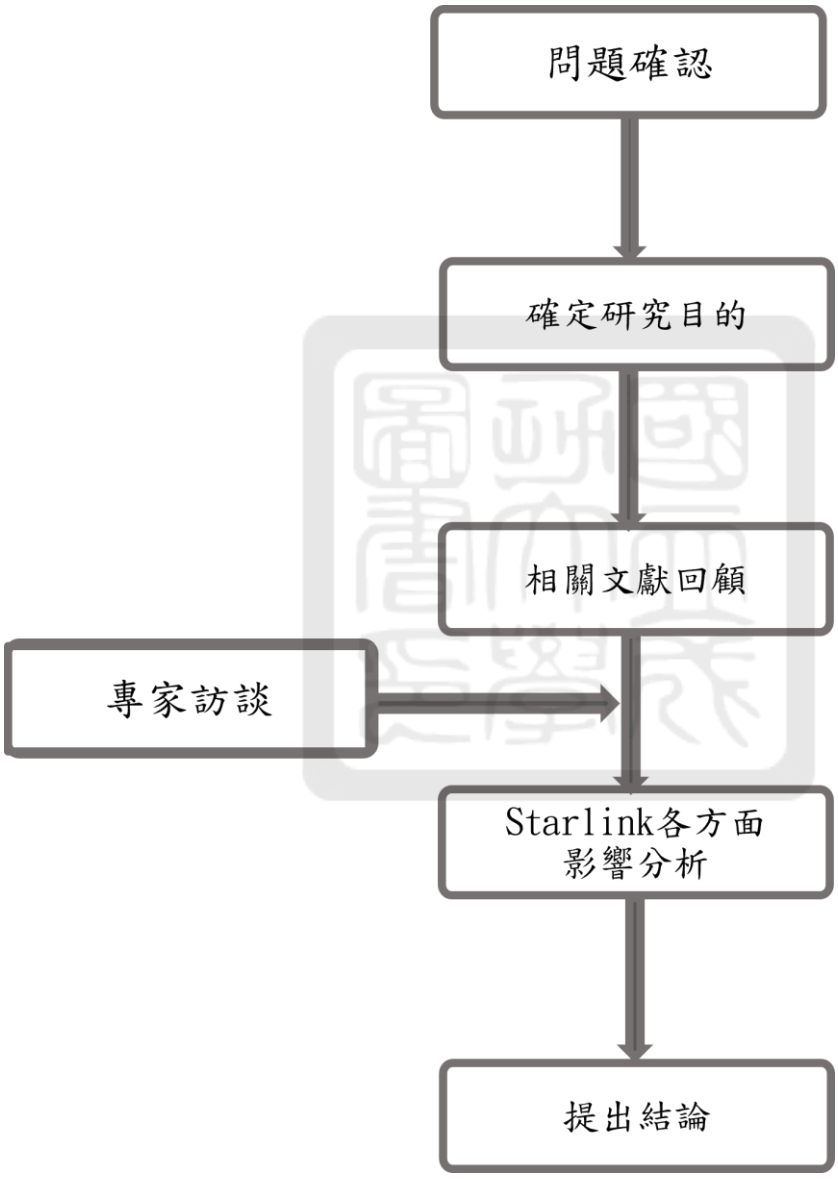


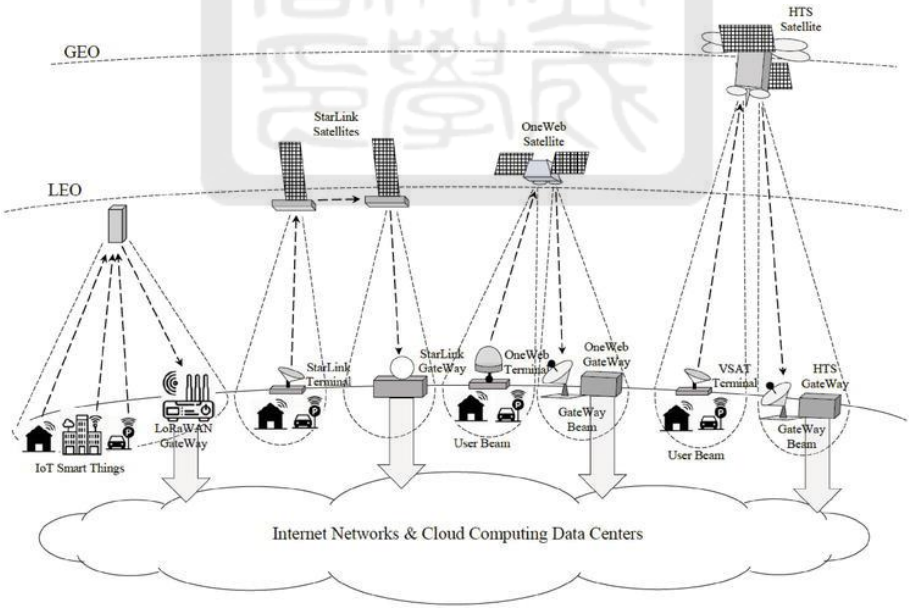
圖 3　研究流程

第二章　背景回顧與文獻探討

2.1 低軌衛星

低軌（Low Earth Orbit, LEO）衛星通常位於距離地表 80-100 公里處。過去由於衛星設備和發射成本極高，因此多著墨在地球靜止軌道（Low Earth Orbit, LEO）運行之固定衛星業務（Fixed -Satellite Service, FSS），藉此來解決如美國、加拿大、俄羅斯等大國在人煙稀少地區，因基地台密度較低導致訊號較差，甚至收不到訊號之問題。在圖 4 中顯示了由不同高度衛星系統組成的通訊架構。

本小節將介紹何謂非地球同步軌道衛星（Non-Geostationary Satellite Orbits, NGSO）、國際主要衛星系統發展近況，以及各業者的衛星部屬情形和商業模式，包含 SpaceX 的 Starlink 衛星系統、OneWeb LEO 衛星系統、Amazon 的 Kuiper 衛星系統以及 Telesat 的 Lightspeed。



資料來源： Ilchenko, Narytnyk, Prisyazhny, Kapshtyk, and Matvienko (2021)

圖 4　兩種類型的軌道衛星通信系統：低地球軌道和地球靜止軌道。

2.1.1 非地球同步軌道衛星

非地球同步軌道衛星（Non-Geostationary Satellite Orbits, NGSO）相較於地球同步衛星（Geostationary Satellite Orbits, GSO）之差別在於運行軌道與高度的不同。地球同步衛星由於繞行地球的時間與方向，與地球自轉一日相同，因此從地球角度來看似是靜止不動。而非地球同步衛星是依照自己系統的衛星密度來調整移動方向及速度，由於非同步軌道衛星只能對所在區域進行信號的接收與發射，因此需要藉由多個衛星以接力式進行系統的運作。

地球同步軌道衛星已經作為傳統電信的補充站多年，專提供偏遠地區之通信服務，然而隨著人類對網路的需求與日俱增，導致舊日的 GSO 系統略顯不足。此外，至今已發射的衛星系統如 Iridium、Astra 等已在 L 到 Ka 等較低的頻段造成壅塞的現象，阻礙了同頻段的衛星佈署。以上條件變成了推動 NGSO 的動力，推動衛星產業往更大規模及更大頻段，如 Ku 頻段的方向演進。

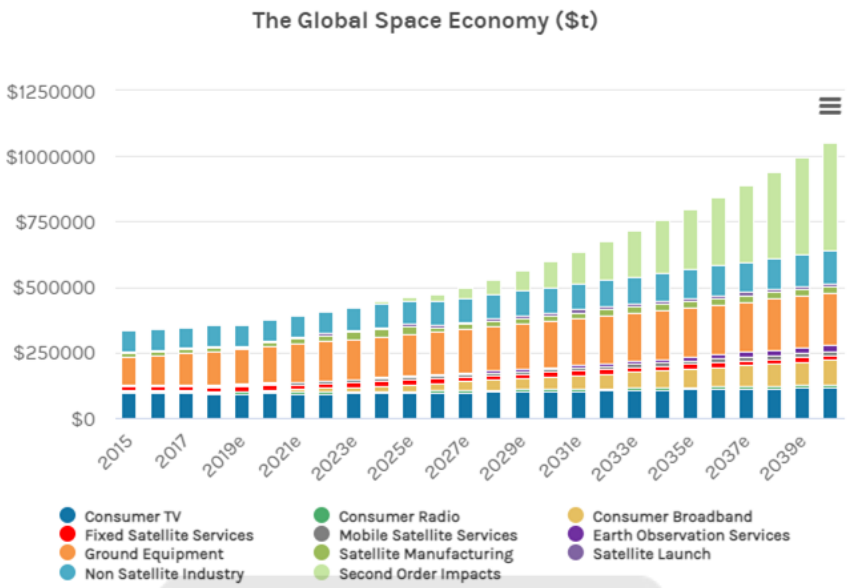
為了滿足對於所有通信類型的巨大需求，通信衛星系統的設計正從地球靜止軌道衛星轉移到非同步的低軌道衛星。通過最大限度地減少雜訊和延遲，來獲得最佳的通訊信號。在低軌道衛星系統中，大部分的設計皆以降低複雜度以及成本為目標，降低傳輸功率，提高雜訊比，並縮小使用的頻譜範圍[1]。

2.1.2 國際低軌衛星發展情況

如今，隨著多年來國際衛星業者投入大量資金來發展太空產業，使得衛星技術有突破性的成長，加上可重複使用的火箭的出現，衛星製造與發射的成本大幅度降低，促使國際大型衛星業者如 SpaceX、OneWeb、Amazon 與 Telesat 等相繼投入大量資源進入低軌衛星市場[2]。

美國紐約的國際金融服務公司 Morgan Stanly 在 2020 年預估全球太空產業市場將由 3500 億美元穩步成長，至 2040 年規模可達 1 兆美元如圖 5 所示。並認為衛星寬頻網路接取市場在短中期內最具機會，該市場規模至 2040 年將佔全

球太空經濟預期成長的 50%，甚至達 70%。



資料來源： M. Stanley (2020)

圖 5　全球的太空產業規模

2.1.3　SpaceX 的 Starlink 衛星系統

在眾多的衛星服務業者中，Starlink 系統佈署的最為積極。SpaceX 為 Elon Musk 於 2002 年成立，以研發火箭、太空船、衛星以及提供發射服務為主要業務。而 Starlink 系統則是在 2015 年，Elon Musk 在西雅圖宣布推出一項太空高速網際網路計劃，旨在為地球上服務欠缺的地區提供頻寬網際網路連接，並為城市地區提供價格優惠的服務。根據目前最新 FCC 文件說明，SpaceX 之 NGSO 衛星將分為兩階段完成，第一階段必須在 2024 年 3 月 29 日前至少佈署 1,584 顆衛星，並於 2027 年將 4,409 顆衛星全部佈署完成。截至 2021 年 5 月 26 日止，Starlink 已累計佈署 1,737 顆低軌道衛星。關於 Starlink 之設備架構與商業模式將在此章後半段詳細說明。

2.1.4　Amazon 的 Kuiper 衛星系統

Kuiper 衛星系統為 Amazon 推出的大規模通訊衛星計畫，主旨在消弭全球各地的數位落差，主要提供一般家庭、學校、企業、醫院、政府機構和救護人員等衛星寬頻連接服務。相較於其他衛星廠商，Amazon 擁有完整的雲端服務平台，未來 Kuiper 衛星系統完成後，可將衛星系統與雲端服務基礎設施相連接，Amazon 可藉由 Kuiper 網路將數據傳輸至 Amazon 旗下的雲端平台（Amazon Web Services, AWS），再傳輸至用戶。新的地面站網路與 Amazon 的雲端數據中心，形成一個服務生態系，並提供數據處理、儲存和分析等創新加值服務。

2.1.5 OneWeb 的 LEO 衛星系統

OneWeb 成立與 2006 年，2020 年破產後由英國政府聯手擁有全球第三大電信版圖的印度財團巴帝全球（Bharti Global）接手，英國政府希望藉由此機會，在低軌道衛星的運用以及太空科技領域擁有主控權，晉身太空強國之一，並且藉由提供衛星服務，強化與盟國的合作關係。

在商業面上，OneWeb 認為未來科技趨勢對於高速率極低延遲的服務需求將逐步上升，其中包含了政府、汽車、海運、企業及航空，因此將以上述機構與產業作為主要客群。

2.1.6 Telesat 的 Lightspeed 衛星系統

Telesat 為加拿大電信衛星運營商，2016 年宣布將發射一個由 120 顆衛星組成的低地球軌道衛星系統 Lightspeed。旨在提供加拿大與全球偏遠地區、農村地區或通訊基礎設施部件不足之處，透過低軌衛星提供商業用的寬頻服務。比較值得注意的是，Telesat 基於過去在地球同步軌道衛星以企業用戶客群為主，故原本客戶將成為其主要目標客群。

2.1.7 低軌衛星業者比較

經過上列國際上主要的四家低軌衛星廠商介紹，包含其發展起源以及未來主要服務對象，並整理成**錯誤! 找不到參照來源。**。可得知截至目前為止，星鏈服務為發射衛星數量最高，未來將提供全球之網路，且目前政府與國內電信服務商亦有意與星鏈服務合作之消息。因此本研究挑選星鏈服務為主要研究對象。

表 1　低軌衛星廠商比較

低軌衛星廠商	已發射衛星數量	主要服務對象
Starlink	1829顆	為地球上服務欠缺的地區提供頻寬網際網路服務
Kuiper	358顆	主要提供一般家庭、學校、企業、醫院、政府機構和救護人員等衛星寬頻連接服務，期盼與雲端服務基礎設施相連接
OneWeb	0顆	政府、汽車、海運、企業及航空
Telesat	0顆	旨在提供加拿大與全球偏遠地區、農村地區或通訊基礎設施部件不足之處

資料來源：本研究整理

2.2 SpaceX 的 Starlink 商業模式

衛星系統屬於資金密集且進入門檻極高之產業。由於發展衛星服務前期需要投入的資金過高，又不易在短期內回收，因此除了本業上持續性的獲益，其他條件的支持就變得極為重要。

SpaceX 相較於其他衛星廠商，擁有較高的競爭優勢是由於其為火箭發射及衛星製造之垂直整合公司。藉由替客戶發射火箭的收入，扶植衛星製造，同時使用自家的可重複使用火箭，讓 SpaceX 在前期的營運成本管控明顯低於其他競爭者。

SpaceX 的短期目標為將 Starlink 系統完整布建，同時以自家發射火箭之技術，替其他國家提通火箭發射之服務項目，藉此展望未來，發展其他太空市

場，如太空旅遊和載運貨物。

根據以上描述，目前 SpaceX 的商業模式主要有以下三點：

1. 提供全球衛星寬頻網路服務，包括消費者寬頻、後置網路。
2. 自行研發火箭與發射火箭，並回收火箭重複使用，以及替其他企業或政府機關發射各式衛星。
3. 為偏遠地區或通訊基礎設施欠缺之處提供衛星通訊服務，以獲得政府補助。

2.3 SpaceX 之 Starlink 資費方案

SpaceX 發展至今，已使用低軌衛星提供寬頻網路服務的國家有加拿大、美國、英國、德國，以及澳洲等。馬斯克原訂價 Starlink 定價在終端設備上是 499 美元，另外每月繳交 99 美元的訂閱費，然因應各地幣值，SpaceX 在各國提供的方案有些許的差異，這些差異包括在硬體終端費用與每月定費用。其中硬體終端套件則包含用戶的終端設備、三腳架以及 Wi-Fi 路由器等。各國 SpaceX 資費整理如表 2。

表 2 各國 SpaceX 資費方案

國家 / 費用	硬體終端費用	每月訂閱費用
美國	499 美元 (約新台幣 14,037)	99 美元 (約新台幣 2,785)
加拿大	649 加幣 (約新台幣 14,609)	129 加幣 (約新台幣 2,904)
英國	439 英鎊 (約新台幣 16,708)	89 英鎊 (約新台幣 3,387)
德國	499 歐元 (約新台幣 16,103)	99 歐元 (約新台幣 3,195)
澳洲	709 澳幣 (約新台幣 14,612)	139 澳幣 (約新台幣 2,865)

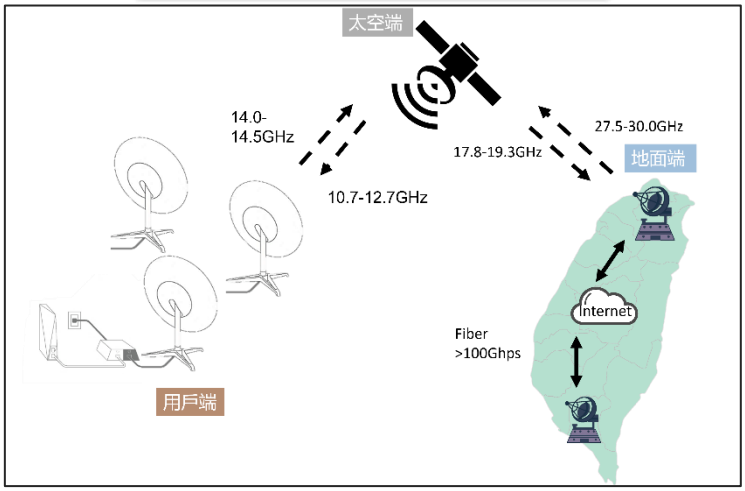
資料來源：本研究整理

2.4 星鏈（Starlink）通訊架構

2.4.1 星鏈通訊架構概述與使用頻段

星鏈（Starlink）系統，如圖 6，是由終端用戶設備、低軌道衛星，以及地面收發站，三個主要部分組成。目前訊號較好的地區達下載速度 200Mbps、上傳速度 50Mbps ，以及 15ms 延遲。

此網路系統有別於大眾印象使用無線通訊原理，實則會先由地面發射站將固定網路訊號以 27.5-30.0GHz 的訊號發射至太空端的低軌衛星，再由低軌衛星以 10.7-12.7GHz 的訊號發射至到地面上的終端用戶。14.0-14.5GHz 用於用戶鏈路之上行鏈路，以及 17.8-19.3GHz 為閘道鏈路下鏈。此外，受傳輸距離與角度影響，若要在台灣使用 Starlink 網路，除了可以在台灣設置地面收發站系統，也可以建在周邊國家，如日本或菲律賓。雖然這樣延遲會相比直接將地面收發站建在台灣高，但是也可以連的上網路。與地面網路相比，因為低軌衛星所使用的電磁波在真空中的傳輸速率比光纖高 30%，因此可以達到更高的網路速度上限。



資料來源：本研究整理

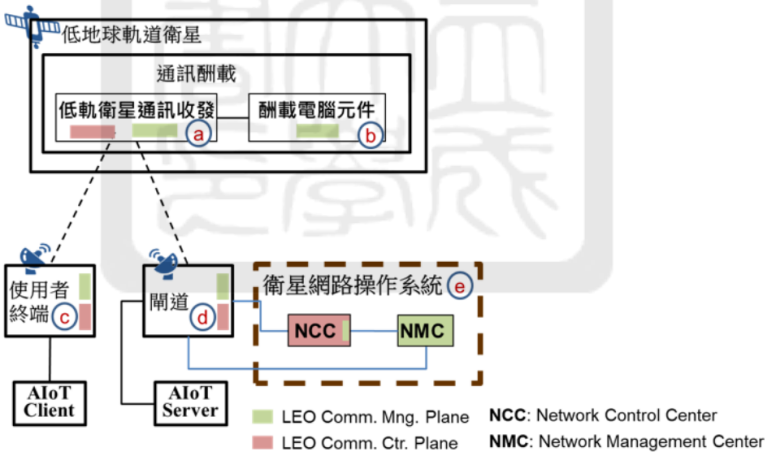
圖 6　Starlink 架構圖

2.4.2 以固定網路為核心的運作模式

詳細衛星通訊系統運作如圖 7 所示，包含太空端的通訊酬載，其中之低軌衛星通訊收發器主要負責無線電之訊號收送，並將訊號交由酬載電腦元件做處理，讓封包可以轉送到不同目的地；另一方面地面端則需有使用者終端，此裝置之作用類似家中的網路數據機，提供後端機器上網服務。

閘道，又稱地面收發站，是整個系統的核心，其運作模式是將在地面原有的固定網路訊號，向上打至衛星，提供整個系統的網路服務功能。除此之外，他還扮演了管理者的角色，讓衛星網路操作系統可遠端管理控制 。

其中網路管理中心（NMC）將收集各裝置之資訊進而分析做管理，而網路控制中心（NCC）則負責衛星通訊資源之控制，使低軌衛星通訊收發、使用者終端、以及閘道之間的無線電通訊可以順暢。



資料來源：工研院（2021）

圖 7　低軌衛星通訊網路系統架構

2.4.3 衛星

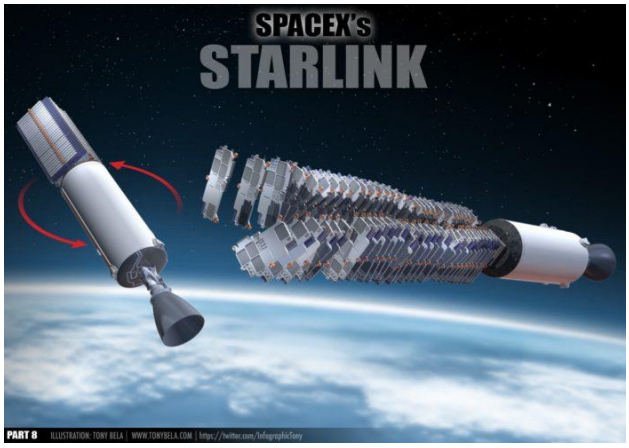
SpaceX 目前獲准在 570 公里或以下的高度運行 11,923 顆衛星，這些衛星將在 320-570 公里的低軌道上運行，並且使用激光互相通信，與地球的連接是無線電，重量約 300 公斤。值得注意的是，由於低軌衛星公轉週期與地球自轉週

期不同，這些衛星不會持續停留在特定區域的上空。因此星鏈服務需要布建更多衛星避免在特定區域通訊中斷[3] 並解決衛星交替間，也就是當衛星離開地面站上方，同時地面站要將連線由此衛星交給另一進入連線區域的衛星時可能面臨的延遲問題。

在衛星管理部分，Starlink 會由通訊酬載負責監控與管理低軌通訊終端與同步軌道通訊終端，時時監控狀態回報給衛星本體。同時此係同肩負網路資料交換的任務，使用低軌通訊終端次系統與地面系統進行通訊。除此之外 Starlink 的定位系統使得衛星可以使用 GPS 和 SpaceX 自行開發的恆星跟踪設備來確定它們的位置。這使他們能夠更好的進行通訊，並與周邊衛星協調，自動減少資源浪費。衛星可從 NORAD 數據庫中獲取有關這些物體位置的資訊。

在頻率方面，Starlink 信號將會覆蓋地表上的 Ku（12-18 GHz）、Ka（26.5-40 GHz）和 V（40-75 GHz）三個頻段。V 頻段 和 Ku 頻段將服務於終端用戶，而 V 頻段和 Ka 頻段將服務於地面收發站的連接、監控、命令和遙測[4]。

在發射方面，根據任務的需要，SpaceX 交替使用不同的衛星發射方式。Starlink 發射衛星的過程非常獨特，該系統不包含任何彈簧。如圖 8 所示，其裝置一開始頭頂裝置會沿水平軸緩慢旋轉（以每秒 3 度的速度），接著將衛星與火箭分離後，會由慣性矩負責它們的分佈。

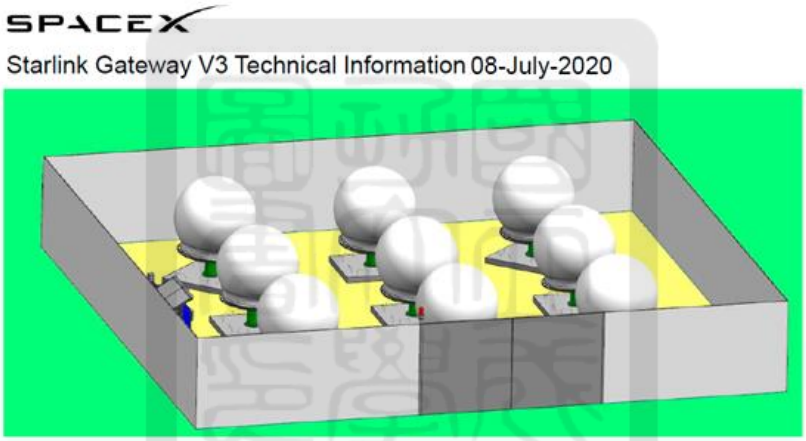


資料來源：https://www.elonx.cz/vse-o-konstelaci-starlink/

圖 8　Starlink 衛星發射方式的圖示

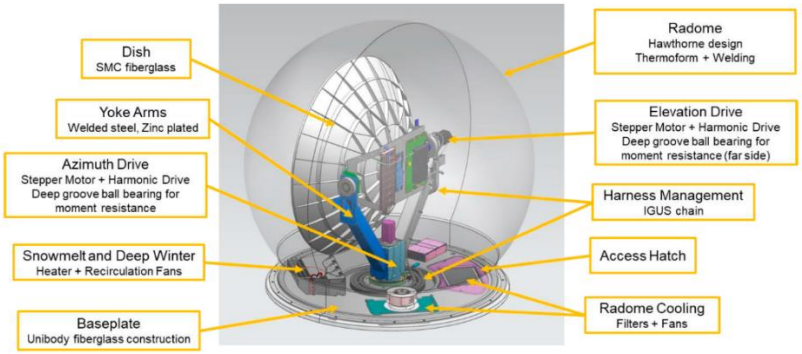
2.4.4　地面收發站

如圖 9 所示，星鏈服務地面收發站是由九顆 Starlink Gateway V3 所組成，每顆 Gateway V3，如圖 10，皆使用 Ka 頻率之系統，內含拋物面天線，可為低軌衛星提供高頻寬的數據傳輸，最外層則由抗風防寒之天線罩(radome)覆蓋。另外，星鏈服務地面收發站之實體架設又可依其需求使用不同擺放方式，可選擇 3x3 或是 1x9，如圖 11 與 圖 12。台灣由於地理位置佔據優勢，屬於亞洲中心地帶，因此根據資料顯示，星鏈服務有意在台建設地面收發站，以供鄰近國家使用。



資料來源：Vsatman (2020)

圖 9　Starlink 地面收發站



資料來源：Vsatman (2020)

圖 10　Starlink Gateway V3

資料來源：Vsatman (2020)

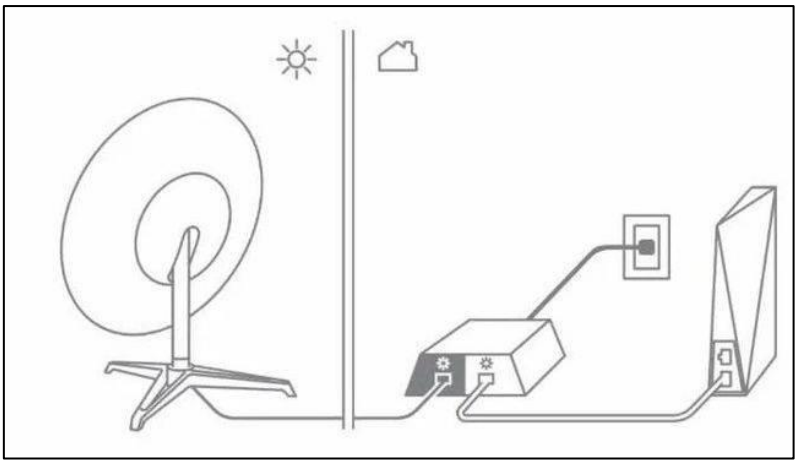
圖 11　Starlink Gateway 3x3 站點示例

資料來源：Vsatman (2020)

圖 12　Starlink Gateway 1x9 站點示例

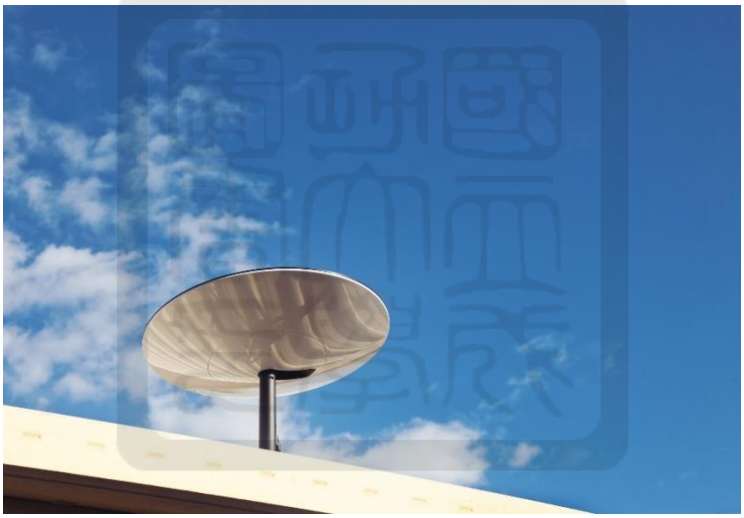
2.4.5　終端用戶設備

終端用戶設備包含了三腳架、向位陣列接收天線、wifi 路由器，如圖 13。用戶需將向位陣列接收天線放置室外空曠區域，如圖 14。再由一條網路線連結到室內的 wifi 機，如圖 15，提供室內使用者網路服務，可自由選擇要連有線網路或是 wifi 功能。



資料來源：Business Next (2021)

圖 13　Starlink 用戶端使用方式



資料來源：Tesmanian (2021)

圖 14　Starlink 屋頂實裝圖

資料來源：Reddit (2021)

圖 15　室內的 wifi 機

2.5 Starlink 目前網路速度實測情況

Starlink 的特點在於使用的低軌衛星位在約在海拔 550-1200 公里之間，這些衛星比傳統的衛星供應商更接近地球表面。因此，信號在上下行鏈路通訊時所需的時間更短，從而確保為用戶提供響應更快的連接體驗。以下將介紹根據專門測試網路速度的 Speedtest.net 官方網站報告顯示[5]，Starlink 在各國的網路表現實測情況，並整理如表 3。

1.　美國

Starlink 在美國的表現可堪比固定網路，且各地區網速差異不大。Starlink 是美國唯一一家擁有類似固定網路延遲數據的衛星網路通訊服務提供商，並且中位下載速度足夠快，足以滿足現代在線生活的大部分需求。Starlink 在 2021

年第二季時下載速度達到 97.23 Mbps（高於 2021 年第一季的 65.72 Mbps）。這份數據遠高於其他衛星網路競爭對手如 HughesNet 和 Viasat。

2. 英國

在 2021 年第二季，Starlink 在英國的平均下載速度為 108.30 Mbps，遠高於該國固定頻寬的平均速度 50.14 Mbps。上傳速度也稍快一些（15.64 Mbps 對 14.76 Mbps）。且延遲表現非常好（15 毫秒對 37 毫秒）。這使 Starlink 在英國人口密集的地方也具有相當的競爭力，而不僅僅是那些吸引在蘇格蘭北部無網路通訊服務的消費者。

3. 紐西蘭

Speedtest Intelligence 的數據顯示，2021 年第二季 Starlink 的平均下載速度遠快於紐西蘭的平均固定網路服務下載速度（127.02 Mbps 與 78.85 Mbps），上傳速度幾乎相同（23.61 Mbps 與 23.51 Mbps）。唯一的缺點是 Starlink 的延遲較高（101 毫秒對 7 毫秒）。

4. 法國

在 2021 年第二季，法國的 Starlink 的下載速度中位數是所有國家中最快的。其下載速度為 139.39 Mbps，輕鬆超過了全國固定的平均速度 70.81 Mbps。雖然 Starlink 的上傳速度低於固定網路服務的平均速度，但仍在可以接受的範圍（29.35 Mbps 對 52.56 Mbps）。在延遲的部分如同紐西蘭，Starlink 的延遲更高一些（53 毫秒對 13 毫秒）。

表 3　各國 Starlink 實測與固網下載速度比較表

國家	平均固網下載速度	Starlink實測下載速度
美國	115.22Mbps	97.23 Mbps
英國	50.14 Mbps	108.30 Mbps
紐西蘭	78.85 Mbps	127.02 Mbps
法國	70.81 Mbps	139.39 Mbps

資料來源：本研究整理

整體而言，星鏈服務的主要服務區域為美洲與歐洲，因此目前這些的國家實測的網路速度皆為高。以目前星鏈的衛星間分布圖可以觀察到，此服務的低軌衛星多散佈在高緯度國家，加上地面接收站的數量也較完整，因此網路表現較好。未來亞洲國家在短期內或許無法達到相通的網速與穩定度，但隨著衛星數量的增加，以及地面閘道器的普及率，此情況便可漸漸改善。

2.6 各國在低軌衛星與 5G 通訊干擾處理方式

本小節將介紹目前各國對於低軌衛星與 5G 干擾處理情形。觀察美國、英國、澳洲對為 Starlink 且議題著墨較多，以下將針對這些國家干擾處理情形進行說明，以作為未來台灣引進 Starlink 後在 5G 干擾處理上的參考。

2.6.1　美國

1.　28GHz

美國 FCC 將 28GHz 頻段核配給 5G 使用，期採取的方式如下：

首先，衛星地球電台無線電運輸運作須符合 ITU《無線電規則》第 22 條的功率通量密度限制(Power Flux-Density Limits)之技術規範，一旦衛星業者之網路發射功率超過前述技術規範，應與 5G 業者達成頻率協調協議。此外，依據 47 CFR § 25.136，該頻段主要分配給行動通信服務，即上層微波彈性使用業務

(Upper Microwave Flexible Use Services, UMFUS)，衛星通信服務（FSS）於該頻段為次要服務，受行動通信服務干擾。也就是說，行動通信服務優先於衛星通信服務。FCC 規定在行動通信服務執照區域內，最多不可超過三個衛星地球發射站運作，並採取功率通量密度限制的方始使其和諧共存[6]，整理如表 4：

表 4　FCC 授權 SpaceX 使用頻段之和諧共存處理方式

頻段	和諧共存處理方式
27.5-28.6GHz、29.5-30 GHz（地球對太空）	◆ 該頻段（地球對太空）之下鏈功率通量密度限制（Power Flux-Density Limits）須符合 ITU《無線電規則》第 22 條之規定
27.5-28.35 GHz（地球對太空）	◆ 依據 47 CFR § 25.136，該頻段主要分配給行動通信服務，即上層微波彈性使用業務(Upper Microwave Flexible Use Services,UMFUS)，衛星通信服務（FSS）於該頻段為次要服務，受行動通信服務干擾。 ◆ 行動通信服務執照區域內，至多不超過 3 個衛星地球電台運作。
28.35-28.6 GHz、29.5-30 GHz（地球對太空）	2.4.6該頻段係為次要的 GSO FSS 營運頻段。

資料來源：國家通訊傳播委員會(2020)

2.　12GHz

除了 28GHz 之外，美國 FCC 預計將 12GHz 頻段劃分給國際行動通信(International Mobile Telecommunication, IMT)使用，如圖 16 所示[7]。因此美國 FCC 於 2021 年 1 月提出「法規制定通告(Notice of Proposed Rulemarking, NPRM)」徵詢利益相關者有關 12.2-12.7GHz 頻段開放提供行動寬頻使用之意見。就目前實際情況，美國 12GHz 主要分配給廣播衛星業務下行鏈路使用，其他尚有直播衛星、低軌衛星終端用戶下行鏈路，以及固定服務。但前述 3 種服務不得對 BSS 造成干擾。

資料來源：Shahed Mazumder (2020)

圖 16　美國 12GHz 頻段之規劃

由於上述針對 12GHz 頻段爭奪戰，一方是既有頻譜持有者，如 Dish Network 和 RS Access，另一方為低軌衛星業者，如 SpaceX，已在 Ku 頻段部屬其衛星系統(包含終端用戶上鏈 14.0-14.5 以及下鏈 10.7-12.7)。因此未來在 12GHz 也將面臨行動通訊與衛星通訊是否能和諧共存問題。

就 SpaceX 方面而言，已向 FCC 請求提供授權其在無害干擾、無保護的情況下使用該頻段。由於此事授權不會影響該頻段之地面用途，SpaceX 認為授權符合公共利益且會符合 ITU 的《無線電規則(Ratio Regulation)》，並承諾其系統非常先進、靈活，一旦發現有害干擾，可立即停止運作。

2.6.2　英國

英國 Ofcom(Office of Communications)職責基於對無線電頻率進行管理，Ofcom 2021/22 年工作計畫所制定之策略重點，即為改善缺乏寬頻服務地區，使英國民眾享有自由連網的權力，故低軌衛星系統成為達到此目標的重要途徑。而英國境內無線干擾問題，亦是核心工作項目之一。

1.　28GHz

Ofcom 通過拍賣授予了 27.8285-28.445 GHz 和 28.2365-29.4525 GHz 頻段提供 5G 行動服務。29.5 - 29.9 GHz 移動衛星（地對空）（次要）。29.5 - 29.9 GHz 移動衛星（地對空）（次要）　29.9 - 30 GHz 移動衛星（地對空）（主要）30 - 31 GHz 移

動衛星（地對空）（主要）。適用於天文業務的頻段、觀測站和保護措施的具體細節包含在「英國空間科學和氣象頻譜分配文件(Space science and meteorology spectrum allocations in the UK)」中。[8]

2. 12GHz

10.95 - 11.7 GHz 分配用於民用通信，包括由公共電信運營商運營的國防電路。非對地靜止衛星系統 10.7-10.95 GHz（空對地）、11.2-11.45 GHz（空對地）和 12.75-13.25 GHz（地對空）等頻段的使用衛星固定業務須適用第 9.12 款的規定，以與衛星固定業務中的其他非對地靜止衛星系統進行協調。11.7 - 12.5 GHz 衛星廣播業務電台的指配符合適當的區域規劃也可用於衛星固定業務（空對地)，前提是此類傳輸不會對按照規劃或列表運行的衛星廣播業務傳輸（視情況而定）造成更多干擾或需要更多的干擾保護 (WRC-2000) 。

3. 其他政策

Ofcom 對服務品質和競爭風險之建議有四：鼓勵合作、管理干擾、支持競爭，以及更開行事。

- 鼓勵合作：

  衛星業者間合作避免 NGSO 寬頻用戶服務中斷風險之關鍵。Ofcom 建議引進明確的執照條件，要求 NGSO 執照持有人合作，使其在英國共存與營運，避免相互干擾。擬建議將此做法引進 NGSO 網路執照之條件，執照由實體持有並負責協調整個系統。

  衛星業者間協調地面訊號收發站方面的合作，亦可透過授予新執照之前的執照申請公告階段改善。

- 管理干擾：

  Ofcom 提出兩項避免干擾的作法，分別為在授予新的 NGSO 執照時加上檢查；以及在 NGSO 執照中引入新的條件，若干擾發生在英國特定地點時，Ofcom 可採取行動解決服務降級的問題。未來 Ka

頻段衛星業者支用戶終端皆須申請執照

- 支持競爭：

  Ofcom 建議在核發 NGSO 閘道器與用戶終端新的執照時，引進競爭檢查 (Competition Check) 程序。希望透過多個衛星系統共存，以支持競爭。此外，引進閘道器執照持有人須在 12 個月內開始營運和維持無線電傳輸，以降低閘道器站點稀少性的風險。

- 公開行事：

  Ofcom 欲授予新的 NGSO 執照時，建立利益相管者的評論期，藉由公告申請書，亦可促進前述的衛星業者合作。

2.6.3 澳洲

依據《澳洲通訊與媒體管理局法（Australian Communications and Media Authority Act）》第 8 條至第 11 條規定，賦予澳洲通訊及媒體管理局（Australian Communications and Media Authority, ACMA）監管範圍，包括無線通信、傳播與網路內容，以及頻譜管理和設備等，其中包括衛星事業規管事宜 756。澳洲對於外國衛星業者落地監理之相關法規，主要乃依循 1992 年《無線電通信法（Radiocommunications Act 1992）》。目前提供 5G 服務使用的頻段為 3.30 - 3.80 GHz 以及 24.25 - 27.50 GHz。

1. 28GHz

澳洲 ACMA 已將 24.25 - 27.50 GHz 提供 5G 行動通訊服務[9]。並規劃 Starlink 之固定地球電臺頻率為 27.5- 28.3GHz、28.3-29.1GHz、29.5-30GHz，總頻寬 2,100MHz。

針對 28GHz 頻段，澳洲 ACMA 採取彈性方式，同時提供 5G 行動通訊與衛星通訊使用。28GHz 頻段提供衛星通訊業者使用時，規範地球電台與既有無線電台天文台（Murchison 無線天文觀測站）之保護範圍為半徑 70 公里。

此外，ACMA 在 26GHz 與 28GHz 頻段建立全區四設備執照（Area-wide

apparatus License, AWL），以層級式網路單元識別架構（Hierarchical Cell Identification Scheme, HCIS）支網路區域範圍內運作，以彈性執照管理方式，允許 5G 與衛星服務共存於相同頻段。

2. 12GHz

在 12GHz 頻段，澳洲 ACMA 尚未規劃為 5G 使用頻段。並核准 Starlink 全區域頻譜執照 27.5-30GHz、太空電臺 10.7-12.7GHz、14.0-14.5GHz、17.8-18.55GHz、18.8-19.3GHz、太空接收電臺 28.3-29.1GHz、29.5-30GHz、地面接收電臺 17.8-18.55GHz、18.8-19.3GHz、固定地球電臺 27.5-28.3GHz、28.3-29.1GHz、29.5-30GHz 。雖在 12GHz 頻段尚無 5G 頻段干擾之問題，然而針對整個 Starlink，尚有一些干擾處理細節，整理如下一小節。

3. 其他政策

ACMA 授予星鏈執照規範特定的服務區域，其通訊干擾處理情形如下：

- 頻率指配登錄 Master International Frequency Register（MIFR）之前，該地面站應依 ITU 在《國際頻率資訊通報》發布的操作參數，以及 ITU 頻率協調之協議結果進行操作。
- 傳輸不得對澳洲境外的電台造成干擾，除非這些電台按照 ITU《無線通規則》及 ITU 頻率協調之協議結果進行操作。
- 執照持有者應提供聯絡點變更通知 ACMA，以追蹤任何可以的干擾情況。
- 收到 ITU《無線通規則》第 11.42 條規定的干擾報告後，應立即採取所有必要步驟，消除干擾或停止運行。
- 澳洲政府通過 Starlink 進入澳洲市場，主要希望藉由衛星通信服務，以提升該國偏遠服務欠缺地區之通信服務與涵蓋範圍。因此，Sarlink 執照，僅能在低密度與偏遠地區提供其衛星服務，在澳洲其他地區則不得提供衛星服務。

2.7 台灣 28GHz 頻段干擾情形

由於我國目前交通部郵電司已將 27.9-29.5GHz 釋出供 5G 使用，因此未來將面臨 5G 行動通訊與衛星通訊出現使用頻段相鄰情形，可能造成干擾問題，這將是未來主管機關在頻譜管理上的重要議題。

如圖 17 所示，中華電信取得 27.9~28.5GHz，共 600MHz 頻寬、遠傳電信取得 28.5~28.9GHz，共 400MHz 頻寬、台灣大哥大取得 29.3~29.5GHz，共 200MHz 頻寬、亞太電信取得 28.9~29.3GHz，共 400MHz 頻寬。由於未來這一段的頻率將面臨與低軌衛星相鄰之問題，以過往經驗來看，最有可能參考美國對於 28GHz 頻段與 5G 行動通信之核定共存方式。其主要採取技術規範方式處理，例如功率通量密度限制等規範，美國 FCC 亦要求衛星服務業者應與 5G 行動通訊業者達成頻率協調協議，以確保與衛星和諧共存。

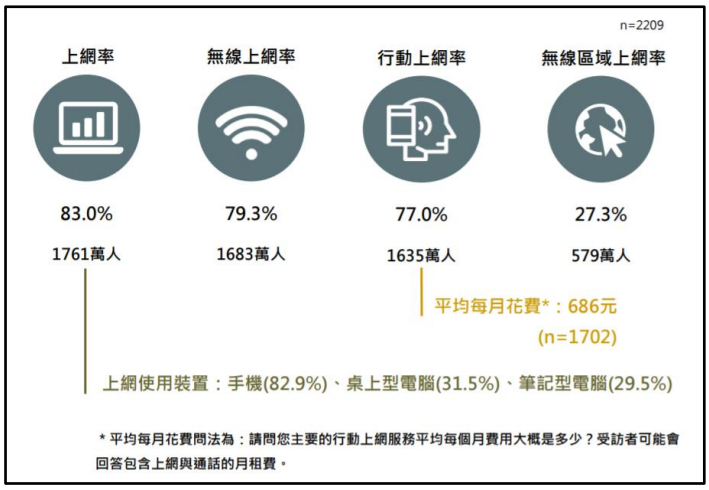
資料來源：本研究製作

圖 17　我國 28GHz 頻段使用情形

2.8 台灣通訊服務現況

根據 Internet World States（2020）調查[10]，台灣的上網率在亞洲地區位居第三，如圖 18 所示，根據報告顯示調查，12 歲以上民眾的上網率為 83.0%，使用無線上網的民眾為 79.3%；使用無線上網的民眾中，有 77.0%的民眾使用行動上網，27.3%的民眾使用公開場所無線區域網路。12 歲以上之上網民眾中，使用手機上網之民眾所占比例最高，達到了 82.9%，每人每月

行動上網平均費用為台幣 686 元。

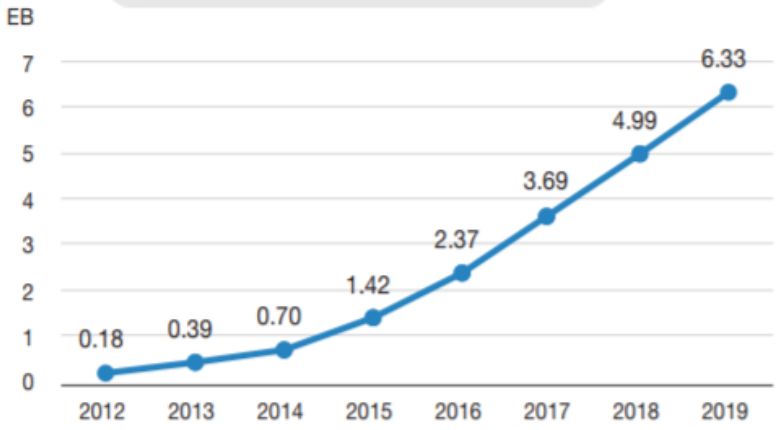


資料來源：財團法人台北市公民教育基金會（2021）

圖 18　2020 年個人上網率

2.8.1　行動通訊網路服務

我國 LTE 行動網路人口覆蓋率於 2014 年已達 99.3%，並逐年微幅成長至 2019 年的 99.9%，接近 100%；如圖 19 所示，我國近年的行動寬頻訊務量，由 2012 年的 0.18EB（艾位元組，Exabyte），迅速成長至 2019 年的 6.33EB，為近年新高 。



資料來源：通傳會（2021）

圖 19　我國國內行動寬頻網路訊務量

目前在行動通訊網路服務存在五大電信業者，包括中華電信、遠傳電信、

台灣大哥大、亞太電信，以及台灣之星。雖然各大業者在 5G 競拍上已砸下大量資金，但由於 5G 基地台建設尚未完全，且對於消費者而言尚無非 5G 行動服務不可之需求，因此大部分民眾仍以 4G 吃到飽為主要購買標的。各業者在 4G 與 5G 吃到飽之費率整理如表 5。

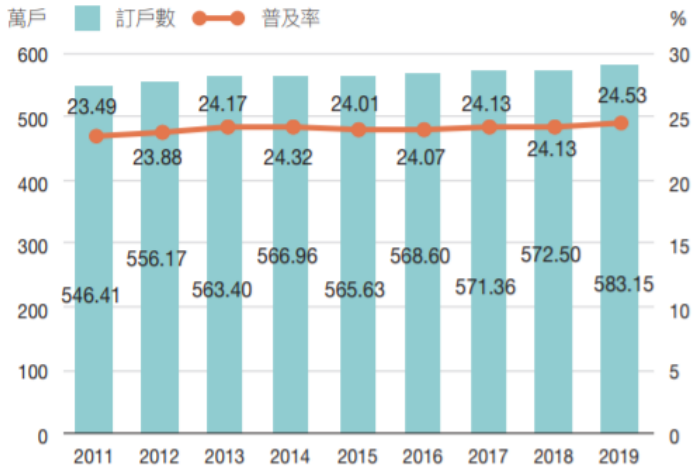
表 5　國內各大電信業者 4G/5G 費率

方案 服務提供商	4G 吃到飽	5G 吃到飽
中華電信	$699/月	$1399/月
遠傳電信	$499/月	$1399/月
台灣大哥大	$599/月	$1399/月
亞太電信	$299/月	$1399/月
台灣之星	$299/月	$1199/月

資料來源：本研究整理

2.8.2　固定通訊網路服務

根據調查[11]，如圖 20，我國固網寬頻訂戶數於 2011 年至 2019 年間呈現微幅上升趨勢，自 2011 年的 546.41 萬戶成長至 2019 年的 583.15 萬戶；普及率則相對穩定，介於 23.49% 到 24.53%之間，2019 年固網寬頻普及率為 24.53% 。另外，我國固網寬頻訂戶以速率 10MB 以上為主，且訂戶數逐年增加，2019 年已成長至 513 萬戶。顯示我國在固定網路服務上不論是網速還是普及率，皆為高。

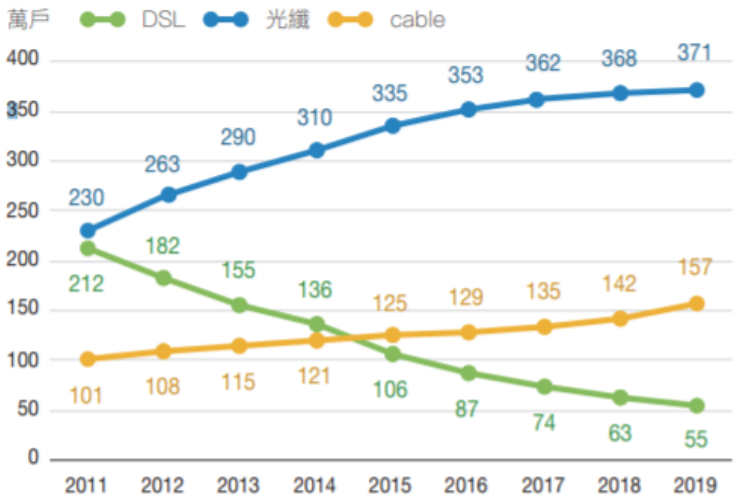


資料來源：通傳會 (2021)

圖 20　我國固網寬頻訂戶數與普及率

我國固網寬頻接取方式以光纖（FTTx）為主。如圖 21，光纖網路訂戶數自 2011 年開始快速成長，2019 年已達 371 萬戶，為近年新高；而有線電視業者寬頻戶數（cable）從 101 萬上升到 157 萬，表現亮眼。雖然近年來有線電視訂戶數持續流失，但有線電視寬頻上網用戶卻呈現穩定成長，有線電視業者寬頻也成為光纖網路的潛在競爭者。最後是 DSL（Digital Subscriber Line，數位用戶線路），其訂戶數自 2011 年的 212 萬戶逐年下滑至 2019 年的 55 萬戶，為近年新低。

去年受疫情影響，寬頻用戶成長有明顯成長。中華電信指出，截至 2021 年底，光世代寬頻用戶數 368.7 萬戶，其中 100Mbps 以上客戶 199.6 萬戶，超高速寬頻上網 300Mbps 用戶自 2020 年底的 43.8 萬戶成長至 63.7 萬戶，淨增加近 20 萬戶。



資料來源：通傳會 (2021)

圖 21　我國固網寬頻各接取方式訂戶數

在費率方面，就目前台灣最多人使用之光世代來討論，目前國內有提供光世代網路的大宗業者有中華電信的 Hinet、遠傳的 Seednet、Sony 集團網路事業在台分公司的 so-net，以及亞太電信的 Gt 智慧生活。以常見的光世代下載速率 100Mbps/上傳速率 40Mbps，以及下載速率 300Mbps/上傳速率 100Mbps 之使用費率整理如表 6：

表 6　國內各大電信商之光世代網路費率

最高速率(下載/上傳)bps 服務提供商	100M/40M	300M/100M
中華電信的 Hinet	$920	$1399
遠傳的 Seednet	$778	$927
Sony 集團的 so-net	$889	$843
亞太電信的 Gt 智慧生活	$742	

資料來源：本研究整理

2.9 台灣衛星設備商

觀察全球衛星產業鏈，主要分為元件與零組件供應、地面設備包含用戶端與地面發射站的製造、衛星製造、衛星發射與衛星服務等。專用於通訊服務的

低軌衛星，多半在距地表 2000 公里以下，對於抗太空輻射的要求較傳統衛星低，使用年限也僅有 3 到 5 年[12]。以設備製造而言，台灣目前可參與此產業供應鏈的公司包含印刷電路板天線、射頻元件、低訊降頻器、纜線與電源供應、以及系統組裝等廠商，可參與地面設備製造端；另外，印刷電路板、天線、太陽能電池、遙測、推進馬達與散熱片等零組件，切入衛星製造。

目前已確定的低軌衛星地面設備製造廠商中，台揚切入 Starlink 終端用戶設備組裝，金寶負責 Starlink 的終端用戶設備與發射端內部主機板代工，台揚也與 Oneweb 共同設計天線。另，穩懋、群電、台光電、華通等也透過各自的技術參與低軌衛星設備供應鏈，整理如表 7。

表 7　台灣低軌衛星設備商

公司名稱	主攻項目	公司名稱	主攻項目
台揚	低軌衛星用戶終端設備	穩懋	RF射頻元件
啟碁	衛星路由器	群電	家用路由器、衛星訊號收發器等用戶終端產品的電源供應器
金寶	地面基地台組裝	台光電	衛星板用CCL
昇達科	衛星通訊地面接收站	華通	衛星設備PCB/CCL
同欣電	衛星收發模組	公準	低軌道衛星零件

資料來源：本研究整理

2.10　文獻探討

此小節將針對有關 SpaceX 之 Starlink 系統之相關研究探討與比較。 由於星鏈服務屬於新興話題，雖然已有一些相關期刊，但其研究領域非常分散。其中包含了星鏈服務對於星群觀察之影響、其所使用之可重複發射火箭、未來與物聯網之應用、如何增強頻率接收、信息電力、載波相位跟踪和定位結果，以及地球風暴對於星鏈衛星發射之影響，以下將分別敘述。其中較有相關以及參考的文獻整理如表 8，其文獻重要性來自於其對星鏈服務之特性描述，有利後續

對於通訊商及設備商之影響分析，有關頻譜管理之部分則較少資料提及。

首先，在文獻[13]中，定義了低軌衛星之高度範圍，並探討了 Starlink 當前在低地球軌道上的人造衛星群之亮度，評估透過低軌衛星系統成為巨型星座群之可能性。與本論文之 Starlink 對台灣通訊產業之影響評估較無關聯性。

文獻[14]中，主要探討 SpaceX 於 2017 年 3 月成功重新發射了一年前首次飛行的火箭的核心級，從而創造了可重複發射之火箭歷史。針對當時的時空背景，討論 SpaceX 此創舉的商業可行性以及他國之反應。隨著時間推移，世界各地的政府和商業運載火箭運營商改變他們對運載火箭的傳統思維，認同了產業趨勢便是逐漸往可重複發射之火箭發展。由於 SpaceX 企業中，火箭發射佔了很大的收益比例，因此本文獻與本論文之 Starlink 之商業模式之探討有較為相似之處。

文獻[15]中，討論了物聯網與軌道衛星未來發展之效益與可行性。其內容首先提到了物聯網的發展受到地面移動網絡覆蓋有限的限制，無法發會做到效用。接著提到了利用衛星通信系統資源，便可以擴大物聯網提供的服務領域。文中還模擬 Starlink 與 OneWeb 與物聯網應用之架構。本論文主要在於評估 Starlink 引進台灣之影響，無探討 Starlink 與物聯網，但可以參考其內容以描述 Starlink 之服務特性。

文獻[16]中，描述了為何低軌衛星日益重要，此部分在本論文中也略有所提。文中描述了傳統電信和廣播雖已建設了多年的傳統地靜止軌道靜止衛星系統，然而，隨著人們對網路服務需求的增長，傳統衛星所能提供的流量已明顯不足，因此需要新型的低軌衛星系統來補足這個缺口。然而，來自這些巨型的低軌衛星系統的下行鏈路可能會對地面或太空的發射天文系統造成破壞性射頻干擾 。因此，此篇文獻主要貢獻在於概述發射天文系統和低軌衛星頻率的共存，和增強頻率接收的頻譜管理及部署策略。雖然此篇文獻與本論文同樣有探討到頻率干擾問題，但不同於文獻中依靠物理性方法增強頻率接收，本論文將主要探討業務主關機關如何以監管措施，安排 5G 與低軌衛星頻率重疊問題。

文獻[17]中講述了星鏈服務未來可能將使用信息物理電力系統(Control and protection of the cyber-physical power system, CPRS)與通信技術(Information and communication technology, ICT)的整合應用。期刊中提到儘管星鏈服務安裝新的通信天線需要額外的成本，且有許多技術上的挑戰需要克服，但這可以實現比現有的長距離地面光纖網絡更低的傳輸延遲。但如果該項目能夠成功完成，它可能會永遠改變電信行業的格局。文獻中提出了三層 CPPS 架構，然後基於通信基礎設施和傳輸參數，在異構協同模擬平台上對相應的測試驗證了所提概念的優勢。

文獻[18]提出 Starlink LEO 衛星信號的第一個載波相位跟踪和定位結果。由於無法得知星鏈的低軌衛星之發射信號的周期，其認為舊有跟踪未知低軌衛星信號的多普勒頻率知方法無法估計載波相位。因此他們對星鏈信號進行分析，並開發了適用於載波相位跟踪的模型。

文獻[19]整理出了星鏈服務於 2022 年 2 月遭風暴影響摧毀 38 顆低軌衛星之事件。他指出過往 SpaceX 將其衛星發射到大約 210 公里高度的初始軌道，從那裡他們使用電動推進器將其高度提高到大約 500 公里的運行水平。這樣的方法雖伴隨較高的風險，但可以有效減少空間碎片積累，再過去三次發射都因天起條件良好而沒有發生狀況。但由於 2022 年 2 月 3 日發射 49 顆 衛星時，竊巧遇上了地磁活動，這是第一次經歷顯著增強的大氣阻力。如 Space-Track 衛星目錄所示，這一阻力很快導致 49 顆衛星中的許多衛星丟失，在撰寫本文時只有 11 顆衛星倖存下來。為了避免再次發生如此重大的損失，星鏈隨後於 2 月 21 日發射的低軌衛星使用了 300 公里的初始軌道，並將有效載荷從 49 顆衛星減少到 46 顆。

除上述有關星鏈服務之文獻外，研究[20]中整理了許多國內固定網路業者之資訊，內文針對當年將引進之 IPTV 服務之策略分析，提供本論文許多關於固定網路之資訊。

表 8　與本論文有相關之期刊整理

編號	作者 / 年分	期刊名稱	主要內容
14	V. S. Reddy (2018)	The spacex effect	側重於 SpaceX 製造的可重複發射火箭。
15	M. Ilchenko (2021)	The Internet of Things Space Infrastructure. Current State and Development Prospects,	討論了物聯網和低軌衛星未來發展的好處和可行性。
16	Z. Fan, Y. Dai, and H. Minn (2021)	Performance Analysis of Large-Scale NGSO Satellite-Based Radio Astronomy Systems	描述了為什麼非地球同步衛星變得重要
17	T. Duan and V. Dinavahi (2021)	Starlink space network-enhanced cyber–physical power system	討論了信息物理電力系統與通信技術的整合應用

表格來源：本研究整理

綜合上述，本論文討論之議題「評估星鏈衛星通訊服務對台灣通訊產業之影響」，不論是針對國外亦或是國內市場，皆尚未有文獻完整描述。因此本研究將會依照第三章之研究方法，評估未來其系統對於我國服務面、設備面，以及對既有合法電台之干擾之影響分析。

第三章 研究方法

由於 Starlink 屬於一項新興產業，基於對未來無論是市場結構、政策法規皆不確定，因此採用定性分析中的深度訪談法與情境分析法作為分析工具。

本研究將以專家訪談作為主要研究工具，並搭配次級資料之蒐集與分析，以探討 Starlink 之特性與服務內容，接著評估其引進台灣後對國內通訊服務與設備產業之影響。

3.1 研究步驟

本研究之研究步驟、數據來源和數據收集方法清單如表 9 所示。對於 Starlink 服務內容主要資料來源為美國聯邦通信委員會（Federal Communications Commission，FCC）之研究資料，輔以其他網站資料，如 Starlink 官方網站與相關報導。另外，本研究有關於 Starlink 對台灣各產業之影響則採用次級資料分析與專家訪談為資料蒐集方法。專家訪談選定之受訪對象為在電信產業具備多年經驗者，這些專家具備高度的專業知識以及產業靈敏度。本研究會採用半結構化(Semi-structured Interviews, SSIs)[21]訪談之方式進行。

表 9　研究步驟、資料來源以及蒐集辦法

NO.	研究步驟	資料來源	蒐集方法
1	Starlink 服務與特性	次級資料	文獻回顧
2	台灣目前通訊服務與設備產業分析	次級資料	文獻回顧
3	情境分析	次級資料	文獻回顧＋情境分析法
4	專家訪談與分析	專家訪談	訪談
5	結果分析	一級資料＋次級資料	文獻回顧＋訪談

資料來源：本研究整理

3.2 情境分析法(Scenario)

情境分析法為策略性之思考工具，為一個故事性的描述，可用來應用及想像許多未來可能發生的情況，說明事件可能發生的前因後過，有效傳達未來演變內容以了解現在環境，與未來各種可能現象之重要方法[22]。規劃者可購過情性分析法，針對未來可能影響產業發展的不確定因素，以系統分析的方法求得其各自在策略上的涵義，之後再針對各自變數間的內部一致性做檢定。

情境分析不僅是一項技術預測工具，且對未來各種未知現象的一種分析方法，也就是說，可將情境分系視為一種發想「真實世界可能如何運作」的邏輯思考方式。

3.2.1 情境分析法適用時機

根據過去研究[23]，情境分析的本質在於定義相關的趨勢及不確性，並將其納入內部一致之情境分析中。故適用時機為：

一、大幅度變化的時空環境

二、環境高度不確定性

三、外在環境高度複雜

四、不需要估計未來逐年的實際數值

Starlink 所屬低軌衛星產業為一新興產業，在技術尚未有統一，且國內電信服務業與設備業皆對低軌衛星產業陌生，故在 Starlink 引進後存在著許多不確定性，因此，在評估 Starlink 對台灣影響時，情境分析法唯一良好選擇。

3.2.2 情境分析法步驟

情境分析法自 1960 年代開始發展，許多學者整理出情境分析的步驟，而情境式規劃程序首先由史丹佛(Standford Research Institute, SRI)制定標準化，以供美國教育部和其他單位使用[24]，SRI 所提出之情境分析操作六項步驟

1. 確認決策焦點 (decision focus)：此步驟目的在於確定所有要進行決策內容項目，以凝聚情境發展焦點。
2. 確認關鍵決策因素(key decision factor, KDF)：即認定所有會影響決策做成的各項關鍵因素；譬如市場需求、企業生產能量以及政府管制力量等。
3. 分析外在驅動力(driving force) ：確認完決策焦點以及關鍵決策因素後，需要認定重要的外在驅動力量，包含技術、政治、經濟、文化等各層面，以決定關鍵決策因素的未來狀態。
4. 選擇不確定軸面(uncertain axis) ：此時選出二至三個情境主軸面，以作為情境內容的主體架構，進而發展出情境架構。
5. 選擇不並增修情境內容(draft the Scenarios) ：此時選定二至四個情境，繼而進行各情境描繪，對情境本身賦予內容。
6. 分析決策涵義(identify the Arising Issues) ：最終回到決策主體，分析情境內容，以認定其在管理決策的涵義。

本研究目的在於評估「星鏈衛星通訊服務對台灣通訊產業之影響」，將參考 1996 年由 Schwartz 提出之情境分析之方法 [25]，將「決策焦點」，定義為「議題焦點」;「確認關鍵決策因素」定義為「確認關鍵議題因素」。並以 SRI 所提出之情境分析操作第一以及第二步驟作為半結構式訪談之構面。由於本研究具有三個不同主題的影響分析，因此在第四章將針對不同的主題進行不確定軸面設計。

3.3 專家訪談法

專家意見法乃透過訪談問卷或其他方法過去研究指出，定性方法（qualitative method）很適合使用在當研究人員沒有確定關鍵變量之情境[26]。因此本研究會採用描述性和解釋性方法做為評估方式。描述性方法包括大量文獻研究和二手數據分析。解釋性方法包括專家調查和訪談的數量[27]。

3.3.1 半結構化訪談(Semi-structured Interviews ,SSIs)

半結構化訪談之特點在於可以針對訪談者之情境與背景紀錄完整的主觀應[28]。雖然相對於結構化訪談，較缺乏衡量指標，但卻保證了訪談的靈活性，因為它提供了訪談議題的主要架構，又同時保持受訪談者最直接的回覆內容。

訪談過程中，半結構化的問題會以相同的方式和順序向每個受訪者提出，但不需要逐字相同，比問題的確切措辭更重要的是向所有參與者傳達意義的等效性[29]。受訪者則可以根據自己的意願自由回答開放式問題，研究人員則可以這些回答進行分析。

3.3.2 訪談對象

在本研究中，專家限定為電信產業內之權威，包含電信監管機構、通訊服務商，以及通訊設備商。因其在通訊產業內工作多年，具備豐厚之相關知識與經驗。為了問卷可信度考量，訪談對象須具備 10 年及以上相關工作經驗，且為單位之主管，須對整體產業面具通透之了解，例如有遠見的領導者、戰略領導者和運營領導者。

3.4 本研究之情境分析初步操作與問卷設計

本研究採史丹佛研究院 SRI 所提出之情境發展步驟來進行情境分析，藉由步驟一「認定議題焦點」、步驟二「決定關鍵議題因素」，作為專家訪談之架構。

3.4.1 認定議題焦點

根據本研究之目的，決策焦點為「評估星鏈衛星通訊服務對台灣通訊產業之影響」。一般情境分析的時間架構最適合做 10 至 20 年期之分析，但考量通訊產業屬於環境變化速度劇烈之產業，因此本研究將以五年為期作分析。決策內

容項目整理如下表 10：

表 10　決策焦點及背景

確定議題焦點	「評估星鏈衛星通訊服務對台灣通訊產業之影響」
議題內容	說明
時間	2021~2026 年，為期五年
對象	我國通訊服務商、我國通訊設備商、頻譜管理
空間範圍	我國網路通訊產業
主題領域	透過討論 Starlink 服務特性、通訊網路服務商與設備商現況、對頻譜管理之影響，討論 Starlink 引進台灣後對台灣之影響。
決策視野	追求最貼近未來之影響評估

資料來源：本研究整理

3.4.2　認定關鍵議題因素

根據本研究之目的，評估星鏈衛星通訊服務對台灣通訊產業之影響，可分為我國通訊服務商、我國通訊設備商、頻譜管理之影響三個構面，以下分別說明。

1. 通訊服務商

根據第二章文獻回顧，本研究認為 Starlink 其實是固定網路服務，因此在此小節之通訊服務商將針對台灣既有固網業者之影響做評估。在實務面上，此評估未來將由國家通訊委員會負責。

目前常見的「網際網路服務供應商」（ISP）業者，大致上具備幾種型態，分別為家用光世代網路、社區共享網路、有線電視網路與電信行動網路。Starlink 引進台灣，勢必對於這些既有業者產生影響，只是衝擊程度尚未確定。因此本研究將透過評估 Starlink 之服務特性、價格、未來應用，以及比較其與台灣既有業者所提供網路之差別，以評估未來市場結構改變之幅度。

2. 通訊設備商

我國在衛星設備製造產業方面未來將由經濟部負責，目前我國行政院核定第三期「太空科技長程發展計劃」希冀未來台灣在太空產業能有一席之地。而台灣能否在這波 Starlink 設備布建上有所參與，還需探討台灣目前有提供低軌衛星之設備商，是針對地球發射站之零件或是終端用戶設備之零件做佈建，以及其是否提供 Starlink 在國外之設備需求等因素。

3. 頻譜管理

在對於合法電台之干擾方面，在頻率上將面臨 5G 行動通訊與衛星通訊出現使用頻段相鄰情形，可能造成干擾問題。因此須對此頻段進行調查，包含既有業者，以及未來可能使用情形。接著透由參考他國成功作法，以評估出未來頻率干擾之解決方案。

在引進新服務對既有服務業者方面，由於對於消費者而言多了一項新的選擇，可以為整個產業增加多元性，因此主管機構原則上樂觀其成，除非新服務完全取代既有服務，成為獨占市場，才會使主管機關有介入之必要。

3.4.3 訪談方式

本研究之訪談將針對上述我國通訊服務商、我國通訊設備商、業務主管機關三個構面作為訪談架構。考量疫情因素，本研究將採用面對面訪談或是線上視訊訪談兩種方式進行。不論線上或實體訪談，接採用半結構式問卷，內容如表 11，每位專家訪談時間為 45-60 分鐘。受訪專家如表 12，在機構皆有 10 年以上之工作經驗，且目前職位皆與通訊產業相關。根據文獻[13]建議，SRI 情境分析之專家通常包含政策專家、工程技術專家，以及決策人士。

在訪談中，本研究以問卷中的順序由上往下問。在三個構面中，皆先詢問了專家對於一些項目的看法。接著再詢問他們綜合這些評估項目以後，認為整體而言對於此構面是正面影響還是負面影響居多。訪談的過程中，會依據專家之專業領域做問題的延伸或刪減。在服務商的問題中，希望可以透過訪談了解到專家們對於消費者對星鏈服務之使用意願、星鏈服務品質，以及星鏈服務競

爭力之看法。在設備商的部分，期盼專家們提出他們認為星鏈服務最有殼能對台灣產生的商業價值，以及主要獲利來源。最後，在頻譜管理的部分，則針對星鏈服務可能對台灣頻譜管理上產生的影響，及資安問題做詢問。

表 11　專家問卷內容

議題	子問題
服務商	您認為星鏈服務對目前固定網路服務的影響程度如何？
	您對於星鏈服務未來在台灣的市占率大約為多少？
	您認為星鏈服務與5G會屬於競爭或是互補？
	您認為星鏈服務短、中／長期在台服務發展的情況會是如何？（正面負面）
設備商	您認為未來哪一種型態的公司最有可能因為星鏈業務大幅擴張而受惠？
	您認為星鏈服務能帶給台灣通訊產業的產值貢獻如何？
	台灣產業要打入星鏈計畫全球供應鏈所面臨的挑戰為何？
	您認為產業面整體為正面還是負面？
頻譜管理	您認為星鏈服務引進會對頻譜管理造成哪些挑戰？
	您對於我國處理星鏈服務帶來的干擾處理的能力有何看法？
	以您的經驗來看，星鏈服務是否容易有資訊安全的疑慮？
	您認為以頻譜主管機關的角度，在頻率方面整體為正面還是負面
綜觀以上，您覺得總體而言是利大於弊，抑或是弊大於利？	

資料來源：本研究整理

表 12　專家名單

	專家領域	單位	職稱
1	政策專家	國家通訊委員會	技監
2	政策專家	國家通訊委員會	處長
3	工程技術專家	芳興科技	執行副總
4	工程技術專家	成功大學交通管理學系	教授
5	工程技術專家	電信技術中心	副執行長
6	決策人士	中華電信行分高雄營運處	總經理
7	決策人士	台灣大哥大	處長

資料來源：本研究整理

第四章 分析與驗證

4.1 三大議題焦點面向分析

本研究依據由史丹佛(Standford Research Institute, SRI)制定標準化之情境式規劃架構為基礎，從不同構面建立一個影響評估模式供相關人員參考分別來做延伸討論。如圖 22 所示，本研究架構，以台灣引進星鏈計畫通訊服務為主軸，進行其對於國內通訊服務商、設備商，以及頻譜管理，三面向的評估。並在其中加入專家訪談內容驗證並分析評估內容。

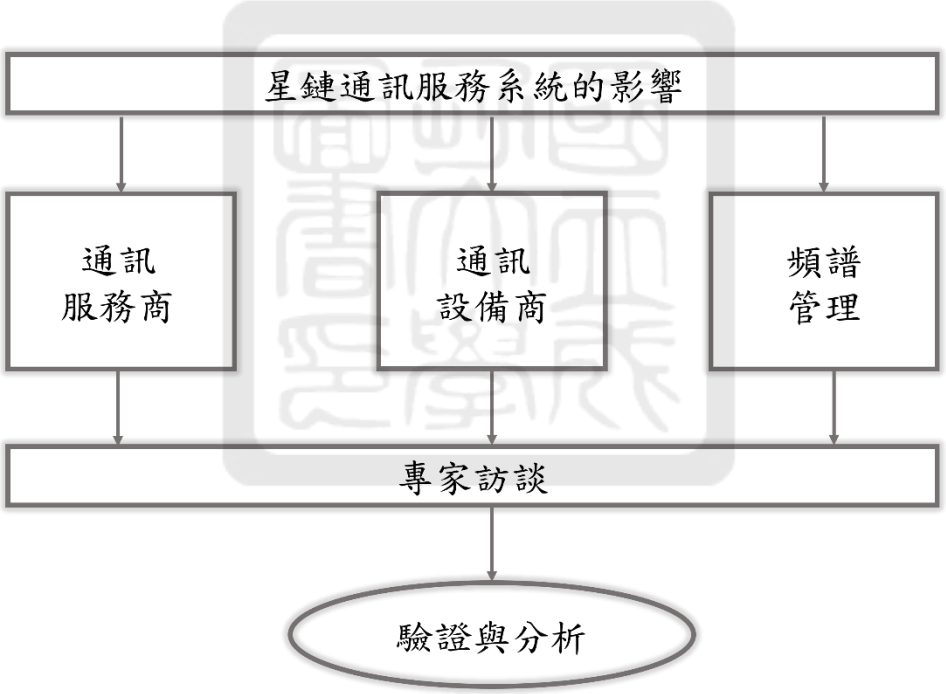


圖 22、本研究架構

4.2 通訊服務商影響分析

4.2.1 選擇不確定軸面

針對通訊服務商影響分析，由於具有大幅度變化的時空環境、環境高度不確定性、外在環境高度複雜、不需要估計未來逐年的實際數值等特性，因此接

續第三章，以情境理論為架構，繼續往下撰寫。

本小節目的在於設立不確定軸面，以作為不同情境的骨幹架構。而不確定軸面，是由不確定驅動力去分類並整合。針對星鏈計畫對通訊服務商之影響，不確定力量分別為消費者對星鏈服務價格的接受度、消費者對星鏈服務需求度、星鏈服務的推廣度、星鏈系統使用便利性、星鏈服務品質、星鏈服務在台灣實測網路速度、通訊服務市場既有競爭者競爭強度、國內電信業者之合作意願、通訊服務市場替代品威脅強度。

上述關鍵不確定驅動力可歸類為服務品質、消費者需求、市場結構三大類。以此為基礎，本研究在通訊服務產業分析上之三個不確定軸面，分別命名為星鏈服務品質、使用者對星鏈服務之意願、市場結構變化，如表 13 所示。並以此三個不確定軸面畫出一個軸面構成情境骨架之示意圖，如圖 23 所示。

表 13　不確定軸面之選定

驅動力因子	**驅動力構面**	**不確定軸面之命名**
消費者對星鏈服務價格的接受度	消費者意願	使用者對星鏈服務之意願
消費者對星鏈服務需求度		
星鏈系統使用便利性		
星鏈服務網路穩定度	服務品質	星鏈服務品質
星鏈服務衛星密度		
星鏈服務在台灣網路速度評估		
通訊服務市場既有競爭者競爭強度	市場結構	星鏈服務競爭力
通訊服務市場替代品威脅強度		
星鏈服務的推廣度		
國內電信業者之合作意願		

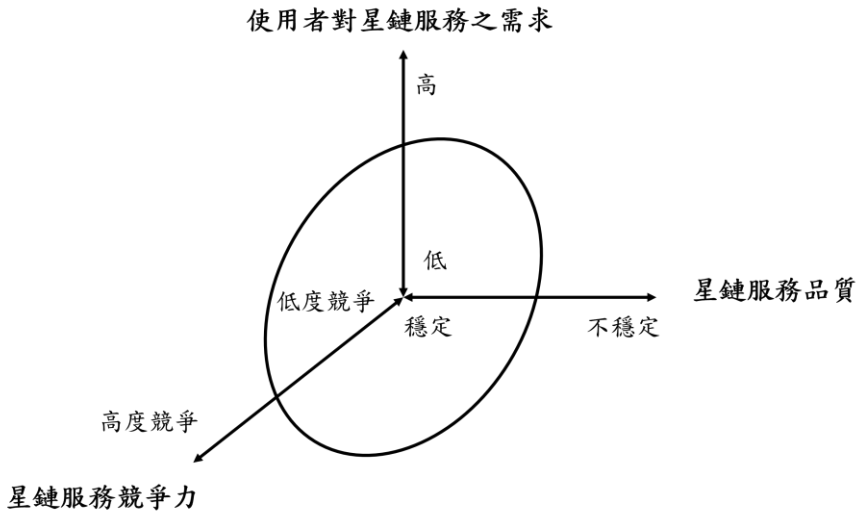
資料來源：本研究整理

4.2.2　選擇不確定情境

此小節將依據上一節所設定出的三個不確定軸面為基礎，進行分析與賦予情境模擬的實質內容。並整理如表 14。

首先，使用者對星鏈服務之意願軸度的正向發展，代表消費者可以接受星鏈服務之價格、對於星鏈服務需求度高、設備操作起來方便容易。使用者對星鏈服務之意願軸面的負向發展，代表消費者認為星鏈服務之價格過於昂貴、對

於星鏈服務因已有現有通訊服務良好而需求度低、設備操作不容易。



資料來源：本研究整理

圖 23　不確定軸面

第二軸面，若星鏈服務品質為正向發展，代表星鏈系統之衛星密度高、在網路穩定度上表現優異、在台灣實測網路速度快(高於 100Mbps)。相反地，若品質穩定度為負向發展，代表星鏈計畫後續衛星發射數量不如預期。衛星密度低，導致網路連線不穩定，且網速不快。

第三軸面上，若星鏈服務競爭力為正面，代表其服務在我國通訊服務產業上具備公平的競爭環境，消費者可依照自己的需求與喜好選擇網路服務商、現有網路服務替代品威脅低，且國內業者與星鏈服務合作意願高，星鏈服務若需要落地服務，我國業者願意與之合作，協助建設地面收發站，且在市場上不會惡意排擠。若競爭力為負面，代表同為通訊服務的替代品威脅高、較難推廣、國內通訊服務業者與之合作意願低。

依據此使用者對星鏈服務之意願、星鏈服務品質、市場競爭力三個不確定軸面進行排列組合，可獲得 8 個不同的情境。有鑑於星鏈服務其實為一種固定網路的型態，本文將針對其與固網的服務做比較與說明。以下將針對不同軸面進行分析，並選擇出最有可能的情境。

表 14　不確定軸面分析

不確定軸面	結果出象	評估項目
使用者對星鏈服務之意願	高	消費者可以接受星鏈服務之價格、對於星鏈服務需求度高、設備操作起來方便容易。
	低	使用者對星鏈服務之需求軸面的負向發展，代表消費者認為星鏈服務之需求過於昂貴、對於星鏈服務因已有現有通訊服務良好而需求度低、設備操作不容易。
星鏈服務品質	穩定	星鏈系統之衛星密度高、在網路穩定度上表現優異、在台灣實測網路速度快(高於100Mbps)。
	不穩定	星鏈計畫後續衛星發射數量不如預期。衛星密度低，導致網路連線不穩定，且網速不快。
星鏈服務競爭力	具高度競爭力	星鏈服務在我國通訊服務產業上具備公平的競爭環境，消費者可依照自己的需求與喜好選擇網路服務商、國內業者與星鏈服務合作意願高、現有網路服務替代品威脅低。
	具低度競爭力	代表國內通訊服務業者與之合作意願低、同為通訊服務的替代品威脅高、較難推廣。

資料來源：本研究整理

1.　使用者對星鏈服務之意願：

首先，截至 2020 年，我國固網寬頻普及率為 24.53%，且 10MB 以上訂戶數至 2019 年已達 513 萬戶。除了固網服務，大部分的民眾支手機也具有上網功能。根據調查，我國 LTE 行動網路人口覆蓋率於 2014 年已達 99.3%。在國內網路覆蓋率如此高的情況下，民眾對於星鏈服務之需求不高。

再者，在價格方面，以星鏈服務普遍能達到的上傳速率 100Mbps 而言，我國固網價格落在每月新台幣$742-$920。星鏈服務的價格則落在每月新台幣$2,785，以及一開始須繳交的終端使用設備費用新台幣$14,037。因此在價格方面，消費者較難接受星鏈服務之價格。

有關使用之方便性，台灣目前安裝固網服務，會由專員到府安裝到好。星鏈服務安裝過程則較需要靠消費者自行處理，介紹如下：當台灣開放星鏈服務後，消費者即可自行自星鏈服務官方網站，訂購終端使用設備。Space X 會將設備直接寄到府。接著消費者只要按照說明說上，將向位陣列接收天線放置室外空曠區域或屋頂，如圖 24，再由一條網路線連結到室內的 wifi 機，即可提供有線網路及 wifi 功能。整體而言難度雖不高，但對於消費者而言，國內固網提供的到府安裝服務會更容易一些。

經過上述分析，在星鏈服務之使用者需求、價格、服務方便性評價皆為低的情況下，使用者對星鏈服務之意願為低。

圖 24　星鏈服務最終用戶端安裝照片

2.　星鏈服務品質：

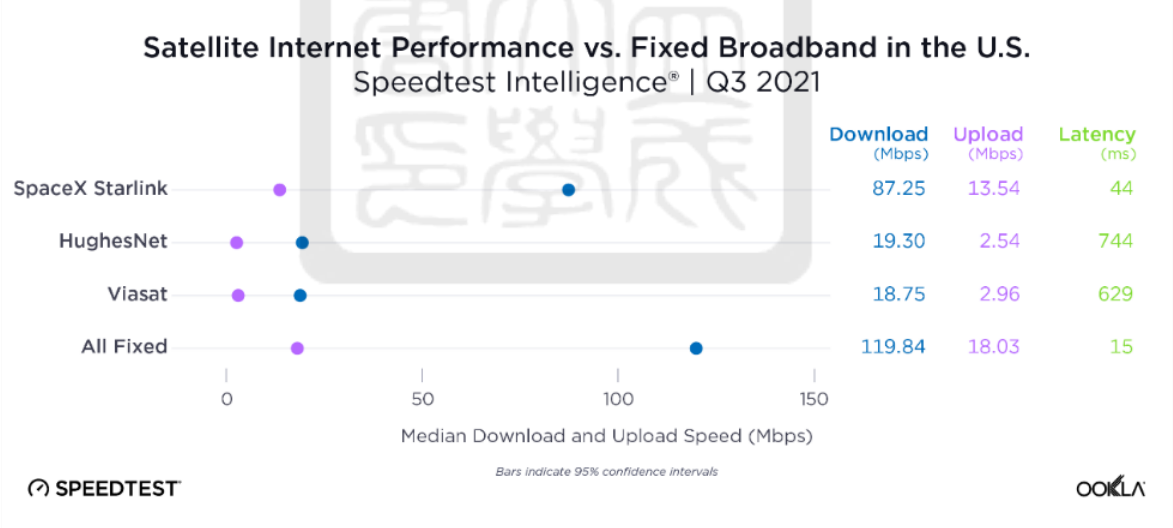
星鏈服務品質可分為兩大主題來分析，分別是網路速度以及延遲。首先在網路速度方面，可以根據現有已提供服務國家之實測網路速度，推估未來台灣在使用此系統之可能的網速情況。考慮我國目前固定網路服務用戶以 100Mbps 網速為大宗，約有 200 萬的用戶。因此網路速度的評估將以 100Mbps 為標準。

在第二方面，星鏈服務網路穩定度與延遲和其衛星密度息息相關。唯有當量密度增加，才可解決地面站要將連線由此衛星交給另一進入連線區域的衛星時可能面臨的延遲問題。因此未來 SpaceX 將為星鏈服務部署多少低軌衛星，是

品質穩定度評估的首要項目。

在網路速度方面，如圖 25 所示，去年美國第三季實測中位數字落在 87.25Mbps，略低於第二季的 97.23 Mbps。目前推估可能是收到天氣，以及使用人數上升的影響。歐洲國家則大約落在 100Mbps。整體而言已達到一般用戶的需求，如通話與遊戲。然而在延遲上的問題仍有待解決。另外從 Starlink 衛星軌道圖可以觀察到，其主要服務地區如歐洲與美洲的衛星相對其他地區密集很多。台灣位於的亞洲地區衛星密度較低，短期內或許無法達到相同的網速，且延遲較高。不論是網速或是延遲的問題，都有待時間來觀察，未來當衛星密度上升時是否有所改善。

在衛星部屬方面，SpaceX 於 2015 年提出由 12,000 顆低軌衛星組成巨型衛星星座的星鏈計畫（Starlink），2018 年獲 FCC 許可部署營運，自 2019 年起開始一批批發射衛星。



資料來源：speedtest.net（2022）

圖 25　2021 年第三季美國實測衛星網路速度

根據目前最新聯邦通信委員會文件說明，星鏈服務將分為兩階段完成，第一階段必須在 2024 年 3 月 29 日前至少佈署 1,584 顆衛星，並於 2027 年將 4,409 顆衛星全部佈署完成。目前已有 1,469 顆星鏈衛星處於工作狀態，另外 272 顆

正進入軌道。此外，最新報導顯示，SpaceX 已向 FCC 提交第二代星鏈衛星 Gen2 方案申請，預計再發射 30,000 顆星鏈衛星至低地軌道，使整個星座衛星總數達到驚人的 42,000 顆，FCC 也著手審查中。若通過審核，並在未來將衛星部屬完畢，想必可以將現有的網速拉高並降低延遲。

綜合上述，星鏈品質穩定度在短期如截至 2024 年，1,584 顆衛星的情況下，台灣的網路速度（>100Mbps）與穩定度皆為中偏低。但在中長期，如截至 2027 年，則是可以期待達到高水平的網速與延遲表現。

3. 星鏈服務競爭力：

在此軸面的評估，須考量的面向有通訊服務市場既有競爭者競爭強度、通訊服務市場替代品強度、國內電信業者之合作意願以及星鏈服務的推廣度。

有別於一般先進國家如美國、英國、法國，雖然國家經濟能力強大，但因國土廣大，仍有許多地方光纖與 5G 基地台覆蓋仍不普及，只能透過一般衛星提供網路服務。台灣在網路建設這一塊已達到 99%的覆蓋率。且資費相對其他國家低廉，現有幾家業者尤其中華電信，佔有絕對的市場，且提供的服務比起星鏈服務可說是性價比相當的高。因此在既有競爭者競爭強度為高，且容易被替代。

在國內電信業者之合作意願方面，由於星鏈服務落地服務，需要鄰近有地面收發站，將網路訊號打至太空中的低軌衛星。且距離越近，傳輸速率越快，延遲越低。SpaceX 看重台灣於亞洲銜接北亞及東南亞的特殊位置，因此有意於台灣設置地面收發站。若我國通訊服務業者有意願合作，將對星鏈服務在市場的競爭力有很大的助力。除了協助建設地面收發站，也可以討論其他的應用。自 2021 年起，中華電信便不斷發出消息，未來會與 Starlink 進行合作。2021 年 8 月，中華電信董事長謝繼茂已證實合作消息，並已展開相關整備工作。因此在國內合作意願評分為高。

在星鏈服務的推廣度上，由於尚未在台灣上市，只有在通訊相關領域的民

眾會接觸到相關資訊，因此在這部分評分為低。

4. 專家訪談

本研究亦透過專家訪談，詢問專家們對於星鏈服務對於台灣服務商之影響的看法，以討論出最可能的發展趨勢。

- **對目前固定網路服務的影響程度低**

經訪談發現，專家普遍認為基於國內的通訊發展現況，星鏈服務短期內不會對我國的固定網路造成太大的影響。

首先是電信技術中心副執行長表示：「影響程度可分兩層面來看，第一個是台灣寬頻普及率非常高。由於過往曾推動過村村有寬頻政策，因此有非常高的網路滲透率。另一個層面是，目前仍有光纖到不了的地方，如偏遠山區或海上，在這些地區則較可能需要衛星網路。但總體而言，至少在 5 年內，星鏈衛星對台灣影響不大。除非到未來星鏈如計畫中發射 4 萬多顆低軌衛星到太空，大幅提高衛星密集程度，使得每 bit 的傳輸成本降到比光纖還低的時候，才有可能對光纖網路產生競爭威脅。」

國家通訊傳播委員會技監從通話的原理說明星鏈可能的實際應用，以及其三大利基，並舉過去的例子說明星鏈可能造成的影響，他認為：「行動通訊以大哥大來講，假設我在北部你在南部，我打通電話之後，手機需要先找到附近的基地台，連上去之後還要傳回中華電信的機房，一般在都會的話就用固網傳回去。傳回機房後，會判別要打到號碼，譬如說是台灣大哥大，就會先對接到台灣大哥大的機房，找到號碼以後，就要找號碼的地理位址在哪裡，然後再透過固網送到附近的基地台所在位置。接著，會從基地台打給你。中間能透過固網傳輸就會比較快。都會區裡面鋪線很容易所以多用固網，可若是鄉村的話，鋪線就沒那麼簡單。星鏈服務比較有利基的第一個為偏鄉，過往是用微波或衛星（ST-2）回到機房，未來可以透過星鏈回到中華電信機房。第二個利基在於

緊急救援，比如颱風或地震來了，會把固網扯斷，星鏈可作為良好的備援。第三個利基是戰爭，以蘇俄跟烏克蘭的戰爭為例，過往可能用無人機以及同步衛星，但相對不穩定。另外還有船舶在海上行走的時候，需要跟陸地上通信，相比以往用海事衛星，價高且頻寬低，星鏈可以提供更高品質的服務。早期有一家業者，也就是台灣大哥大的前生『銥計劃』，想把這個衛星系統導入台灣。但是他往上打到衛星以後延遲很長，且沒有拿到執照，因此沒有成功。這幾年在美國普遍常用的是休斯衛星。美國地很大，人口不多，他如果要接有線通信服務很麻煩，因此多用衛星通信。台灣幾年前也有人想引進休斯衛星，但找NCC 評估後，發現政府對於偏鄉的固網建設很積極。另外還有一個問題，休斯引進後在價格高且網路速度不到偏鄉平均的 100Mbps 的情況下，打不贏台灣既有業者，也覺得不符合成本，後來就沒有引進。而星鏈的優點在於看的到天空就可以用。」

國家通訊傳播委員會北區處處長與台灣大哥大處長皆認為因為現在固網的三大業者，中華、遠傳，以及大哥大，市占率總額已幾乎百分之百。在目前星鏈以固網經營為主的前提下，他的主要服務對象為偏鄉與海上。另外再加上它的價格很高，會被青睞的可能性不大。

中華電信行動通信分公司高雄營運處總經理從民眾角度表示：「基於使用上的困難度以及對未知事務的學習成本，星鏈初期較難大幅推廣。他認為室內的事情，不是說用碟型的天線就可以解決，就我們目前的碟型天線是針對特殊的地方如大飯店、公司，或中華電信的衛星接收站。你講得當然是家庭用的，但這方面還有法令跟技術的部份，以及民眾的意願，另外還有抗爭的議題，這些都不是短期就可以這樣做。你放一定是在屋外，民眾也很難在一開始就認識，這是不是行動電話，或者會不會有電磁波，這些都是涉及到民眾感受的議題。當然如果在家裡窗戶去設，效果會怎麼樣。另外就是衛星的費用是蠻貴的，星鏈的商業模式到底怎麼樣，如果要快速導入。行銷策略會有影響，影響因素蠻多的。」

- **市占率低於 10%**

經調查，專家們普遍認為星鏈服務短期只會由特定需求的人申請使用，譬如山上偏鄉或船舶。再參考過去的國外衛星引入經驗，星鏈在國內不論是限於固網或是整個通訊網路服務的市占率都不會高於 10%。

電信技術中心副執行長表示：「若是跟家用比的話，目前台灣年輕人家裡其實擁有固定網路服務的比例偏低，大部分是直接使用 4G 或 5G 行動通訊服務。因此整體而言星鏈服務市占比例不會太高。可以參考 1990 年代引進的銥衛星電話，當時使用的人數沒有超過 10 萬。借鏡到星鏈服務，整體比例也不會太高，估計為 10-20 萬用戶數，且多為特殊用途，如喜歡上山下海的使用者。以比例而言，若是能在 5G 行動用戶中佔 1%即為高。固定網路加上 cable 約為 200 萬用戶，星鏈用戶市占率估計會落 10%以下。」另外，他也提到未來星鏈服務應用於 IOT，可補足 5G 信號到不了的地方。以國家角度而言，低軌衛星可作為山區與國土監控的物聯網應用。以服務商的角度，由於手機未來會支援衛星通訊，iPhone 也證實未來會研發此類的手機商品，中華電信或許在未來會開通這項服務，以作為通訊服務的備援，在此情況下，星鏈服務的市占率將大幅的提高，主要還是要看未來的商業模式為何。

國家通訊傳播委員會技監認為：「因為星鏈比較屬於特殊用途，山區及海上會有較高的需求。但陸地上既有 4G、5G 用戶太多了。當然有一種情形，如果未來可以將碟型天線做成手機的大小，就比較有機會。但仍然須考量其高費率與低頻寬。目前已有衛星通話的設備，但是較少有人在用。另外，目前台灣行動網路市占率因為一人不只一台手機，因此市佔率已超過 100%，星鏈很難超過 10%。」

國立成功大學交通管理學系教授認為星鏈服務不論是設備價格或通訊費都與現行的相比偏高，因此不具競爭力。且都會區覆蓋率很高，星鏈服務使用的無線的資源會它的瓶頸點。偏遠地區除非公部門、較有經費的，或既有業者沒

有提供服務的地方才可能有需求。因此市占率不會超過 10%。

中華電信行動通信分公司高雄營運處總經理表示目前尚難以評估，就目前的資費而言，衛星僅能吸偏遠地區、海上、高山等無基地台服務的地方，而這些區域的需求很少，短中期內難以超過 10%。

台灣大哥大處長同樣認為星鏈市佔率不會高於 10%，但針對山區的服務提供有其重要性，他表示：「像我們公司自己有評估怎麼星鏈怎麼合作。我們台灣大哥大在蘭嶼綠島，本來要自己打微波或租中華電信的頻寬，缺點是費用不便宜且頻寬有限，星鏈或許可作為補充資源。去年我們有在嘉明湖蓋基地台，需要的不僅是網路傳輸，更重要的是還要充足的電力。雖然可以用太陽能板及打微波輔助，但若用星鏈的話就可以吃星鏈的電路。山上的話其實 100Mbps 甚至到 20Mbps，他們就夠用了，因為登山者的需求多是獲得資訊而非其他用途。那一般大都會的上網，由於高速寬頻覆蓋率過高，不太會以星鏈服務作為主流。」

- **與 5G 的競爭又互補關係**

專家們經過對於星鏈服務使用者的需求分析，以及基於台灣的法律規範，認為 5G 與星鏈服務的關係將是既互補又競爭。

首先，競爭的看法來自國立成功大學交通管理學系教授，他認為星鏈作為固網業務，短期內對我國的固網產業為競爭者角色。而星鏈與 5G 的關係，是一個是固定網路，另一個是行動通訊的業務，有點像上下游關係的產業鏈型態，比如中華電信的基地台會用星鏈服務，就不用拉光纜。但若將來改成行動衛星地面站（Earth Stations in Motion, ESIM）的話，就會變成互補又競爭關係。

國家通訊傳播委員會北區處處長基於法規與星鏈主要客戶分析，認為：「事實上低軌衛星要在台灣發展，第一他會受到通訊監察的限制，再來還有外資的問題。因此他一定要找國內既有業者合作。目前國內三大業者市占已經幾乎固

定，星鏈只能作為互補。由於他目前是偏向固網的使用，因此可以針對偏鄉離島地區，固網建設未達的地方提供網路服務。例如原住民部落也將會是他們的客戶。綜合以上，互補的可能性比較大，除非有新的通訊業者進來才可能有競爭。」

電信技術中心副執行長基於台灣在電信業的特殊規定表示，在台灣由於通訊產業屬於特許行業，星鏈服務引進，勢必需要落地，與台灣既有業者合作，因此互補的可能性會大於競爭。但在美國則不一定，因為美國在某些國土區域上的 5G 行動通訊服務品質上沒有這麼穩定，消費者對於星鏈服務的使用意願會提升。

國家通訊傳播委員會技監從政府的角度與政策為基礎說明：「就我們政府這邊已經投入很多的心血跟資金在寬頻的建設。但現在面臨一點，台灣 70%的土地為偏鄉和山區，且台灣的人口 70%住在 30%比較都會區的地方，這會是一個問題。政府最近推出了『開放山林計畫』，主旨在於開放人民親近大自然。但是政府考慮認為此計畫必須有一個前提，就是通訊必須要好，否則發生緊急狀況會很麻煩。因此必須與林務局合作，改善通信不好的地方。然而山區鋪設固網非常困難，因此過去多用點對點微波，但微波也有困難，因為架設收發的點不好找。星鏈可以作為這個狀況的良好解決方案。」

中華電信行動通信分公司高雄營運處總經理從營運商的立場認為 5G 與低軌衛星勢必成為互補關係，並提出未來可以與航空公司合作，他說道：「我們都知道終端一直是個很熱門的議題，就我們初步了解，蘋果未來會支援這項服務。這將會是影響用戶意願的重大原因。因為衛星跟行動電話一定是互補，5G 頻寬很寬，速率很快，而衛星則可以針對偏遠地區及救災使用。無線的東西，頻寬是共用的，未來星鏈未來會針對搭飛機的乘客可以上網。因為現在搭飛機上網是個大問題，未來星鏈可以與航空公司合作。」根據目前最新資料，星鏈已與夏威夷航空（Hawaiian Airlines）簽訂服務提供合約，但實際運行狀況如何尚未可知。

台灣大哥大處長從用戶的角度出發，在訪談中他提到：「這跟用戶有關，不外乎是價金、方便、穩定性。星鏈目前是傳輸的媒介，他跟 5G 不在同一個需求。星鏈主要是針對 5G 涵蓋不到地方，那個地方可能有企業或大型設備這些需要網路服務的地方。」

- **小結**

對於星鏈服務對我國通訊服務商之影響，專家們抱持著正向的看法。國家通訊傳播委員會技監認為星鏈服務可以補足山區與偏鄉，沒有固網，以及建設基地台遇上電力不足的問題。過往有透過發電機試圖解決電力的問題，但非長久之計。因此星鏈可以帶來正面影響。未來或許與既有業者合作，在沒有信號的時候手機可以自動接到星鏈的訊號。

國家通訊傳播委員會北區處處長提出，短期內星鏈服務在台灣就像「摸石子過河」。第一是法規給他們的限制，需要與既有業者合作。過往業者像是遠傳跟台哥大在偏鄉的固網往往比中華還不足，若要在偏鄉提供網路服務通常需要跟中華電信租，其費用非常昂貴，因此他們與星鏈合作可能性較高。處長說明：「中長期，我個人認為低軌衛星的發展會走向行動業務，國外也有一些國家開放衛星電話可以做行動的使用。國內外目前將星鏈定位為固定的通訊，這會失去低軌衛星的優勢。未來若能有行動功能開放，將會大幅擴展。最主要是開放登山者的通訊需求。過往這些登山者到山上去，行動通訊涵蓋不到，建基地台的成本又高。有沒有可能未來可以用星鏈保證他們的安全？我之前大概有看過美國的銥衛星有一款手機，他是不能通電話的，但是他可以通 data，然而限於國內通訊監察制度，所以他無法成功導入台灣市場。」

電信技術中心副執行長雖抱持正面看法，卻也提出了對低軌衛星未來蓬勃發展後可能造成的疑慮。他說明：「由於台灣通訊商屬於特許產業，星鏈衛星落地勢必要與台灣既有通訊服務業者合作，且可以作為偏遠山區和海上的網路備援，因此不論短期或長期皆為正面影響。但衛星再怎麼布建，還是有物理特性

的限制，延遲勢必比光纖來的高。另外，當物件越來越密集有可能產生干擾的問題。」

台灣大哥大處長認為：「星鏈服務的主流服務絕對不會主打台灣。現在已經打這麼多衛星，一定會從地廣人稀或者發生戰爭的國家開始推廣，譬如烏克蘭。像南非 4G 建設就比固網還快，因為行動通訊的建設比固網更容易。另外，初期還需看服務在台灣這個區域，是否會有 100Mbps，但速度不是主要問題，而是接收的成功度如何？他要在台灣發展還需看他能提供甚麼程度的服務。我會給予正面的評價，主要是因為他給予了不同客源不同需求的服務，過往爬山要帶非常昂貴的衛星電話，現在多了一個選項。另外還有過往搭郵輪網路速度非常慢，可能只有 2Mbps，或許現在我就會租借星鏈服務。只是說他的業務發展就要針對特殊客群去經營。」

具有豐富衛星設備商經驗的芳興科技執行副總不認為它會影響固有的 5G 或固網的廠商。可能會對偏鄉或海上的船舶會是很好的應用。高山雖然很難建設高速網路基地台，但一般地方已經 90Mbps 以上。主要可以往船舶發展，過往他們都是用衛星，設備非常貴，而且一般的船上可以動的 VSAT 一台都是 10 萬美金以上，月租費超過 1000 美金。星鏈會是他們很好的新選擇。

中華電信行動通信分公司高雄營運處總經理保持中性看法。他認為星鏈服務會有一定市場(如國安需求、船舶通訊需求、偏鄉救災需求)，以本國情況而言是必需且必要，但市場卻不大(因地小人稠，4G 已幾乎可以涵蓋人口會到的地區)，而星鏈主要主場也不是台灣，同時衛星有通訊監察問題，若用來詐騙犯罪，通聯記錄調閱會是個問題。

而國立成功大學交通管理學系教授有別於其他專家的看法，他表示：「星鏈現階段是固定寬頻通訊業務，短期的發展對服務商來講影響不大，但是會以競爭的角色出現。但若出現 ESIM 的應用，可以放在飛機或輪船，他的天線的設計會更複雜，因為追蹤的物品本身在動，衛星也在動，那個時間點會有點變成行動通訊的服務，如果有這一塊進來台灣的話，就會與 5G 變成互補又競爭

的關係。競爭關係，有時候競爭會促使他們成長，有可能是良性競爭也可能是惡性，對服務商來說可能是利潤變小。」

綜合上述，最後不確定軸面的未來發展趨勢整理如表 15。三個不確定軸面可得 8 種不同的情境，依據表 13 來選定並命名，結果如表 16。

表 15　不確定軸面的未來發展趨勢

不確定構面	考慮因子	發展情況	未來趨勢
使用者對星鏈服務之意願	消費者對星鏈服務價格的接受度	負向	低
	消費者對星鏈服務需求度	負向	
	星鏈系統使用便利性	正向	
星鏈服務品質	星鏈服務網路穩定度	負向或正向	短期低長期高
	星鏈服務衛星密度	負向或正向	
	星鏈服務在台灣網路速度評估	負向或正向	
星鏈服務競爭力	通訊服務市場既有競爭者競爭強度	負向	低
	通訊服務市場替代品威脅強度	負向	
	國內電信業者之合作意願	正向	
	星鏈服務的推廣度	負向	

資料來源：本研究整理

表 16　情境選擇

情境編號	使用者對星鏈服務之意願	星鏈服務品質	星鏈服務競爭力	情境選擇與命名
1	低	低度穩定	具低度競爭力	短期情境
2	低	低度穩定	具高度競爭力	✕
3	低	高度穩定	具低度競爭力	長期情境
4	低	高度穩定	具高度競爭力	✕
5	高	低度穩定	具低度競爭力	✕
6	高	低度穩定	具高度競爭力	✕
7	高	高度穩定	具低度競爭力	✕
8	高	高度穩定	具高度競爭力	✕

資料來源：本研究整理

4.2.3　情境內容

本小節經由上一節對於不確定軸面的分析後所得到的情境進行描述。

1. 短期情境（使用者對星鏈服務之意願低、星鏈服務品質低、星鏈服務競爭力低）

在國內普遍網路月消費為台幣 1000 元左右的情況下，消費者認為星鏈服務月費約台幣 3000 元過於昂貴。對於星鏈服務也因為已經有快速且穩定的通訊服務而導致需求度低。且在五年內，星鏈計畫衛星發射數量尚未足夠提供非常穩定的連線。國內通訊服務業者如中華電信雖有合作意願，但同為通訊服務的替代品如電信業者或 cable 威脅高且因為台灣對星鏈服務之需求不如地廣人稀的國家如澳洲高，因此較難推廣。

2. 長期情境（使用者對星鏈服務之意願低、星鏈服務品質高、星鏈服務競爭力高）

在 10 年的長期情境下，星鏈服務如提案內容，成功發射 42,000 顆衛星至衛星。雖然台灣使用者需求仍然偏低，但在衛星密度高、網路穩定度上表現優異、且台灣實測網路速度快的情況下，或許可以與現有服務產生互補關係。填補目前與國內電信業者無法抵達的地方，譬如台灣近海的郵輪、漁船上。目前國內最有意願與星鏈服務合作的中華電信，原本便具備最完善的固網設備。

4.2.4 星鏈服務核心競爭力

此小節目的在於了解星鏈服務的核心價值，以探討其在未來市場中主要扮演什麼樣的角色以及發展性。藉此作為他對國內通訊服務產業可能產生的影像力評估依據。根據文獻顯示[30]，核心競爭力應具有三項特點：市場上很少見、不易被競爭對手模仿、很難被替代。綜觀第二章背景回顧與文獻探討之內容，可將星鏈服務核心競爭力歸納為以下幾點：

1. 高於 100M 的衛星網路服務

過去偏遠地區的網路服務，由於離市區過於遙遠且人口分布相當稀疏，因

此甚少有光纖服務，甚至沒有固網建設。地球同步衛星或者現有低速固網服務便成為了他們為數不多的選擇。然而隨著科技進步與發展，傳統的衛星服務的網路速度已無法負荷現在人民的使用習慣。如觀看 YOUTUBE 影片、進行線上串流等等活動，皆需要高於 100Mbps 的網速，有些服務或許要到 300Mbps 才能有良好的使用體驗。

用戶只需在有提供星鏈服務之地區，購買星鏈之碟型天線後再經由說明書的安裝，便可提供室內固網或 Wifi 約 100-300Mbps 的網路服務。根據目前烏克蘭戰地使用報導，星鏈服務基於廣泛式的全球衛星結構，提供戰地網路服務不穩的解決方案。對於一般人民來說，星鏈服務只要再有提供服務之地區，成功安裝便可使用，對於網路速度很慢的偏鄉地區相當地方便。

2. 先行者優勢

相比其他低軌衛星業者如 Amazon 的 Kuiper 衛星系統、OneWeb 的 LEO 衛星系統以及 Telesat 的 Lightspeed 衛星系統，星鏈服務為目前發射衛星數量最高的業者，部分業者甚至依然停留在準備發射衛星階段。根據報導，去年四月 FCC 允許了 SpaceX 要求，同意其以提高訊號連接速度、擴大高速衛星網路服務，把發射高度調降到五四○至五七○公里，此舉雖引起 ViaSat、Amazon 等業者不滿，Viasat 更一狀告上美國哥倫比亞特區上訴法院，但美國聯邦法院最終駁回 Viasat 訴訟，無疑象徵著 SpaceX 的再一次在競爭者中獲得先行的勝利。另外，在 FCC 先到先審的制度之下，不僅在衛星位置衝突情況下擁有較優先的權限，也最容易在消費者的消息間普及。雖然目前星鏈服務仍在服務測試階段，尚未全面的提供正式服務，但卻是普及率和知名度最高的低軌衛星業者。

3. 背後 SpaceX 集團的支持力量

在文獻回顧時曾提到，低軌衛星屬於技術和資金密集需求的產業，其進入門檻非常的高。不僅前期需要大量的發射衛星成本，且低軌衛星平均五年就會折舊，在整個經營過程中都需要非常大的資金支援。

有趣的是，相較於其他競爭者多半為跨業經營，星鏈服務所屬的集團 SpaceX 原先主打的便是衛星發射服務。不僅擁有衛星製造之垂直整合的能力，且基於不斷創新的精神，SpaceX 打造出可以重複發射的火箭，讓營運成本大幅降低。在這樣的前提下，星鏈服務發射衛星的成本不僅相較於其他競爭者低，其母公司 SpaceX 也能藉由幫其他業者發射衛星的利潤支援星鏈前期所需的大量資源。

4.2.5 分析情境及策略建議

本小節將結合情境與上述對核心競爭力的描述，分析未來星鏈服務在台灣的可能情境。

1. 短期情境

在短期情境下，相較於國內其他現有的網路服務，使用者對星鏈服務之意願低、星鏈服務品質尚未穩定、星鏈服務在價錢上相對國內電信商競爭力低。但基於星鏈服務的核心競爭力，可以提供尚未鋪設 100Mbps 以上的光纖網路的民眾新的解決方案。惟在價錢部分，民眾或許較難買單。以下將針對星鏈服務以及中華電信的視角進行分析並提出建議策略：

- 於星鏈服務而言

星鏈的落地服務，須有完善的衛星訊號收發站，透過將地面的固定核心網路訊號打至衛星後，再由衛星提供網路給最終用戶端，才可以提供正常的網路收發功能。根據我國將通信業列為特殊產業之相關規定，星鏈服務若欲落地，必將與既有電信商合作。以台灣國土領域，目前估計需要兩座衛星收發站。而目前國內網路建設最完善的電信商為中華電信，星鏈服務若有意於台灣提供服務，必定與之合作。自 2021 年起，媒體上便不斷有著中華電信將與星鏈服務合作之風聲。雖然而在 2022 年初，中華電信雖證實在未來業務上將與星鏈進行資

源與擴展上的交流，卻表示因此今年確定還不會在台提供服務。但隨著烏俄戰爭開打，星鏈在戰場中扮演了特殊的網路服務角色，我國政府也規劃了供低軌衛星使用之頻道，因此學生認為有機會加速合作進度。

- 於既有通訊服務商而言

綜合第四小節前段之分析，在短期內，基於其費率昂貴且衛星數量尚低，可提供服務之品質也尚未穩定，因此星鏈計畫在使用者吸引力上對於國內通訊服商之威脅甚低。 因此雖然星鏈會以固定通訊服務競爭者角色出現在台灣，但影響非常低微，我國既有通訊服務業者可與其討論其在台灣之商業模式，已為長期鋪路。

2. 長期情境

在長期情境下，雖然使用者對星鏈服務之意願低，但在衛星密度高、網路穩定度上表現優異、且台灣實測網路速度快的情況下，或許可以與現有服務產生互補關係。填補目前與國內電信業者無法抵達的地方，以下為針對長期情境下的策略建議：

- 以穩定的高頻寬網路提供偏鄉網路補充方案

長期情境下，星鏈服務除了價錢以外，其網路服務之品質在台灣已經有與其他電信業者一戰之力。目前雖有保護偏遠地區相關的電信基礎建設法規，但仍有些地區無法提供光纖網路，或是限於 100Mbps 以下。在以我國既有業者合作的前提下，星鏈服務將可以大幅改善此情況，將台灣高速高纖版圖拓整得更加完整。根據調查，中華電信計畫加強雲端 IDC 數據中心、資安防護，以及藉由 5G+AIoT 推動各類產業發展，同時也將藉由海底電纜、低軌道衛星與全球接軌，讓網路傳輸頻寬提升之下，銜接更多新技術發展機會。對於如台灣大哥大及遠傳電線而言，星鏈可以補足過往需要跟中華電信租賃之光纖電纜的地區，

但效果及費用如何，還需待日後觀察。目前星鏈服務在主要服務地區，如美洲、澳洲、歐洲等，已架設較完善的衛星軌道和地面收發站。雖然目前以衛星監控網站觀看，亞洲上空的衛星部屬較為稀疏。但就星鏈服務向 FCC 申請之文件，可預估未來在全球衛星佈局密度上將相當可觀。

- 以可移動式寬頻網路為焦點的異業合作

星鏈服務在未來衛星密度非常密集的情況下，將成為海上通訊的全新解決方案。過去海上網路費用極高，即便輪船或是漁船向電信商購買了吃到飽方案，船員也需要透過時間分配，在特定的時段內使用，且能使用的頻寬極低，僅夠傳輸文字類的訊息。

根據 FCC 文件顯示，SpaceX 已經向其申請提供載具上的衛星互聯網服務。這邊指的網路需要的載具非止一般的手機或汽車。而是需要能夠建設地面網路收發站之大型載具，如中大型漁船、郵輪等。在星鏈服務可提供高於 100Mbps 網路服務的情況下，將大幅改善海上的生活品質。

我國身為海島國家，對外貿易金額高，且船業發達，不論是近期正紅的海運業，或者漁船業，皆為未來星鏈服務可與我國合作之對象。另外星鏈服務長期情境下，也有可能搭配其特斯拉汽車，將智慧交通與低軌衛星整合。除了在充電站設立星鏈服務之功能，也開發電動車內建的 12V 點菸器幫星鏈接收器供電。只要電動車有電可用，就能藉由星鏈衛星連上網路，變身為不論在何處都能隨時保持聯網狀態的行動基地台。

3. 小結

星鏈計畫眼中的衛星網路市場，在於缺乏地面網路基礎設施的區域，更重要的是，這是塊真正的「全球市場」，可以跟集中於人口稠密處的 5G 基地台網路互補。台灣在網路服務市場雖然已接近百分百飽和，但仍有其導入價值與意義。本論文原透過不確定軸面分析，基於我國通訊服務覆蓋率非常高，且費率很低，且星鏈因短期內低軌衛星數量不高，因此評估短期內品質較不穩定，使

用者對星鏈服務需求低，且其競爭力亦不高。專家也表示短期內星鏈服務對國內既有通訊服務業者的威脅與影響皆為低，且市占率將低於 10%。且因為來星鏈服務可以與 5G 所涵蓋不到的地方進行互補應用，例如偏鄉、山區、船舶，以及航空。另外，在訪談中所談到未來星鏈有可能做出如手機般大小之最終用戶端，將有大幅擴展的機會，但這點還需依賴星鏈有技術上的突破，以目前天線製造技術尚無可能依靠小面積天線，就能收到低軌衛星從上空打下來之訊號。總體而言，星鏈服務對我國通訊服務商來講，雖為競爭者角色，但由於競爭力低，且可以補足尚未鋪設光纖網路之地區，因此為正面影響。

4.3 通訊設備商影響分析

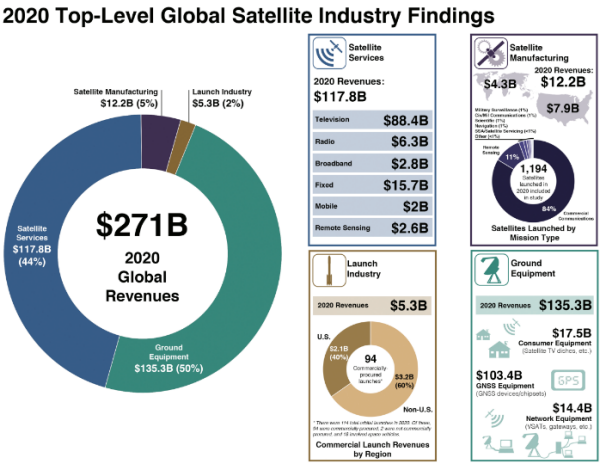
這個小節的目的在於了解星鏈服務對於台灣的產業帶動效果。

據《美國衛星產業協會》（SIA）報告，如圖 26，2020 年衛星產業營收規模達 2,710 億美元。其中以衛星服務、地面設備為主。另外，據其《2021 年衛星產業狀況報告》指出[31]，即使 2020 年全球受新冠肺炎重創，除去一部分衛星產業的營收受到輕微的影響以外，整個太空產業仍然保持穩定成長的狀態。並且在發射數量及產業經濟指標上，也創下了有史以來的新高。針對衛星數量，報告顯示 2020 年的衛星數量連續三年皆創下新高。截至 2020 年底，圍繞地球衛星總數增加了 37%，共計 3371 顆衛星。根據統計，目前地面接收設備領域，包含地面訊號收發站、最終用戶端、核心網路實體架構等，營收約佔整個低軌衛星市場的五成。

太空經濟研調公司 Euroconsult 預測[32]，由於全球市場中的資料服務使用者終端需求擴大，提供了一個良好的成長機會給太空產業。因此預計在終端使者這一塊的產值將在 2030 年將增加一倍，由 30.0 億成長到 75 億美元；2021 年至 2030 年的累計市值將為 670 億美元。

接下來的內容將包含台灣目前有可能參與低軌衛星產業鏈的廠商介紹，以及其各自可能負責的零件，輔以政府對於台灣衛星事業的支持。最終，分析出

星鏈服務對於整個產業面的影響評估。



資料來源：《美國衛星產業協會》

圖 26　2020 年衛星產業營收比例

4.3.1　構面分析

在這個章節中，主要介紹我將會以何種方式進行設備產業面的分析。如架構圖 27 所示，首先，需要釐清目前星鏈服務所使用的架構設備需要哪些元件。盤點完元件後，接著需要了解台灣在衛星產業上的資源及開發環境。接著，國家的助力也是產業是否能具有發揮空間的重要因素，因此將政府法規納入了評估架構。最後經由上述分析並參考政府資料，提供星鏈服務可能帶來之影響預期產值。

圖片來源：本研究整理

圖 27　通訊設備影響分析架構

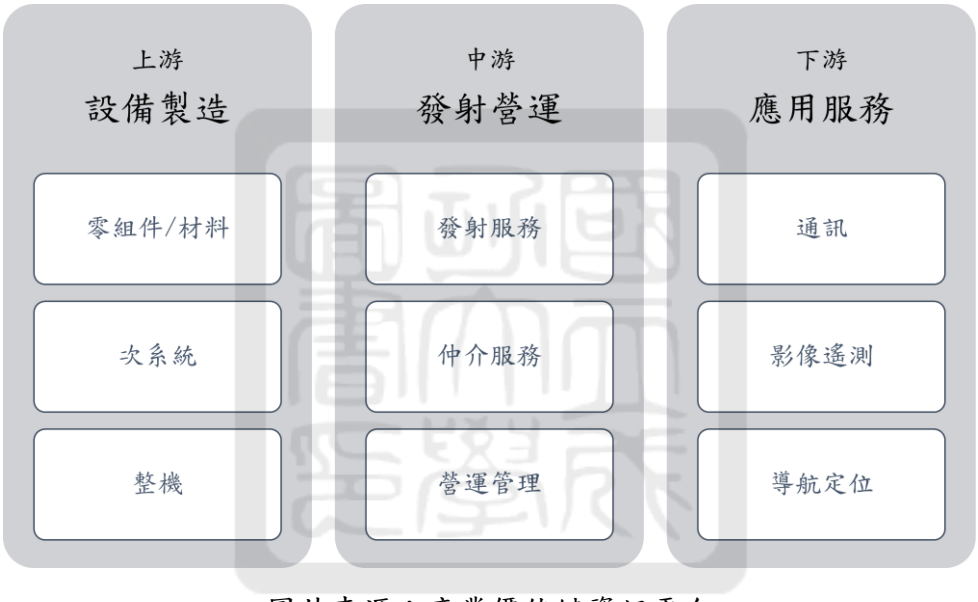
4.3.2　技術構面

如圖 28，在整個低軌衛星市場中，太空衛星科技產業鏈上游包含零組件供應與設備製造，中游為發射營運商，下游為應用服務商[33]。基於我國在製造上的經驗與能力，本論文將會在上游之設備製造多加著墨。

如圖 29，在設備方面，主要可分為藍區的太空衛星、紅色的地面收發設備，以及綠色區域的最終用戶端。所需供應商又可分為以下幾類：

1. 整機：

主要可分為衛星、發射載具、太空船及地面設備等四大類型。依照設備類型各自擁有不同之次系統及零組件供應廠商。



圖片來源：產業價值鏈資訊平台

圖 28　太空衛星科技產業鏈

2. 次系統：

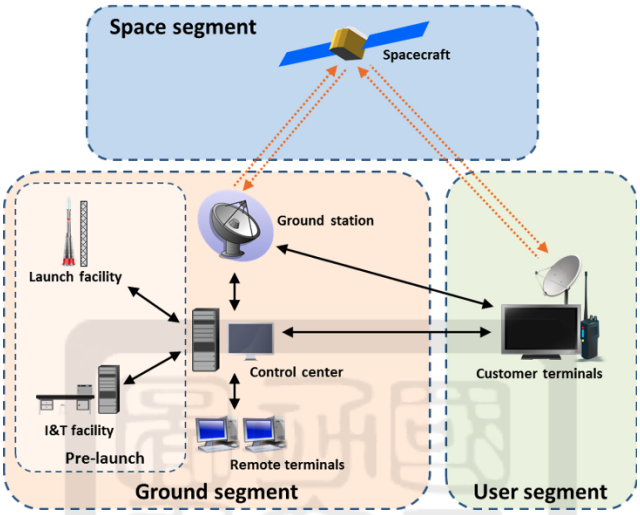
整合零組件及材料後依照不同設備所需之功能，提供相對應之次系統，主要包含酬載、通訊、航電系統、結構、電源與熱控等。

3. 零組件／材料：

主要可分為通訊使用之天線及射頻/基頻元件、晶片、太陽能板、電池、感測器、微電子、金屬、燃料等。其中天線可分為碟型天線、一般天線與平板相位陣列天線；隨衛星通訊逐步採用毫米波頻段，衛星服務商與設備業者多投入發展與採用相位陣列天線，負責陣列天線控制之 Beamforming IC

為關鍵零組件。

如圖 30 所示，國外已布局 LEO 市場多年，目前 LEO 地面收發設備供應鏈缺口，主要為波束型技術應用、射頻前端路設計、地面設備系統整合，以及精密機械元件。



圖片來源：https://link.springer.com/article/10.1007/s10207-020-00503-w/figures/1

圖 29　星鏈服務設備架構圖

1. 波束成型技術應用：

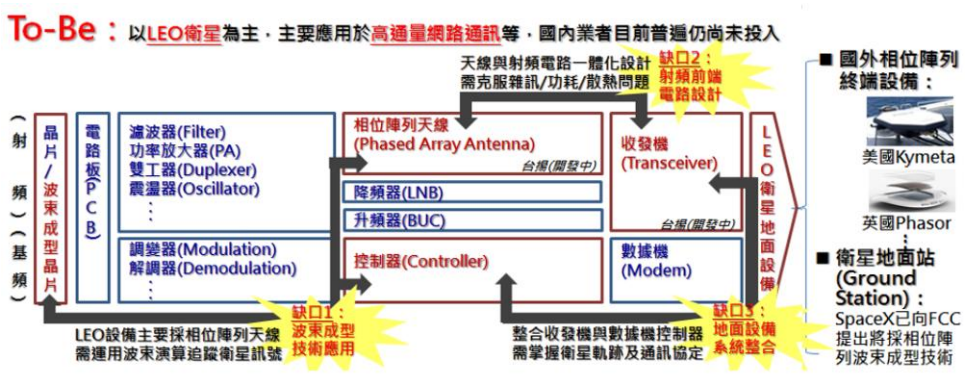
   相位陣列天線、波束成型晶片、基頻控制 技術、衛星軌跡運用波束成型演算法等。

2. 射頻前端電路設計：

   一體化封 裝設計、毫米波射頻元件、抗高溫與抗雜訊設計等)、地面設備系統整合(如 射頻收發機及基頻數據機等)，以及

3. 精密機械元件：

   地面接收碟盤天線模組、 天線轉向控制器結構模組。



圖片來源：資策會系統所

圖 30　衛星地面設備產業鏈及主要缺口

4.3.3　國內衛星產業發展環境構面

此章節以衛星四大架構作為分析構面，如圖 31，包含衛星製造、衛星地面設備、衛星發射、衛星服務。分別討論台灣在各領域的資源及競爭力，已討論未來台灣衛星產業的主力研發方向。

資料來源：本研究整理

圖 31　台灣衛星四大次產業能量圖

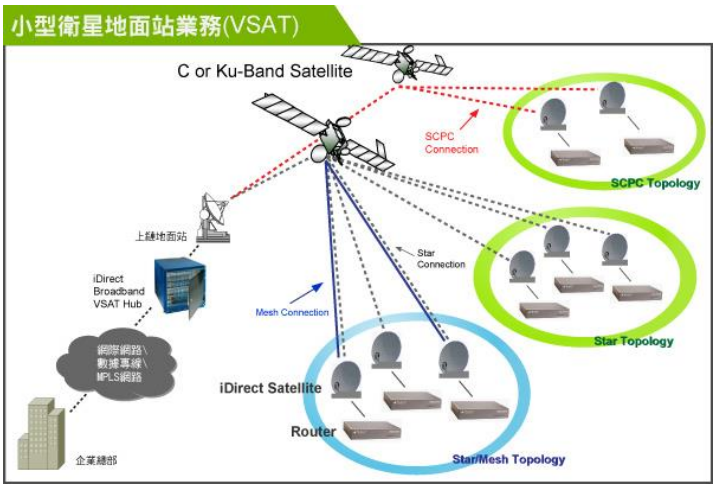
1.　衛星製造

低軌衛星不同於原地球同步衛星，其使用年限通常只有 3 至 5 年。在星鏈服務未來需要上萬顆衛星以提供完整的服務之情況下，壓低衛星製造成本勢在必行。[34]台灣雖非聯合國會員國，無法自主發射衛星。然而太空中心仍然因

為需要協助福衛系列衛星在飛行測試時所用之備品製作，因此具備研發遙測衛星應用之經驗。其需要的能力與設備包含系統整合、培植衛星電腦、推進與姿態控制、電力系統、衛星本體結構、RF 天線等。在上述衛星零件中，台廠具有優勢在於台製元件較歐美國家便宜了一至三成。且台灣的高科技人才密集，供應鏈完整，可以提供可靠且效率的工程服務。唯獨缺乏通訊酬載的相關整合經驗，若要在發展衛星製造，建議須在前期與國外專家團隊合作。

2. 衛星地面設備

基於台灣近年來製作小型衛星地面站（Very Small Aperture Terminal, VSAT）基礎，以及擁有多元產業以及科技人才的研發能力，如半導體、PCB、網通、金屬工程等，在地面接收之元件領域台灣具備高度的競爭力。（註：小型衛星地面站設備架構如下圖 32，包含天線、機組構件、高頻無線通訊模組、電源供應器等元件等）。目前我國在碟型天線、RF 元件已打入國際市場。雖然過去主要是以 GEO 收發應用及衛星電視市場為主，但既有的高頻 RF 天線也可支援 LEO 碟型天線小型接收設備，也就是未來整個星鏈系統最大數量的最終用戶端。另外國內已具有提供 ICT 商用現成品如 Cable 或高頻材料的能力，在售價上同衛星製造領域一樣具有價格上的優勢。



圖片來源：中華電信官網

圖 32　小型衛星地面站通訊網路服務

3. 衛星發射

國內目前因為非聯合國會員國，不具備發射國際衛星之資格。目前大部分以支援學術研究發射需求為主，且仍在研發測試階段，尚未進入商用階段。且衛星發射成本極高，產業門檻極高，因此未來以衛星發射為主力之可能性低。

4. 衛星服務

台灣目前衛星服務以衛星電視產業為主，主要提供衛星電視轉播服務。次者為地球遙測應用，如資源調查、地表環境監測、人類活動監測等。截至目前尚未有與國外發展蓬勃之低軌衛星相關應用，因此在衛星服務的部分發展性同衛星發射一樣為低度可能。

目前已確定加入 SpaceX 星鏈計畫中的台廠為金寶、啟碁、昇達科、台揚、同欣電、群電、公準、穩懋、華通、台光電等。另外在太空衛星設備方面，由於其所在環境較家用嚴苛許多，因此其商業價值也較高。台灣在太空衛星設備領域，也有半導體封測和衛星晶片等廠商積極的切入中製造供應鏈中。國內目前有機會加入星鏈服務設備供應鏈之上櫃公司可整理如表 17。

4.3.4 政府法規構面

是否能吸引星鏈衛星產業鏈進駐台灣，除了考量目前衛星產業台灣業者所具備的能量以外，政府態度為重要考量因素。其中包含政府是否發展衛星產業政策與措施，以及完善的法制環境與單一服務窗口。

國內廠商初入衛星產業時，首先最容易遇到的便是資金方面的問題。原因來自於衛星產業的進入門檻極高，不僅需要衛星相關技術，產品認證周期也較一般產業長許多，這些原因導致廠商在建業初期會需要大量的資金來支持開發與營運。再者，由於國內金融產業對於衛星領域較為陌生，因此通訊廠商較難獲得投資與融資的機會。

表 17　有機會打入星鏈服務供應鏈關鍵台廠

次系統	天線次系統	中衛、也翔、鍵吉、蔚品、啟碁、芳興、譁裕、詠業、群創、兆赫
地面設備元件	上游元件	全訊、穩懋、笙科、宏觀微、昇達科、台揚、啟碁、芳興、兆赫、百一、台光電、騰輝、昇貿、華通、新復興、敬鵬、聯德控股
	電源、纜線及連接器	維熹、萬泰科、正崴、康舒、系統電子、群電、仲琦
	路由器、機上盒	建漢、啟碁、仲琦、泰金寶、和碩、百一、致振、兆赫
	衛星導航晶片及模組	聯發科、鼎天、環天、麗臺、台灣國際航電、神達
衛星本體元件	通訊元件	南亞、華通、興普、華泰、穩懋、同欣電、漢翔、事欣、信邦、詠業、創未來
	結構	漢翔、台灣穗高、公準精密、和碩、和大
	電力	力創光電、晶泰科技、長生科技、元晶

資料來源：本研究整理

資料顯示[35]，為了鼓勵我國通訊相關廠商深耕衛星產業，在這個太空時代與國際供應鏈接軌，並促進產業生態系運作順暢，我國經濟部為了解決上述來自技術以及經濟的問題，規劃將舉辦多場產業推動分享會。目的在於擴大產業能見度，以及宣傳政府推動產業的相關措施。另一方面，政府也將持需優化與推動補助措施，並協助想進入衛星產業的廠商提出申請，解決業者的疑慮。

根據官方公告，配合科技部「Beyond 5G 低軌衛星-通訊衛星發展」計畫推動以下計畫。其中包含了「低軌衛星地面通訊設備技術開發計畫」、「低軌衛星通訊酬載技術研發計畫」，意在加強研究方與產業的連結。經濟部技術處 110 年度「科技專案」計畫下 7 項新興計畫 中包括：「低軌衛星地面通訊設備技術開發計畫」1 億 3,500 萬 元(總經費 5 億 4,000 萬元)、「低軌衛星通訊酬載技術研

發計畫」 畫 2 億 6,145 萬元(總經費 10 億 4,580 萬元)，補助對象均為工研院，以上 2 項計畫內容及預計效益概要如下：

1. 「低軌衛星地面通訊設備技術開發計畫」:

預計將提升衛星地面通訊產業技術能量，提高產業競爭力，完成衛星自有地面通訊系統建置與驗證，提升台灣衛星地面通訊設備廠商供應鏈之能量。提供衛星通訊實證場域，協助廠商打入國際供應鏈，透過自主衛星通訊系統與地面設備元件之發展，提供廠商產品實證之經驗與環境，協助國內廠商取得上太空門票，切入國際供應鏈。

2. 「低軌衛星通訊酬載技術研發計畫」:

預計將建立衛星通訊酬載技術能量，提升太空通訊科技發展，完成自有低軌通訊衛星技術開發與系統建置，驗證台灣自主發展之通訊酬載衛星。布建低軌寬頻通訊衛星星系滿足國家通訊需求，藉由研製衛星通訊酬載系統，未來可延伸布建低軌寬頻通訊衛星系統，提供衛星寬頻通訊網路及政府施政需求。

4.3.5 市場預期產值

本研究之市場預期產值，係參考由工研院產科國際所公告之資料。如下圖 33 所示，工研院產科國際所預估至 2024 年全球衛星產業將上看 3,035 億美金，CAGR(2019-2024)為 2.34%。其中由於 LEO 未來的大量佈建，規模與預期強化將支援通訊服務等因素，使衛星各次產業成長潛力依時間軸發展各有不同；其中地面設備暨次系統主要包含 Networking、Consumer、GNSS 終端設備等三大項目，預期低軌衛星產業在地面設備發展將繼太空端的衛星 製造與發射後，迎來量產的規模市場，同時因應產品開發初期單價高、毛利高，形成優先布局的次產業項目，而衛星服務應用則預期將在 2027 年趨於完整。

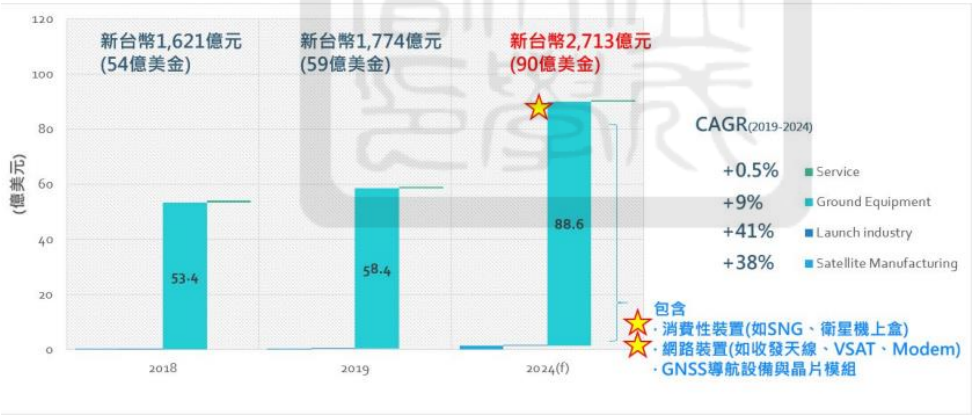
伴隨全球低軌衛星趨勢，如圖 34 所示，2019 年台灣衛星產業總產值約計

新台幣 1,774 億元，預估至 2024 年將上看新台幣 2,713 億元，CAGR(2019-2024) 為 8.9%。

資料來源：工研院產科國際所 (2022)

圖 33　全球衛星產業預估

其中因應低軌道衛星(LEO)大量佈建，將尋求可靠且低價的元件 供應，使得我國在衛星製造及對應的地面接收設備(如 Very Small Aperture Terminal, VSAT)之元件及系統供應，有機會打入國際衛星供應鏈。



資料來源：工研院產科國際所

圖 34　台灣衛星產業預估

本研究亦透過專家訪談，詢問專家們對於星鏈服務對於台灣設備商之影響的看法，以討論出最可能的獲利來源、預估產值，以及面臨的挑戰。訪談內容如下：

- **最終用戶端擁最大的獲利空間**

有鑑於台灣過往製造 VSAT 的經驗，以及我國在科技業基礎，專家們認為我國在星鏈服務中，最有機會從終端設備的相關元件製造獲利。然而需要考量的點是，星鏈服務的主要設備多已由 SpaceX 設計完成，因此獲利或許不如外界預期的多。芳興科技執行副總表示：「現在看到的星鏈設備，我認為最終用戶端會是最多的，中型地面站數量就會比較低，接著是低軌衛星製造與發射。這些設備，星鏈其實都已經設計好了，過往一兩年有來台灣徵商，尋找台灣的供應鏈。不論是最終用戶端還是地面站都有，但都把設備拆到很細很細，因此很多廠商不太願意做。現在可以從新聞報導可以看到有些公司，比較偏向代工，且因為拆得太細因此利潤估計不會太高。」

台灣的既有衛星相關業務包含了晶片製造、高頻模組、天線等都是進入這個產業的利基。成功大學交通管理學系教授認為，低軌衛星的製造的公司會賺到一些錢，像是天線、濾波器，還有用戶的終端設備，如 RF 以及 IC 電路設計都會賺到錢。波束合成，數位雷達的概念需要大量的 IC 設計，因為是行銷全世界的，所以量會很大。中華電信行動通信分公司高雄營運處總經理也表示：「台灣還是以設備製造優勢為主，因此設備商的晶片部分還是更重要的，零件製造商一定是受惠的。且國內已經有很多的製造廠商，像台揚，以及晶片部分都在星鏈產業鏈中了。」電信技術中心副執行長也認為以台灣來說，終端設備將是最大的獲利來源。台灣硬體技術一向非常好，尤其過往有許多高頻模組與天線的製造經驗，這些都可以使得國內在參與終端用戶設備的產業鏈上有高度的競爭力。

國家通訊傳播委員會北區處處長認為未來衛星製造還是會以外銷為主，因為國內的市場不是非常大，國外外幅員大，地廣人稀的情況下對低軌衛星的需求比較大。

台灣大哥大處長從樂於爬山的人群觀點出發，他在訪談中提到：「台灣我覺得，主要要爭取的是設備的供應鏈。台灣本來的強項就會是設備供應。基本上衛星製造跟發射已經打那麼多個上去了，這裡要侵入的點，應該會是最終用

戶端的領域。另外未來星鏈若可以做成手機般的發射，不同於現在都還需要買碟型天線，精簡化後讓他放口袋就可以出去用，如此的突破或許就可以大幅擴張。當初 3G 手機的時候，非常耗電且發燙。但目前都已隨著技術發展而突破，因此未來星鏈或許也可以往這一塊改變。例如我們以後的手機除了 5G 也可以接衛星的話，像我這種愛爬山的就會很心動。但連衛星的話電池是一個問題，像現在離基地台只有 200 公尺，但未來有可能距離 50km 以上。」但考量目前最終用戶端的相位陣列天線實際大小約為一平方公尺，儘管科技會因為時間而進步，至少在 10 年內很精簡至如手機一般的大小。

- **產值貢獻**

在產值貢獻方面，專家們在訪談中有兩派看依法。其中一方認為我國設備商如射頻或是 IC 設計皆具有技術與成本之優勢，因此大有可為。加上國際局勢之因素，如國立成功大學交通管理學系教授提出：「俄烏大戰以後，我國對於歐美國家信任度蠻高的。鑒於我國以有一些公司已加入產業鏈，對未來我會持比較正面的看法。」另一方面則認為星鏈服務所能帶給整個衛星產業的產值不會太高。原因來自於台灣通訊與衛星產業的其他業務如伺服器以及太空計畫已佔大多數的產值比例。如電信技術中心副執行長在訪談中提到，以整體通訊產業的話，由於台灣屬於伺服器大國，因此星鏈服務在整個通訊產業的產值比例不會太高。且以第最終用戶端的獲利分析可知，基於代工且零件拆分過細的情況下，獲利很難如外界預期。但整個國家在衛星產業上有因為星鏈服務而將準備大幅擴展，而這項擴展也將在未來佔整個國內衛星產業之產值的一大部分。

國家通訊傳播委員會技監認為：「初步來講，如果沒有釋放資源，產值只有在周邊那塊，就不會太高。未來科技部的太空計畫，會帶動相關計畫成長，產值就比較大。政府因為星鏈這個事情有注意到這一塊，預計年底前會推出太空計畫。」

芳興科技執行副總也提到：「2019 年的 1774 億多為台灣衛星中心計畫所提供的產值，其中包含衛星地面站，也有很多公司在做。論文表格中很多是有在做衛星元件，只是非低軌衛星，我認為有在低軌衛星裡的公司不多。因此我評估在 2700 多億裡，星鏈佔比不會太高。目前太空中心發射的衛星一顆就要一兩百億，工研院目前也有在做酬載，一年總共將有幾百億的預算要做。」

雖然短期來看機會不大，但也有專家認為長期下來，由於低軌衛星只有 5 年的壽命，或台灣能在衛星製造有所參與如提供晶片，便有較大的機會。中華電信行動通信分公司高雄營運處總經理表示：「高頻通訊零組件較有機率有貢獻，但即使星鏈的衛星向 FCC 申請最多 4 萬多顆，全球所有衛星業者加起來的數量仍遠比不上地面上的基地台數量，因此 5G 對通訊產業的產值貢獻會多很多。另外考量 MTK 為全球物聯網(NB-IoT/LTE-M)晶片主要供應商之一，近年來 MTK 積極布局 NB-IoT/LTE-M over 衛星服務標準及市場，倘若星鏈服務成熟，應可擴大通訊晶片產值。」台灣大哥大處長也認為：「如果以 2024 年來看，我認為比例不會太高。但假設它的市場是成熟的，而且低軌衛星只有 5 年壽命，長期或許會有大量的機會。」

- **國內產業面臨的挑戰**

根據訪談，國內若要參與星鏈服務之供應鏈主要面臨的挑戰將來自元件拆分過細，衛星製造進入門檻過高、國際衛星製造規範，以及來自漂白後的紅色供應鏈的低價競爭。

首先是元件拆分過細的問題，芳興科技執行副總表示：「台灣其實會做的東西太多了，且在品質跟價錢相比歐美國家都很有競爭力。譬如降頻器 90%都是台灣做的，還有像是衛星的碟子、天線的反射面等，中衛跟也翔在全球排名也很前面。星鏈這些廠商找台灣都是首選，但是它將元件拆得這麼細，要找到合適的廠商就不好找。這麼細的話也可能找其他國家來做也不一定比較貴。」

電信技術中心副執行長認為如果從終端設備角度來看的話挑戰不大，因為

台灣已經有幾家廠商在供應鏈裡面。但在衛星酬載的部份就會面臨比較大的挑戰，因為在太空中對通信設備的可靠度要求相對來說高很多，需要考慮如太陽輻射和太空風暴的問題。

國家通訊傳播委員會北區處處長基於法規問題，他在訪談中提到：「首先是政府的法規，國內是否開放外資進駐，以及通訊監察的規範。目前外資比例直接加間接上限為百分之六十，他將無法完全掌控台灣的經營市場，這是需要考量的點。台灣要打入這個世界市場的話，會考慮到是否符合相關國際規範。另外，晶片製造是國內很強的部份。未來，外銷的衛星設備也將會面臨審驗認證的問題。」

針對紅色供應鏈的低價競爭，中華電信行動通信分公司高雄營運處總經理給出建議如下：「考慮目前部分廠商已有打入供應鏈，未來面臨的挑戰將主要來自漂白後的紅色供應鏈的低價競爭。整合 5G (或 6G)及星鏈服務才是未來藍海市場，通訊標準 Essential IP 布局及掌握是關鍵挑戰議題。」

除了上述的挑戰，台灣目前也面臨的嚴重人才荒的問題。國立成功大學陳文字教授認為電波有關的 IC 設計人才非常難培養，進入門檻也非常高，且這個問題很難在短時間內獲得解決辦法。

- **小結**

在通訊設備商方面，本論文透過三大構面，分別為技術、國內環境、政府法規，並搭配專家訪談來評估未來星鏈可能帶來的影響與產值。由於台灣過往製作 VSAT 的經驗，使得未來台灣最可能從星鏈設備製造的獲利來源為最終用戶端相關的元件，如天線與伺服器。在政府法規方面，我國受到星鏈計畫的影響，亦有意在年末推出太空計畫，這不僅單方面的推動國內對於星鏈產值的預估，更是增進我國的太空研發能力。但來自專家的意見也發現，過往星鏈服務來我國徵商之時，總公司早已將大部分的設備都設計好，需要的幾乎是細微零件的代工商，這使得無法善用台灣在射頻研發上的經驗，也降低獲利空間。因

此專家對未來星鏈服務所能帶來的產值，將遠比本論文原本估計的低上許多。

但總體而言，星鏈服務仍是帶給了台灣設備商更多的獲利以及工作機會，在訪談中，專家們對於星鏈服務對我國設備商的影響保持著正面的看法。儘管獲利或許不會如外界預期，但是台灣過往的製造經驗與技術必定會成為設備供應鏈的其中一環。如中華電信行動通信分公司高雄營運處總經理表示：「我們認為是正面的，我們是以資通訊的製造為主，現在我們有這個商機，對我們來說是最重要的。」台灣大哥大處長也認為多一種型態就是多一種機會，您只要掌握住，就能抓到產業的動力。多一個機會就是對產業的正面影響。

考慮目前全球低軌衛星廠商之現況與成長性，如下表 18。本研究預估 2024 年以前的低軌衛星產值 90%將來自與星鏈計畫合作之設備與元件製造。雖然設備大多已由 SpaceX 總公司設計完成，台灣若加入相關供應鏈將偏向代工，單位利潤較低，但未來星鏈服務將提供全球用戶，數量可觀，因此還是有機會有不錯的獲利空間。

表 18　低軌衛星廠商以發射衛星數量及未來計畫

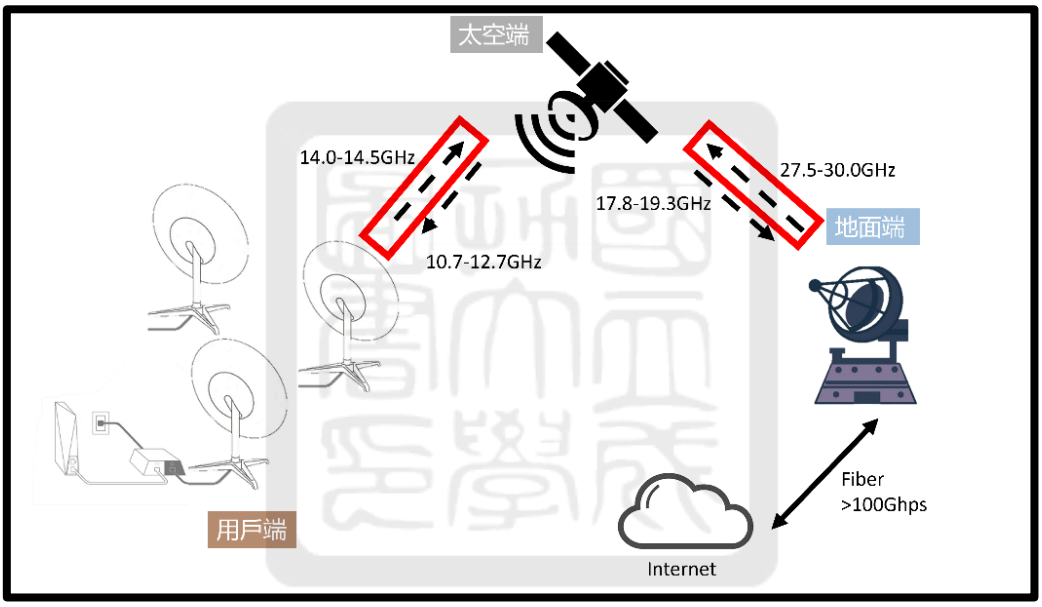
低軌衛星廠商	已發射衛星數量	未來發射計畫
Starlink	1829顆	1. 2027年將4,409顆衛星全部佈署完成 2. Gen2 系統規劃發射近 3 萬顆的衛星
OneWeb	358顆	1. FCC已批准發射648 顆衛星 2. 預計2030年以前發射10萬顆衛星
Kuiper	0顆	2022年發射首批兩顆衛星
Telesat	0顆	2023年以前發射首批衛星

資料來源：本研究整理。

4.4 頻譜管理影響分析

4.4.1 可能發生的干擾情形

星鏈服務導入台灣，其所使用之頻率為以下四段：10.7-12.7GHz 用於用戶鏈路之下行鏈路，14.0-14.5GHz 用於終端用戶鏈路之上行鏈路，17.8-19.3GHz 用於閘道鏈路下鏈，以及 27.5-30GHz 為閘道鏈路上鏈。由於我國非聯合國會員國，無權管制從太空對地之訊號，因此主管機管未來主要管理頻道為兩個上鏈頻段，其使用頻率發別為 14.0-14.5GHz 以及 27.5-30GHz 兩個上鏈頻段，如圖 35。

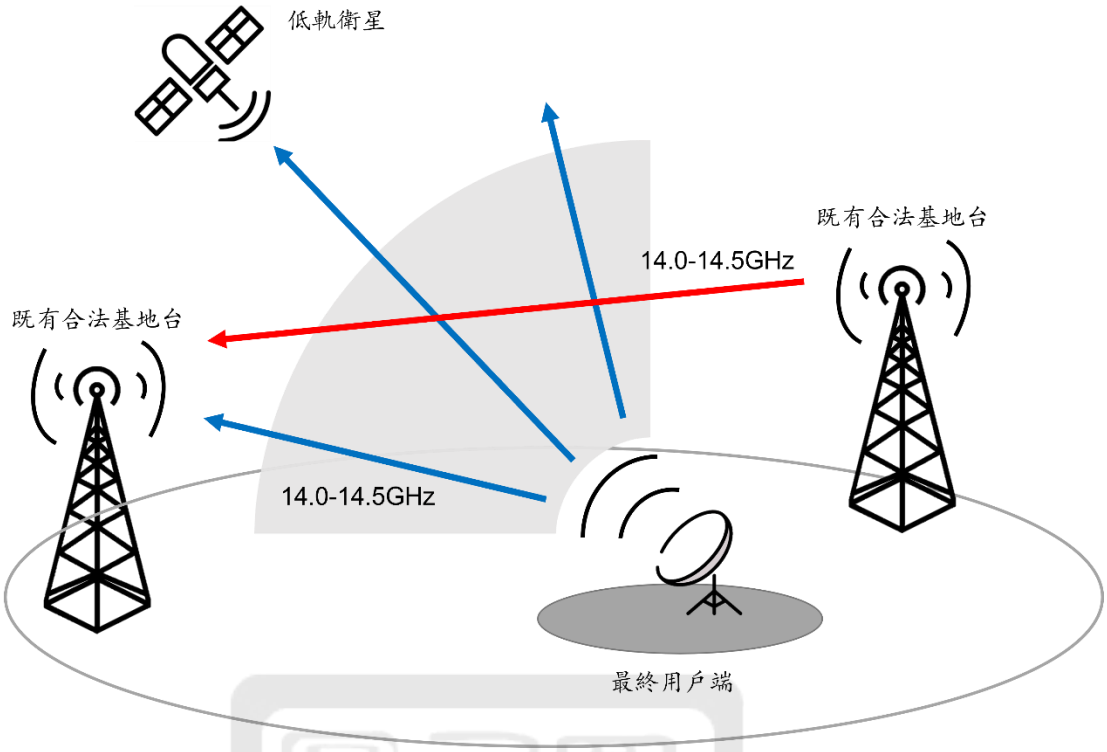


資料來源：本研究製作

圖 35　兩段上鏈頻率圖

4.4.2 最終用戶端上鏈

依據行政院開放衛星頻率政策，新增 10.7-12.7GHz、13.75-14.5GHz、17.7-20.2GHz 及 27.5-30.0GHz 等頻段供同步與非同步衛星固定通信使用。如圖 36 所示，最終用戶端上鏈所使用的頻道將在 14.0-14.5GHz 以內，根據目前我國之頻譜使用表，這一段的頻率使用情況較低，因此在未來受到的影響較小。惟可能對小範圍之基地台造成影響。

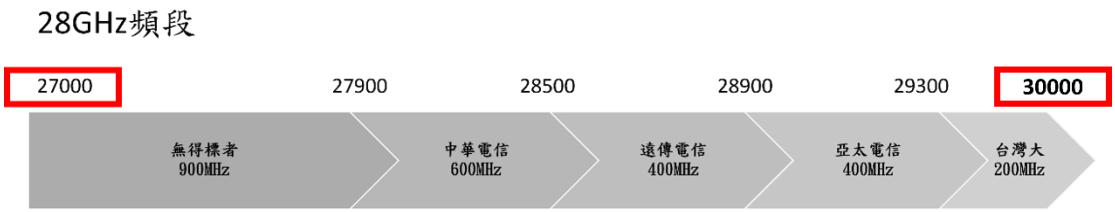


資料來源：本研究製作

圖 36　最終用戶端干擾示意圖

4.4.3　地面收發站上鏈

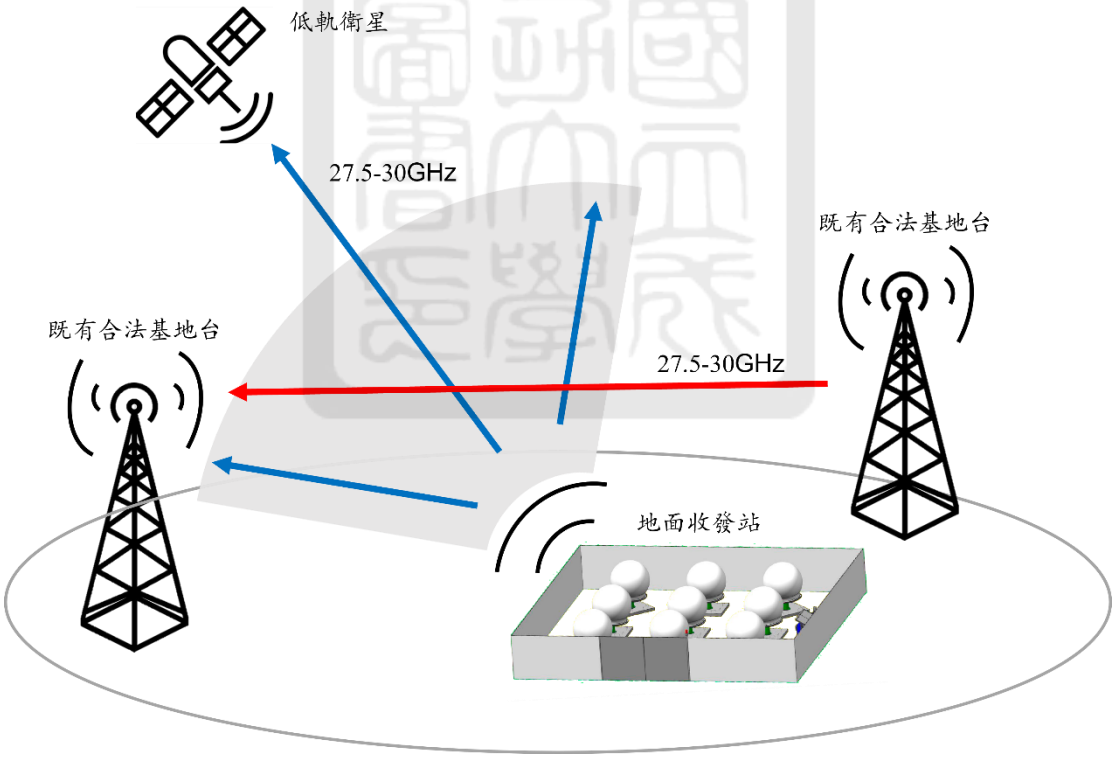
除了最終用戶端，行政院開放衛星頻率政策中規劃了 27.5-30.0GHz 頻段供同步與非同步衛星固定通信使用。其中 27.9-29.5GHz 須與既有行動寬頻業者協議使用。拍賣現況如圖 37 所示，中華電信取得 27.9~28.5GHz，共 600MHz 頻寬、遠傳電信取得 28.5~28.9GHz，共 400MHz 頻寬、台灣大哥大取得 29.3~29.5GHz，共 200MHz 頻寬、亞太電信取得 28.9~29.3GHz，共 400MHz 頻寬。無線電頻率使用期限為 2 年，屆期得申請核配。依據國際電信聯合會(ITU)衛星干擾處理原則，不得對既設電臺造成干擾，且非同步衛星不得干擾同步衛星，非同步衛星系統間頻率應和諧有效共用。此作法與美國的較為相似。



資料來源：本研究整理

圖 37　國內 28GHz 頻率拍賣圖

27.5-30.0GHz 頻段可能的干擾情形如圖 38 所示。由九顆球型裝置組合成的地面收發站，會將 27.5-30Ghz 的訊號打上未在太空的低軌衛星。由於地面原有的 5G 合法基地台也是使用這段頻率，因此便會產生頻率干擾的情形。



資料來源：本研究製作

圖 38　地面收發站干擾示意圖

4.4.4 主管機關頻譜管理評估

1. 型式認證

星鏈服務引進台灣之際，首先應向國家傳播會委員會（NCC）申請型式認證，否則即便消費者可由官方網站訂到裝置並寄回台灣，也無法使用。根據NCC規定，申請販賣用電信管制射頻器材型式認證者，首先應向驗證機構申請；經審驗合格者，由驗證機構核發型式認證證明，並進入「我國認可之國內電信設備驗證機構名單」內，方可供民眾購買及使用。

2. 頻譜管理

除了上一段對於兩段干擾頻率的描述與做法，未來在衛星頻率管理上，主管機關將開放衛星頻率依電信管理法選擇採取定期受理申請及審查方式辦理。申請人應依規定登記為電信事業，並於開放受理期間檢具申請書、無線電頻率使用規劃書及資格證明文件提出申請，經審查合格後，取得頻率核配資格。

3. 頻譜效率

衛星通信訊號品質易受建築物遮蔽與氣候影響等物理限制，然其具備廣域涵蓋之優勢，可加強海上、離島、山區等不經濟地區之訊號涵蓋，提供公眾電信網路之備援，亦可為降低普及服務所需支出成本之選項，提升民眾近用通訊傳播服務之機會。雖然星鏈服務每月費用約為新台幣3000元，但若可為尚未建設光纖網路之偏鄉地區的村里辦公室或避難所提供一個高於100M的網路，不失為一個不錯的網路解決方案。另外，見中華民國頻率分配表可知，目前14.0-14.5GHz以及27.5-30GHz兩個頻段使用率極低，若能有更多使用這兩段頻率的機會，也可大幅提升頻譜的使用效率。

4. 專家訪談

此小節蒐集來自各個通訊領域的專家對於星鏈服務對台灣頻譜管理可能造成的影響評估。訪談內容如下：

- **頻譜管理面臨的挑戰**

經訪談可了解我國在頻譜管理面臨的挑戰主要兩個部份。中華電信行動通信分公司高雄營運處總經理說明，首先我國不是 ITU 成員，頻譜管理完全擋不住，而星鏈終端是網路購買，對用戶的管理也不容易。如成功大學交通管理學系教授在訪談中提到：「我們沒有辦法管衛星下鏈，但又要讓他落地，平面又有一些需求，這些需求又會干擾它的衛星接收。」第二星鏈使用的頻率與台灣 28GHz 的 5G 頻率有干擾的疑慮 FFC 需有適當的干擾共存機制。

除上述兩點，電信技術中心副執行長認為低軌衛星經長期發展，屆時台灣上空肯定不止星鏈一家提供服務，不同衛星業者中也會存在干擾問題，他在訪談中提到：「星鏈服務的引進將會帶來非常嚴峻的頻譜管理挑戰。台灣在 2.3 月的時候有公布開放 Ku-band 以及 Ka-band 給衛星通訊使用，其中 27.5GHz-30GHz 將與 5G 毫米波所使用的頻段重疊。頻譜管理上要面臨除了衛星與 5Gj 通訊的干擾，還要面對衛星與衛星間的干擾。若只有單一家衛星的不同設備互相干擾，他可以自己調整不同的頻率就可以解決。但低軌衛星不只星鏈服務一家，還有 One web、Kuiper 等不同廠商，但他們都使用相同的頻段，低軌衛星數量一大，將產生很大的頻譜管理挑戰。重點是 NCC 能否有效控管，當然屆時星鏈服務要落地必定要經過審核，但衛星何時要飛越台灣也須加入頻譜管理的考量。此外，針對其與 5G 干擾的問題，在頻譜上通常先到者有優先權，衛星若遇到與既有 5G 干擾的問題應由衛星服務商自行處理。衛星下鏈打下來的干擾可能性比較低，因為距離非常遠，比較有可能的是地面往上的訊號。TTC(電信技術中心)過去也曾處理過 NCC 干擾的問題。低軌衛星的用戶比較不會干擾

到 5G 用戶，反而 5G 用戶比較有機會干擾到低軌衛星。這是由於 5G 基地台的功率比較大，但實際還是得到實地測量比較準確。往好處想是 5G 毫米波應用所含涵蓋的面積範圍通常較小，如校園或工廠。主要的干擾問題有可能還是會發生在不同衛星服務商間的干擾，尤其未來星鏈與 One web 同時在台提供服務的時候，衛星密度提升，干擾變多，品質就有可能下降。」

國家通訊傳播委員會技監認為：「目前有一段頻譜已經有給 5G 使用，當然還沒用的很多。早期 NCC 最重要的頻譜理念為『和諧共用』，因為無線的頻譜為有限的資源，你拿來用了別人就不能用。比如縱使在北部有人用，只侷限於某個區域，只要不互相重疊即可。第二，如果星鏈已經有人在用，後來者不能干擾他，若真的會干擾，就必須由後者前往協調解決。」

國家通訊傳播委員會北區處處長說明在 28GHz 在重疊的部分已有做相關的規劃，當初考慮 28GHz 與 14GHz 要做為低軌衛星用，但此頻段原先便有電視收視頻段在使用。很多旅館及外商公司，他們可能有衛星電視的接收或頭端。如果星鏈在他們附近建設低軌衛星的設備如地球電台，就會有相互干擾的可能。未來作法，首先會將有衛星電視頭端的點先定位出來，以利以後做排除。干擾是以不影響原有的使用者，過往如 3.5GHz 時也有相關的議題，電信業者不可以靠近有在使用同步衛星接收的既有用戶。

比較特別的是來自電信業者台灣大哥大處長的想法，他非常有意願與星鏈服務進行合作，並在訪談中表示：「其實現在有干擾到的就是 28GHz，我覺得還好。我們內部有經過一些討論。講實在話，大家標了這麼多 28GHz 根本不知道要幹嘛用。因為終端尚未普及，且要蓋 28GHz 的基地台，由於其訊號衰減非常高，需要建設的基地台密度要提高非常多。若未來星鏈要使用 28GHz，我們會很樂意地問他要不要租我們的。以現在來看，反而要注意星鏈如何與業者做商業上的談判，比如租用。目前就我了解，若他要租我們會很樂意。」

- **我國對干擾的處理能力**

由於我國過往已有許多干擾處理的案例，因此專家們多數對於我國頻譜主管機關解決星鏈服務與 5G 的干擾處理能力上有相當的信心，並提出了一些可行的解決方法。電信技術中心副執行長表示：「台灣已有衛星干擾處理的相關經驗。干擾有時候是物理現象，無法 100%的解決。未來遇到干擾情況有可能會畫一個保護區，分為兩種不同解決方法，第一個是使干擾源完全無法發射訊號，另一個是要求其降低發射功率。整體而言，我國在干擾處理能力上因為經驗因此不會有太大的問題。」

國家通訊傳播委員會技監認為：「首先兩方信號源會先自行處理，原則上若不能解決，後來者需要停用。若干擾仍然存在就會由 NCC 來處理，將真正的干擾原來處理。另外有個問題，以現行法規有一條，外資比例不能超過一半，若超過的話一般不會准，因此星鏈要引進台灣一定要跟國內業者合作。另外需要克服通訊監察的問題，例如大哥大要提供服務，需要先設立基地台，為了怕資安事件，如有人用大哥大作犯罪，因此會要求通訊監察。假如你用中華電信的大哥大，做了一些犯罪的行為，中華電信就會需要提供相關的事證，讓警方做調查。未來衛星通訊也需要符合通訊監察的規範。」

國家通訊傳播委員會北區處處長認為：「這些當然過去都有處理的經驗，頻率能多開是一件好事。過往可以依靠發射角度的調整或是濾波器等方式使兩個相鄰頻道相安無事。若真的不行會令他停止使用。如 ST-2 頻率的轉移，可以避免干擾。」

中華電信行動通信分公司高雄營運處總經理分享了過去同步衛星與 5G 的干擾處理情形，他在訪談中提到：「我們之前要開 5G 也有一些與衛星有干擾問題，很多大飯店有衛星接收器，都以濾波器來處理。主管機關需要比較強勢的，並不斷牽導各業者去配合。我們不可能完全沒干擾，主管機關此時必須有相關政策與時程上的相關規劃。」

台灣大哥大處長認為：「現在如果只是地面收發站上鏈的干擾，其實還好。就算有建設，台灣最多也就兩個，因此附近處理好就好。但下鏈的話可能

範圍會比較大。像我們 5G 本身就跟同步衛星就有一些干擾，TTC 也有一些抗干擾研究，這些都可以證明我國有良好的干擾處理能力。」

芳興科技執行副總則認為星鏈在美國不會干擾，在台灣也不會有太大的影響。只要星鏈在發射的時候不對準既有的電台。譬如要同步軌道的時候就把訊號關掉，然後接上新的衛星。但是未來其他低軌衛星進駐的時候就要再觀察。

國立成功大學交統管理學系教授提出了對良性衝擊的肯定，他認為：「能力當然是夠，具有足夠的經驗。且是一個正面的衝擊，從技術來看會讓我國能力提升。」

- **資訊安全之疑慮**

只要有通訊，必定有資安的問題存在。專家們分享了他們對低軌衛星未來在資安上的疑慮以及可能的解決方案。首先，國立成功大學交通管理學系教授認為：「未來台灣有落地服務，用戶會散在全台灣各地，將會有資安疑慮。又分閘道器在台灣或不在台灣，若不在台灣就會較多的疑慮，若在台灣比較能管制的到，可以設一些資安機制，並由主管機關查核。」電信技術中心副執行長也表示：「只要是聯網就會有資訊安全的疑慮，星鏈服務的話又分三個部分，分別是用戶設備端的安全性、傳送到低軌衛星時有沒有加密，以及落到地面收發站的區域安全性。以上的三段各自有各自的疑慮存在，只要是有 Data Flow 的發生就會有資安的問題。另外，衛星除了轉發資訊，還有一個很大的功能在於信令的控制，如前陣子的馬斯克調動星鏈衛星飛往烏克蘭上空以提供戰地網路服務。一旦控制信令功能被入侵，可能會發生衛星全部飛走的情況。」

從國家角度出發，資安不僅是個疑慮，更可成為新的機會。國家通訊傳播委員會技監認為：「資安這一塊，分為一般設備產業以及認證產業。假設我們產業有做一些設備銷到國外，國外會需要資安認證。我們台灣目前在資訊安全這一塊，首先需要把國際資安規範搞懂，接著弄一個認證實驗室，就不用跑到國外去做。如此一來，設備本身是一個產業，認證也是一個產業。這樣國內的

東西就可以直接銷到國外去。」國家通訊傳播委員會北區處處長提到未來數位發展部也會專門處理資安的問題，過往 NCC 也會要求業者有自我檢測的能力，或符合 ISO27001《資訊科技—安全技術—資訊安全管理系統—要求》的標準。」中華電信行動通信分公司高雄營運處總經理也認為資安是個重大的問題，而公司目前也已有導入上述的 ISO27001。

- **小結**

綜合上述，專家學者們認為我國將會面臨嚴峻的挑戰，必主要來自下列因素。首先由於我國非 ITU 會員，因此無法管理衛星下鏈訊號，但這段訊號卻可能與地面應用互相干擾，這將會破壞我國頻譜管理之完整性。國立成功大學交通管理學系教授表示：「星鏈的導入將打亂頻譜管理的完整性與一致性。」第二，星鏈服務在地面閘道器上鏈所使用之 28GHz 將與 5G 頻段部分重疊。第三，在不遠的將來，我國上空將不只有星鏈服務一家低軌衛星提供服務，屆時不同家的衛星間也會有干擾之問題。第四是資安疑慮，我國是否會設置星鏈閘道器攸關未來是否可以對設置查核機制。

然而基於頻譜使用效率，儘管星鏈服務會為我國既有電台造成一些干擾，但若能秉持和諧共用的原則，良好的解決干擾的問題，專家多保持正面看法。如同中華電信行動通信分公司高雄營運處總經理所說：「因為我國不是 ITU 成員，主管機關難以規範到國際大企業，更何況是在太空中的通訊系統，我們無法管、也擋不住。但如果我們有相關配套措施，且主管機關更積極處理新型服務的導入，包含設備商方面，對整個產業便會是正面。」

另外，台灣大哥大處長認為：「以政府機關來看頻率，其實很特殊。在台灣發射過去都給 NCC 管，但星鏈在天空上跑來跑去，我不認為 NCC 可以向國外業者收到頻率使用費。管理機制必定與以往有大大的不同。如果是會變得比較棘手一定是負面，但如果是 NCC 會跟著調整，變得更國際化就會是正面的。頻率放在那邊沒有用就沒有用了，空著非常浪費，若能有更多應用或者說更多

人使用頻率，是一件很好的事情。」

4.5 總體評估

多數專家在訪談中皆認為星鏈服務對整個台灣的通訊產業，包含服務商、設備商，以及頻譜管理皆為正面影響。電信技術中心副執行長從三個不同角度出發：「我認為總體而言是利大於弊。從國家角度出發，低軌衛星是新的通信服務，補足了偏遠山區以及海上的通信需求。更重要的是，台灣是一個海島，目前連接海纜總共為 13 條。一旦與中國發生戰爭，若其切斷這 13 條海纜，台灣將成為國際通訊上的孤島。但這時若有低軌衛星，便可以解決這個問題，前提是有在台灣地面接收站的情況。以服務商角度而言，星鏈服務將是互補大於競爭的關係。最後就消費者而言，也多了一種通訊的選擇。」

國家通訊傳播委員會技監也認為如果以要提供民眾更好的通訊服務的前提下，比如受地形影響或是天然災害導致通訊中斷，星鏈服務對民眾來講真的是一個多元的通訊選項。國家通訊傳播委員會北區處處長也確切的表示：「當然還是算利大於弊，因為它增加了人的需求，包含山上海上原本涵蓋不到的地方。低軌衛星補足了這些死角，弊其實不多。」

從電信服務業者的角度，中華電信行動通信分公司高雄營運處總經理表示：「中華電信董事長已準備好跟星鏈服務積極合作，已開始洽談地面接受站，若能互補的話整體影響是很正面的。只是相關的商業模式及國內的電信業者可以扮演甚麼腳色，還需要仔細觀察。」

綜合上述，星鏈服務帶來的不僅僅是挑戰。基於低軌衛星所用之頻段，在原頻譜規劃下的使用率極低，因此星鏈能為我國頻譜增加使用效率。若能有效達成「頻譜和諧共用」原則，隨著面臨的干擾挑戰而增進技術，並提升頻譜價值，學生認為星鏈對於頻譜管理的影響為正面。

不論是本研究原本的資料分析，抑或是專家訪談之蒐集，星鏈服務對於台

灣通訊服務商、設備商，以及頻譜管理皆為正面影響居多，其內容整理如**錯誤! 書籤的自我參照不正確。**。撇除對通訊設備商有利無害，他對於通訊服務商以及頻譜管理而言是利弊共存的。我國若能以正面的態度面對挑戰及衝突，藉此提升技術與服務，整體而言將會是正面的影響。

表 19　驗證與分析統整表

評估主題	內容	評價
通訊服務商	1. 短期對目前固網服務影響程度低。 2. 星鏈服務在我國市佔率將低於10%。 3. 星鏈服務與5G將是競爭又互補的關係。 4. 通訊服務商樂於與星鏈商談地面接收站部屬事宜。 5. 長期衛星密度高，網路穩定度表現優異，主要可提供偏鄉地區與可移動式寬頻之異業合作。	正面
通訊設備商	1. 政府法規鼓勵國家發展低軌衛星。 2. 未來低軌衛星產值多自於星鏈服務 3. 最終用戶端擁最大的獲利空間。 4. 產值因為偏代工模式導致毛利較不如外界預期。 5. 但全球市場量大，可能還是有不錯的獲利機會。 6. 未來挑戰來自衛星製造門檻，及漂白後之紅色供應鏈的低價競爭。	正面
頻譜管理	1. 主要干擾來自最終用戶端與地面端上鏈。 2. 星鏈服務之引進需先經過型式認證。 3. 星鏈衛星將破壞我國頻譜管理之完整性。 4. 基於過往經驗，專家們對我國干擾處理能力有信心。 5. 存在資訊安全之疑慮。 6. 依照和諧共用原則，可增大頻譜使用效率。	正面

資料來源：本研究整理

第五章　結論

5.1 研究結論

隨著科技日新月異，人們對於網路頻寬的要求越來越高。過往幅員大的國家的偏遠地區，或者海上船舶、天上航空等，多需依靠同步衛星來進行網路通訊服務，受限於頻寬限制大部分只能用於純文字訊息的收發。如今受疫情影響，不僅僅是影片流量大幅增加，更是有許多人依靠視訊軟體來處理公事。既有的頻寬已無法滿足是人的要求。

而低軌衛星服務也從去年開始如火如荼的擴張版圖。他所能提供的不僅僅是短期的類寬頻固網服務，隨著技術成熟，他也將逐漸往地球衛星行動衛星地面站發展，不僅補足了偏鄉，也可以供航空以及船舶使用。近日烏俄戰爭之時，SpaceX 以星鏈服務提供烏克蘭網路功能，更顯示其對於如我國般的依賴海底電纜之海島國家的戰略價值。

如今，我國頻譜主管機關已將低軌衛星所使用頻段納入我國頻譜分配表中，亦有傳聞我國既有通訊服務商將與星鏈服務達成合作關係。本研究主旨在與透過次級資料的蒐集進行初步分析，並搭配專家訪談法，蒐集來自學界、產業界以及主管機關的專家意見，評估星鏈服務引入我國後，對國內通訊服務業、通訊設備商，以及頻譜管理的影響。

首先在通訊服務商中，使用了不確定軸面為分析架構，分別對使用者對星鏈服務之意願、星鏈服務品質，以及星鏈服務競爭力進行討論，並產生了短期與長期兩個主要情境。接著整理出了星鏈服務的核心競爭力，藉此針對兩個情境提出未來可能發展狀況。

其次，在通訊設備商中，本研究分為技術、國內環境，以及政府法規三大構面。並整理出低軌衛星中的設備製造將成為台灣未來的發展方向，尤其在四大產業中的衛星製造以及衛星地面設備。政府角度也針對通訊設備與通訊酬載

推出了兩大計畫給予支持。最後由工研院之資料為基礎，提出未來星鏈服務可能帶來的產持預估。

在頻譜管理中，本研究先整理出了可能發生干擾的情形，包含了最終用戶端上鏈訊號，以及地面收發站上鏈訊號。其中由於地面收發站所使用之頻段與5G部分頻段重疊，因此這部分的干擾問題將較最終用戶端嚴重。另外提出雖然星鏈服務可能對我國頻譜管理產生一些負面的影響，但同時他也將提升我國頻譜使用之效率。

在上述分析中，本論文加入了專家訪談，以半結構式的問卷，詢問專家們對於上述三個主題的看法，進行了分析與驗證。最終整理出星鏈服務引入我國後，對我國通訊產業雖然會造成一些衝擊，但以正面影響居多。

綜合上述，本研究希冀可以透過這份論文，提供我國不論是在通訊服務商、設備商，抑或是主管機關未來進行決策或商討時，提供些許參考方向。

5.2 研究限制與後續研究建議

本研究存在著五點主要的研究限制與未來建議。首先，星鏈服務雖然已提供部分使用者使用，但仍屬於試營運階段，在台灣更是尚未提供服務。因此難以真正的星鏈服務之裝置來實驗在台灣的實際網路品質，未來建議可以真正購買其裝置來測試。第二，低軌衛星包含星鏈服務與其他業者目前發射之全球總體數量還在5000顆以下，雖然可以預期星鏈服務之網速與穩定度會隨著其發射之低軌衛星數量增加而成長，但對於其未來與其他低軌衛星業者間的干擾情況還未可知，往後若能得知此方面的數據，必定能使研究更加豐富。第三，星鏈服務之ESIM裝置目前尚未有實測資料，鑒於其裝置技術需較一般家用低軌衛星系統高許多，因此其穩定度將是長期情境下很重要的考量因素，但目前尚無相關實測資料可以參考。待未來有多關於ESIM裝置之資訊時，研究結果必定可以帶給我國通訊產業更高的貢獻。 再來，本論文對設備產值之預估，由於目前尚屬星鏈初期階段，國內實際參與業者不算多，加上政府未來也將針對衛

星製造產業有所投入，因此雖然有工研院對於衛星產業 2027 年的估值，變數卻很高，因此難以給出確切的估計數值。或許未來等星鏈供應鏈成熟，且政府對衛星產業投入金額穩定時，可以再精算出更準確的數字。最後，本論文之目的在於提供通訊服務與設備產業，以及頻譜主管機關對於星鏈服務之決策參考，基於星鏈服務還在不斷的擴張與進步，建議未來研究可不斷地更新最新訊息，以改善評估的準確度。

參考文獻

[1] Ž. Andreje and B. Batagelj, "Vrednotenje tehničnih lastnosti komunikacijskega omrežja majhnih satelitov Starlink," *Elektrotehniski Vestnik,* vol. 88, no. 1/2, pp. 1-7, 2021.

[2] M. Stanley, "Space:Investing in Space Exploration.," July. 2020 2020. [Online]. Available: https://www.morganstanley.com/ideas/investing-in-space.

[3] 羅秋馨, "低軌衛星通訊網路管理與控制系統," *工業技術研究院 資訊與通訊研究所,* 2021. [Online]. Available: https://ictjournal.itri.org.tw/content/Messagess/contents.aspx?&MmmID=654304432061644411&CatID=65431361123147360 7&MSID=1127367016306347162.

[4] P. Melechin, "All about the Starlink constellation," SPACEX 05.02 2022. [Online]. Available: https://www.elonx.cz/vse-o-konstelaci-starlink/.

[5] I. Mcketta, "How Starlink's Satellite Internet Stacks Up Against HughesNet and Viasat around the Globe," GLOBAL SPEEDS 08/04 2021. [Online]. Available: https://www.speedtest.net/insights/blog/starlink-hughesnet-viasat-performance-q2-2021/.

[6] FCC, "Application for Fixed Satellite Service by Space Exploration Holdings, LLCSAT-LOA-20161115-00118 / SATLOA2016111500118," 10. 2021 2021. [Online]. Available: https://fcc.report/IBFS/SAT-LOA-20161115-00118.

[7] S. Mazumder, "5G Spectrum Series: What is Happening with 12 GHz?," 10. 2021 2020. [Online]. Available: https://www.linkedin.com/pulse/5g-spectrum-series-what-happening-12-ghz-shahed-mazumder.

[8] Ofcom, "UK Frequency Allocation Table (UKFAT)," 2022. [Online]. Available: http://static.ofcom.org.uk/static/spectrum/fat.html.

[9] HBR, "n258 (26 GHz)," no. 5g frequency bands [Online]. Available: https://web.archive.org/web/20210411012054/https://halberdbastion.com/technology/cellular/5g-nr/5g-frequency-bands/n258-26-ghz.

[10] 財團法人台北市公民教育基金會, "台灣網路報告," 財團法人台灣網路資訊中心, pp. 6-7, 10. 2021 2020.

[11] 國家傳播通訊委員會, "通訊傳播市場報告," 2020.

[12] 曹凱婷, "馬斯克和貝佐斯的太空夢，為何不能沒有台灣人？," *天下雜誌,* 製造 12-17 2021. [Online]. Available:https://www.cw.com.tw/article/5119160.

[13] J. C. McDowell, "The low earth orbit satellite population and impacts of the SpaceX Starlink constellation," *The Astrophysical Journal Letters,* vol. 892, no. 2, p. L36, 2020.

[14] V. S. Reddy, "The spacex effect," *New Space,* vol. 6, no. 2, pp. 125-134, 2018.

[15] M. Ilchenko, T. Narytnyk, V. Prisyazhny, S. Kapshtyk, and S. Matvienko, "The Internet of Things Space Infrastructure. Current State and Development Prospects," in *Internet of Things*: IntechOpen, 2021.

[16] Z. Fan, Y. Dai, and H. Minn, "Performance Analysis of Large-Scale NGSO Satellite-Based Radio Astronomy Systems," *IEEE Access,* vol. 9, pp. 93954-93966, 2021.

[17] T. Duan and V. Dinavahi, "Starlink space network-enhanced cyber–physical power system," *IEEE Transactions on Smart Grid,* vol. 12, no. 4, pp. 3673-3675, 2021.

[18] Z. Z. Kassas, J. Khalife, and M. Neinavaie, "The first carrier phase tracking and positioning results with Starlink LEO satellite signals," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems,* 2021.

[19] M. Hapgood, H. Liu, and N. Lugaz, "SpaceX—Sailing Close to the Space Weather?," vol. 20, ed: Wiley Online Library, 2022, p. e2022SW003074.

[20] 羅山珊, "我國固網業者經營 IPTV 服務之策略-以中華電信 MOD 為例," 2008.

[21] M. J. McIntosh and J. M. Morse, "Situating and constructing diversity in semi-structured interviews," *Global qualitative nursing research,* vol. 2, p. 2333393615597674, 2015.

[22] P. J. Schoemaker, "When and how to use scenario planning: a heuristic approach with illustration," *Journal of forecasting,* vol. 10, no. 6, pp. 549-564, 1991.

[23] 余序江, 許志義, and 陳澤義, *科技管理導論: 科技預測與規劃*. 五南, 1998.

[24] D. L. Nielson, *A heritage of innovation: SRI's First Half Century*. SRI International, 2006.

[25] B. D. Schwartz and R. A. Sprouse, "L2 cognitive states and the full transfer/full access model," *Second language research,* vol. 12, no. 1, pp. 40-72, 1996.

[26] R. K. Yin, *Case study research: Design and methods*. sage, 2009.

[27] T. Wachyudi, A. Daryanto, M. Machfud, and Y. Arkeman, "Biofuel supply chain risk mitigation strategy framework: Expert interview based Approach," *Journal of Industrial Engineering and Management,* vol. 13, no. 1, pp. 179-194, 2020.

[28] E. De Leeuw, "Self-administered questionnaires and standardized interviews," *Handbook of social research methods,* pp. 313-327, 2008.

[29] N. K. Denzin, *The research act: A theoretical introduction to sociological methods*. Transaction publishers, 2017.

[30] K. Hafeez, Y. Zhang, and N. Malak, "Core competence for sustainable

competitive advantage: a structured methodology for identifying core competence," *IEEE transactions on engineering management,* vol. 49, no. 1, pp. 28-35, 2002.

[31] S. Satellite Industry Association, "State of the Satellite Industry Report " 2021. [Online]. Available: https://sia.org/news-resources/state-of-the-satellite-industry-report/.

[32] E. S. a. S. S. Expert, "Satellite communications." [Online]. Available: https://digital-platform.euroconsult-ec.com/.

[33] "太空衛星科技產業鏈簡介," *產業價值鏈資訊平台*, 2022. [Online]. Available: https://ic.tpex.org.tw/introduce.php?ic=4100&stk_code=2314.

[34] 吳靜芳, "《56 家關鍵台廠》馬斯克和貝佐斯的太空夢，為何不能沒有台灣人？," *天下雜誌*, no. 製造, 12-02 2021.

[35] 經濟部, "經濟部 110 年度單位預算評估報告 110 年度單位預算評估報告," 05-14 110.