

國立交通大學

交通運輸研究所

碩士論文



以航機軌跡為基礎之流量管理

Aircraft Trajectory-Based Flow Management

研究生：張宇函

指導教授：汪進財 教授

中華民國九十六年六月

以航機軌跡為基礎之流量管理

Aircraft Trajectory-Based Flow Management

研究生：張宇函

Student : Yu-Han Chang

指導教授：汪進財

Advisor : Dr. Jinn-Tsai Wong



Submitted to Institute of Traffic and Transportation
College of Management
National Chiao Tung University
In Partial Fulfillment of the Requirements
For the Degree of Master
In
Traffic and Transportation

June 2007

Taipei, Taiwan, Republic of China

中華民國九十六年六月

以航機軌跡為基礎之流量管理

學生：張宇函

指導教授：汪進財 博士

國立交通大學交通運輸研究所碩士班

摘 要

由於航空交通量不斷地成長，大量航機飛行於有限的空域中，造成飛航空域擁擠，航空交通管制不易。因此若能夠採用飛機位置與速度為基礎的隔離方式以取代航路為基礎的隔離策略，並在有限的空域中規劃依航機軌跡為基礎的彈性航路，配合流量管理概念，針對控制範圍內之各航機進行飛航控制與管理，則勢必能改善空域擁擠與延滯的情形。

本研究以台北終端管制區為研究範圍，建立以航機軌跡為基礎之流量管理方式。針對到場程序所規劃之彈性航路，配合實際資料之統計及各相關參數設定，以先進先服務、最短路徑選擇以及安全隔離時間等限制規則，採用 C++ Builder 5 撰寫電腦程式進行模型構建。

模擬結果顯示，以實際航機飛行量資料作為輸入變數，有彈性航路較無彈性航路之實際資料可減少飛行距離8.5%，節省飛行時間12.1%；增加20%航機飛行量後，有彈性航路較無彈性航路減少飛行距離5.9%，節省飛行時間8.5%，以及減少盤旋時間30%。因此，有彈性航路的選擇，航機可以更明確且順暢之路線航行，其將可降低航管人員需時時刻刻監視的工作負荷，同時駕駛員亦能有效率的依指定路徑進場降落。

關鍵字：飛航管理、流量管理

Aircraft Trajectory-Based Flow Management

Student : Yu-Han Chang

Advisor : Dr. Jinn-Tsai Wong

Institute of Traffic and Transportation

National Chiao Tung University

ABSTRACT

The increasing demand of civil aviation has resulted in air traffic congestion in the limited airspace. As a consequence, it causes problems in air traffic control. To effectively improve the airspace congestion and flight delay, segregation based on aircraft position and speed certainly is preferred to that of route-based, if the flexible routes based on the aircraft trajectories could be planned in limited airspace, and the flow management concept could be well implemented.

Based on aircraft trajectories, this research within Taipei Terminal Control Area build up the flow management. C++ Builder 5 computer language was used to structure a simulation model to simulate the flexible routes which was planned for flight arrival. With parameters calculated from the ATC radar data, the model applies the first come first serve rule under the aircraft separate constraint and shortest path principle.

The simulate results showed that, with current air traffic, performance of the flying distance and time under the flexible-route was reduced by 8.5% and 12.1% respectively, when it was compared to that of the existing condition. In the case of 20% air traffic increase, in addition to the flying distance and time reduced by 5.9% and 8.5% respectively, the flight holding time was also reduced 30%. This suggests that with the flexible routes, flights can be more smoothly operated. Controller's load could be reduced, and pilots can also approach and land aircrafts efficiently in accordance with the guided routes.

Key words : air traffic management, flow management.

誌謝

終於到了寫誌謝的時候了！

從前的我對於近百頁的論文總是深感佩服，無法想像自己研究所兩年要如何生出那麼多文字的論文，這樣的心態一直到了進度審查後才消除，因為受到好多人的幫助，我的確辦到了。首先是恩師汪進財教授，感謝您無論在課業、論文或生活上的教導與照顧，以及你對工作的態度更是學生學習的典範；感謝六四口試當天口試委員戴佐敏教授與李穗玲老師細心審閱，學生獲益匪淺；感謝北交研所上的老師們，親切和藹小黃所長、帥氣逼人大黃高球王、榮譽教授Prof. Lan、微笑馮老、傑尼斯徐教授、凱凱的喬、小碎步陳老師、大餅老師。

除了老師們的指導，論文完成最重要的恩人是我的二叔叔，感謝您不厭其煩地幫助我，可以說是我的技術指導，讓我能夠順利拿到碩士學位，對您的感謝真的無法一語道盡。感謝全力支持我的家人，爸、媽、哥、欣、嫂、小王子、還有正好趕上的小公主，有你們對我的鼓勵與加油，我才能有今天的成就，能夠生在這個家庭，真是再幸福不過了！

謝謝mud，六年的同袍之情讓我們的默契不用言語也能溝通，好朋友再好也不過如此吧！謝謝同為六年之交的大頭、金將、ej、良煙，有你們的陪伴讓我不至於孤單害怕；感謝天使般的凱，跟妳在一起沒有壓力很舒服，我們都要幸福喔！謝謝小慧慧總是用誇張的言語刺激我，但我想我們就是在拌嘴中培養情感的！感謝永遠都那麼快樂的文君，每每與妳談話都能換來好心情，你是最佳的開心果；感謝失散多年的Dido，能在多年後再度成為同班同學，真是有緣，也特別珍惜這樣的友情；感謝熱情奔放的靜宜，妳真是個有執行力的行動派，是我的好模範；感謝同門的依珊與獼猴，能一起分享心事與共同打拼；感謝北交96級一同打拼的大家，很幸運能夠進入ITT認識可愛的你們，無論是Lab中的嬉笑怒罵、活動中的自high能力，兩年的革命情感永生難忘；感謝博班大學長易詩，真是亦師亦友，要成為部長喔！感謝常常接到我的求救電話，都能給我好答案的天浩學長，未來的管制員，要好好指揮飛機唷！謝謝素未謀面卻依然熱情提供我資訊的維方學姊與Phil學長。

要感謝的人真的數也數不完，最後，當然少不了你，火包，感謝你總是對我的任性逆來順受，無論快樂失意時，總是有你在身旁分享與支持，成為我前進的最大原動力，謝謝你！

越寫越顯自己渺小的字函

七月。夏。

目錄

中文摘要	i
英文摘要	ii
誌謝	iii
目錄	iv
表目錄	vi
圖目錄	vii
第一章 緒論	1
1.1 研究背景與動機	1
1.2 問題描述	2
1.3 研究目的	4
1.4 研究範圍	5
1.5 研究內容與流程	5
1.6 研究架構	7
1.7 研究方法	8
第二章 文獻回顧與評析	9
2.1 我國飛航管制作業	9
2.2 CNS/ATM發展計畫	10
2.2.1 我國CNS/ATM之發展計畫	11
2.2.2 澳洲飛航管理策略計畫	12
2.3 飛航管理之現況與發展限制	13
2.3.1 飛航管理的現況	14
2.3.2 現行飛航管理系統之限制	17
2.4 流量管理	18
2.4.1 流量管理目標	18
2.4.2 流量管理方法	19
2.4.3 流量管理實行時期	20
2.5 空域模擬	23
2.6 文獻評析	24
第三章 飛航管理之彈性航路應用	25
3.1 飛航管理之展望與效益	25
3.2 彈性航路	27
3.2.1 航路規劃	27
3.2.2 參數設定	31
第四章 模型構建	33
4.1 模型基本假設	33
4.2 模型情境邏輯說明	34

4.3 簡化之網路模擬模型.....	44
4.3.1 網路模擬模型中各欄位意義.....	44
4.3.2 模擬模型範例說明.....	45
4.4 小結.....	50
第五章 彈性航路模擬與分析	51
5.1 模擬資料收集與篩選.....	51
5.1.1 雷達資料.....	51
5.1.2 管制條資料.....	53
5.1.3 資料篩選.....	55
5.2 模型應用一.....	56
5.2.1 模擬一—實際到場航機時間表.....	58
5.2.2 模擬二—到場航機運量增加 20%	61
5.3 模型應用二.....	66
5.3.1 速度程序B之模擬.....	66
5.3.2 速度程序C之模擬.....	67
5.3.3 混合速度程序之模擬.....	68
5.4 模擬結果之效益分析.....	70
5.4.1 效益分析一—飛行距離.....	70
5.4.2 效益分析二—飛行時間.....	72
5.5 彈性航路引用之驗證.....	73
第六章 結論與建議	76
6.1 結論.....	76
6.2 建議.....	78
參考文獻	79

表目錄

表 1 流量管理模式文獻統整表.....	22
表 2 新定位點座標.....	31
表 3 各節點距離.....	31
表 4 定位點之速度限制.....	32
表 5 範例二有彈性航路之結果.....	48
表 6 範例二無彈性航路之結果.....	49
表 7 雷達資料欄位一覽表.....	52
表 8 終端到場管制條欄位一覽表.....	54
表 9 終端到場管制條欄位一覽表.....	55
表 10 節線長度表.....	57
表 11 航線距離表.....	58
表 12 模擬一之輸入資料.....	58
表 13 模擬一結果.....	59
表 14 模擬一結果與原始資料比較.....	60
表 15 模擬二之輸入資料.....	62
表 16 模擬二結果.....	63
表 17 模擬二無彈性航路之模擬結果.....	64
表 18 模擬二有無彈性航路模擬結果比較.....	65
表 19 速度程序B之模擬結果.....	66
表 20 速度程序C之模擬結果.....	67
表 21 混合速度程序之模擬結果.....	69
表 22 不同運量之飛行距離比較表.....	70
表 23 各速度程序之飛行距離比較表.....	71
表 24 飛行時間比較表一.....	72
表 25 飛行時間比較表二.....	73
表 26 航機到達各定位點之時間.....	74

圖目錄

圖 1 固定航路圖.....	3
圖 2 彈性航路圖.....	3
圖 3 研究流程圖.....	7
圖 4 研究架構圖.....	8
圖 5 台北終端管制區域圖.....	27
圖 6 AU1A到場程序圖.....	28
圖 7 AU1A到場航機軌跡圖示意圖.....	29
圖 8 AU1A到場彈性航路(由B576 航線進場).....	30
圖 9 AU1A到場彈性航路(由A1 航線進場).....	30
圖 10 簡化模型進場航路圖.....	34
圖 11 簡化彈性航路之模擬模型.....	44
圖 12 範例一之參數設定.....	46
圖 13 範例一結果圖.....	46
圖 14 範例二有彈性航路結果圖.....	47
圖 15 範例二無彈性航路結果圖.....	49
圖 16 雷達資料純文字檔格式示意圖.....	52
圖 17 終端到場管制條(印表欄位).....	53
圖 18 終端到場管制條(人工駐記欄位).....	54
圖 19 管制條範例圖.....	56
圖 20 管制條轉換至電子檔之範例格式圖.....	56
圖 21 網路模擬模型示意圖.....	57
圖 22 航管雷達資料距離示意圖.....	70

第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

由於航空交通量不斷地成長，飛航服務的需求也隨之不斷增加，大量航機飛行於有限的空域中，造成飛航空域擁擠航空交通管制不易。因此許多為解決空域擁擠及系統延滯的策略相繼被提出以及應用。國際民航組織(International Civil Aviation Organization, ICAO)在西元1989年提出在空中自由飛行(Free Flight)的夢想，建議發展以衛星及數位化技術為基礎之CNS(Communication, Navigation, Surveillance)環境，來支援建立一飛航管理(ATM, Air Traffic Management)系統。此一構想允許飛行員可以自由以其最佳的航路、速度及高度飛行，降低飛航管制的限制，不僅能有效地使用空域、減少擁擠所產生之延滯，也同時能降低飛機的操作成本。然而要達到自由飛行的目標，必須以飛機位置與速度為基礎的隔離方式取代過去航路基礎的隔離策略，而機載與地面等基礎設施也都需要全面的提昇。^[28]

澳洲方面，於西元2000年組成一澳洲策略性航空交通管理團隊(Australian Strategic Air Traffic Management Group, ASTRA)，此團隊是為了提供在未來15年能更安全、經濟、有效且對環境傷害較小的飛行條件，其發展之航空策略計畫中主要策略方案為提供使用者偏好的軌跡(User Preferred Trajectories, UPTs)，駕駛員能夠依每日規劃的彈性航路中選擇最有效率的航路飛行，最終目的是以節省時間與燃油成本來降低航空公司的營運成本且因油耗的減少而減低對環境的負面影響。且澳洲的航管單位於西元2003年完成其20座的廣播式自動回報監視(Automatic Dependent Surveillance Broadcast, ADS-B)以監測航空交通，讓管制員能夠更精確地追蹤航機的軌跡，能夠安全地減少航機間的間距以達到航管上延誤的降低，提供更有效率的服務。^[4]

而我國於民國八十八年委託美國MITRE公司完成「CNS/ATM發展主計畫規劃專案」，提出台北飛航情報區CNS/ATM發展主計畫，並依時程階段性完成計畫。在目前之過渡時期，飛航管制環境除了既有的飛航管制程序及儀器飛航程序等規範外，仍極仰賴航管人員的經驗判斷。由於CNS/ATM計畫期程長達十年，且我國不具備衛星航行、數據鏈通信、飛航管理系統等科技基礎，為有效執行此一巨額投資之計畫、避免風險，民航局規劃聘請具備CNS/ATM專業科技能力以及大型專案管理能力之顧問，協助執行CNS/ATM計畫各項系統之建置。民國九十二年十月美國MITRE公司團隊得標獲選為民航局CNS/ATM計畫顧問。MITRE公司顧問團隊由美國MITRE公司、紐西蘭Airways International公司、工業技術研究院及國立成功大學等四個團隊組成。^[28]

傳統航管系統中之語音通訊、雷達導航與監視等等基礎設施與航管管制操作，並無法提供管制員對空域容量需求之精確預估，管制員往往因為無法即時得

知各航機的確切位置，必須倚靠經驗或雷達輔助來預測離到場航機可能會發生的衝突，進而命令其航機到達指定之位置、高度，給予航機較大的隔離以避免危險發生。在進場航機方面，從多方機場起飛之到場航機，進入終端空域後，經由到場定位點降落在目標機場，由於機場跑道容量的限制，管制員必須將離、到場航機做最有效率的次序安排。由董吉利(民95)之研究，以臺灣桃園國際機場雷達資料中可明顯看出到場航機之軌跡大多無遵照到場程序之規範到場，會因航管介入而有所偏離其航路，倘若再加上尖峰時段航機的增加，可能會發生更多繞行的情況，造成不必要之人為延滯，進而影響航空公司油耗成本的增加，以及消費者的不便。在以往流量管理文獻之研究中，多是利用航路中各陸基設施作為控制點，以特定時段內放飛航機數做為決策變數，無法看出每架航機之即時狀態而加以控制，因此若能夠在有限的空域中規劃依航機軌跡為基礎的彈性航路，配合流量管理概念，針對控制範圍內之各航機進行飛航控制與管理，勢必能改善空域擁擠與延滯的情形，以帶來經濟上的助益。

航管人員的經驗極其實貴是無庸置疑的，但人腦畢竟有限，因此若能夠運用電腦發展決策支援系統，提供航管人員更多參考資訊，將可提升航管人員在執行決策時，更有效的顧及安全、效率與準確性。因此，如何利用航機軌跡來規劃進離場航路與程序，以達到航空交通的安全與流暢是值得探討之課題。



1.2 問題描述

航機在空中航行，起降或是地面滑行，並非如鳥般恣意翱翔。天空如地面的公路一樣具有路線。這些無形的路線是藉由助導航設施(NDB、VOR、TACAN)發射的電波所連結起來，由航機的導航裝備或衛星來完成導航。這些航路提供航機在廣大的空中不至於無所適從，同時也便於管制單位提供服務。在飛航管制作業中，另一項重要的工具是雷達。管制員可以利用雷達觀察空中航機的相關位置和動態，並且藉由次級雷達的數據傳送配合航管電腦，讓管制員運用雷達幕上的資料方塊(DATA BLOCK)輕易識別每架飛機。經由雷達顯示，管制員即可依照各種雷達管制程序引導空中的航機，以取得安全隔離並且有序、快速地消化空中交通的流量。

為了達到安全及效率的要求，航管人員與駕駛員的專業知識、技能、緊急應變的程序與能力、以及相關的各項輔助設備都是不可或缺的。航管人員利用無線電和駕駛員協調，應採用哪一預定的路徑進行起飛、爬升、下降及落地。定速飛行時，駕駛員根據飛航計畫書中預先提出的每一段航程，沿著已訂定的航路航行。航管人員必須確保航機間保持安全距離。隨著航機從一管制空域前進下一空域，航管人員之間會有交接監督航機之工作，其中也可能會允許駕駛員為了避開惡劣天候而暫時「脫離航路」之情事。因為彼此立場角度的不同，對於如何達成飛航上安全及效率的共同要求，航管人員與航機駕駛員也會有不同的看法。對飛

行員而言，一般都希望能選擇最直接的航線以及最經濟的巡航高度。但往往這些理想的設定並無法完全符合航管上安全的要求和限制。對於航管人員，他們必須同時面對及處理多架不同要求的航機，在許多情況下，他們必須要求某一航機改變速度、高度、方向或甚至多轉幾個圈，以求達到整體飛航安全的考量。

由於目前駕駛員必須沿著固定之航路曲折航行，跨越地面導航信標的上空，讓航管人員能在雷達觀測有限之範圍下進行航機管理，如圖1所示。若能夠排除地面導航設施之限制，即在未來採用全球定位系統與衛星導航方式，達到自由飛行之目標，讓駕駛員有時能選擇較直接之路徑，有時則採用距離較長但因順風而較快之路徑，此種航路彈性可以讓駕駛員按照自己希望的路線與時間飛行，管制員可以彈性改變航路，達到最佳的飛航模式，亦可使系統大幅增加空域容量，如圖2所示。

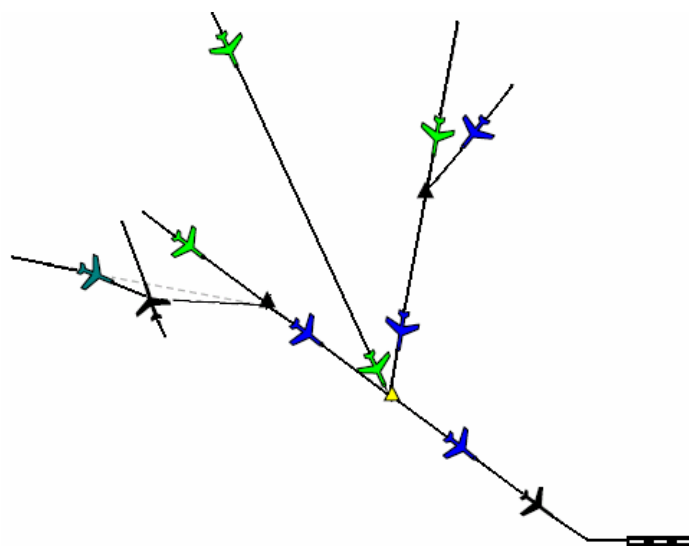


圖 1 固定航路圖

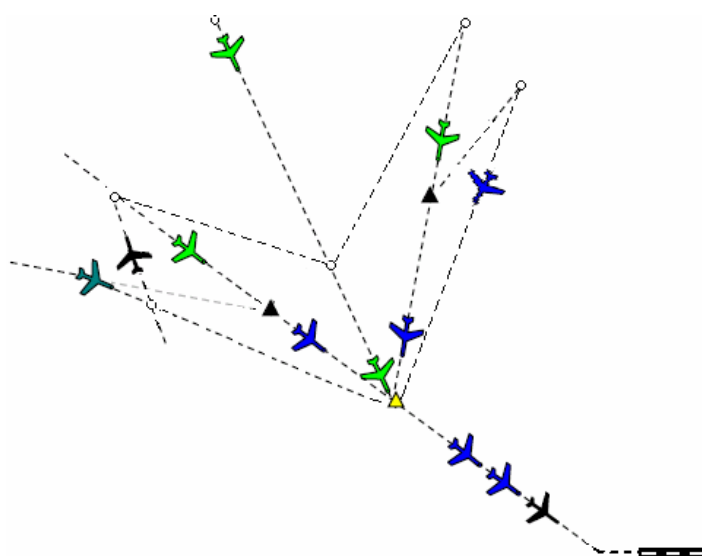


圖 2 彈性航路圖

在圖2之航管作業環境下，透過GPS定位系統，航管人員可精確知道航機在系統範圍內每一時刻的位置，並彈性調整飛行的航路，而非如圖1航機之運作，由於受限於陸基設施，以致於航機在調配上無法即時做出更有效率的決策，有時更需以雷達引導的人為介入方式管制，以致發生航機繞行情形。因此若能應用較具彈性之飛航管理方式，將能使空域使用更有效率。本研究即是希望透過航機軌跡之分析探討，在可行彈性航路的引入與佈設條件下，發展彈性航路流量管理模型。

1.3 研究目的

管制員必須對到場與離場的航空器排定其順序以保持良好的空中交通，而為了在尖峰時段仍能維持航機交通的順暢，提供管制員更精確的排序與隔離工具是一個必要的手段，其目的是維持進離場管制服務的品質以及更有效的利用空域與跑道容量。以往國內對於流量管理方面，如劉仲祥(民93)及俞瑞華(民92)之研究，皆以台北飛航情報區飛航指南(AIP)中之固定航路，配合空域模擬模式進行流量管理。

本研究欲利用使用者偏好軌跡的概念，改善以往以固定航路進行流量管理的方式，在依航機軌跡為基礎的彈性航路上設定多個虛擬控制點，當航機通過控制點時，由於控制點間之距離為已知，即可以準確預測該航機到達下一控制點之時間，因此管制員能夠精確地依據此等數據進行隔離，以實際雷達資料中統計出航機到達各點時應維持的高度、速度等參數，針對台北終端管制區之網路利用電腦程式建立模擬模型，以達到離到場航機都能順暢飛行為目標，並減少不必要的繞行延滯、航管干擾以及管制員在決策上的負擔。

利用所建立之模擬模型，以實際雷達資料進行模擬，探討彈性航路之效益，首先須完成相關節點參數之設定，以及彈性航路的規劃，亦即可以讓管制員在安全運作的條件下，有較多航路選擇的可能，俾航機能以對航空公司最有利的航線飛行。在此構想基礎之下，本研究擬發展一網路模擬模型，以協助管制員更容易地掌握航機的動向。因此本研究之目的如下列三點：

1. 建構台北終端管制區內以使用者偏好軌跡為基礎之彈性航路，滿足到場航機順暢航行。
2. 在彈性航路基礎之下建構台北終端管制區網路模擬模型。
3. 分析以彈性航路建構之網路運作效益。

1.4 研究範圍

台北終端管制區為台北飛航情報區中航機離到場最繁忙之區域，依據飛航指南中對於此區域之定義，其離到場空域範圍為飛航空層 1200 呎至 20000 呎間，由臺灣桃園國際機場近場管制塔台所負責，作為本研究之探討範圍，僅考慮在此飛航空層範圍內，國際線雷達管制之離到場航機，不將過境台北終端管制區任何航機納入考量。以航管雷達資料，依不同儀器到場程序來建構此一範圍之到場航機軌跡，進而規劃以航機軌跡為基礎之彈性飛航路線，至於離場航機則仍沿用既有離場程序，以作為分析之依據。

1.5 研究內容與流程

本研究以台北終端管制區內臺灣桃園國際航空站離到場民用航空器為研究對象，由三大部份所組成：第一部份為建立以航機軌跡為基礎之到場彈性航路：經由實際航管雷達資料與相關之參考文獻規劃出到場航機之彈性航路。第二部份以規劃後之航路，建構台北終端管制區內到場航機之模擬模型。第三部份以實際資料進行模擬，並分析本研究模型之效益。本研究之流程如圖3，於確定問題後制訂其研究範疇，詳閱有關空域模擬與流量管理之參考文獻，規劃台北終端管制區內到場航機之彈性航路，並以電腦程式語言設計彈性航路網，並設定各虛擬控制點之參數，建構以軌跡為基礎之網路模擬模型，以實際雷達資料進行模擬，分析彈性航路使用效益，最後以本研究模擬模型得到成果作歸納及統整後提出建議。本研究工作內容如下：

1. 界定問題與範疇

確定本研究之問題「以航機軌跡為基礎之流量管理」，以前述之研究範圍進行後續研究工作。

2. 相關文獻回顧與探討

探討我國目前飛航管制作業，說明目前飛航管制可能隱藏之問題。回顧國內外相關之文獻，將有關流量管理與空域模擬之相關文獻統整與比較。了解此一議題目前研究之進展，以及值得探究之議題與論點，由於本研究之範圍為台北終端管制區，因此必須回顧飛航指南中，航機在此區域之離到場程序標準之規範，以及管制員依飛航管制作業程序規範之標準。

3. 蒐集及分析航管雷達資料

依董吉利(民95)篩選中正終端航管自動化系統所紀錄航機雷達資料之程序，取得台北終端管制區內國際航機之雷達資料，按照不同機型及離到場程序分類歸檔，取當中必要之資訊，確定建立航機軌跡必要之參數。參數包含：雷達紀

錄航機每一筆飛行資料之時間、航機呼號、雷達電碼、雷達回報航機位置WGS84之XY座標、航機回報之高度、航機水平速度或X Y軸上對應之航機速度、爬升下降率及航向。

4. 航機彈性航路之規劃

建構台北終端管制區內到場航機之彈性航路。依據航管雷達資料之歸納與整理，配合飛航指南規劃之航路，以最符合航機軌跡之航路，設定彈性航路之上限、下限範圍，進而確定本研究範圍中無衝突之彈性航路，規劃符合到場航機軌跡之彈性航路。

5. 網路模擬模型構建

在此一步驟需建構以彈性航路為基礎之網路模擬模型。以電腦程式語言C++ Builder 5設計一適用台北終端管制區域之模擬模型，依第四步驟所規劃之彈性航路中設置數個虛擬控制點，確定各節線長度及各節點之座標位置，進行網路模型構建，再依據實際雷達資料來設定各虛擬控制點上航機之飛行速度。

由於航機到達各虛擬控制點之時間間隔必須符合隔離標準，將此標準規則作為模型構建的主要依據，以模擬方式找出最有效率之航機指派方式與各航機之飛行路徑。

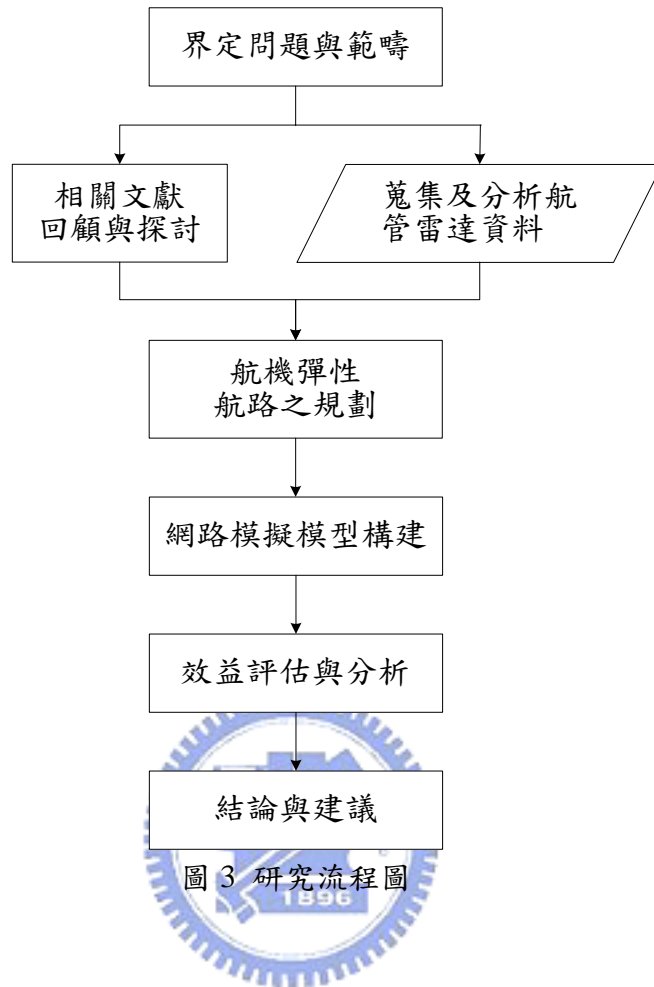
6. 效益分析

經由上述構建之網路模擬模型，以實際雷達資料來驗證此模型，並以模擬分析彈性航路規劃後與無彈性航路方案下之差異，進行效益評估與分析。

7. 結論與建議

總結本研究之結論並給予後續研究相關建議。

本研究流程如圖3所示：



1.6 研究架構

目前飛航管制為了達到安全的目的，管制員必須給予航機較大之隔離，因此到場航機常會因管制員過度介入而產生人為延滯，且駕駛員對於航機行徑無所適從，增加無謂的困擾，同時也因此延滯產生油耗成本增加。本研究欲解決此問題而提出航機軌跡規劃，依據到場航機可行軌跡資料規劃適合之航路供駕駛員選擇或航管人員指派航路之用。在地面基礎設施與機載設備完備之前提下，利用節點、節線之概念，加入時間變數，將各規劃後之航路以最大空域容量與最有效率為目標進行流量管理。圖4為本研究之研究架構圖。

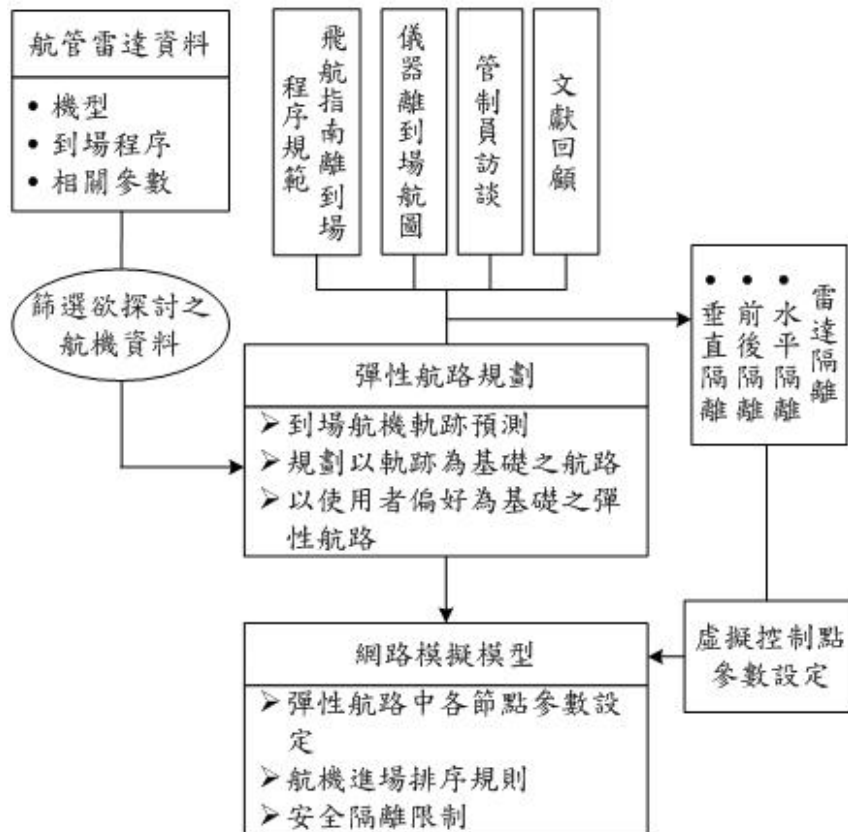


圖 4 研究架構圖

1.7 研究方法

本研究以航管雷達資料配合文獻回顧方式規劃台北終端管制區到場航機之彈性航路，運用電腦程式語言撰寫模擬模型，以實際雷達資料進行彈性航路上各虛擬控制點之速度設定參考，將航機間安全隔離時間設定為一常數，建立航機排序之規則後構建模擬模型，經由此模擬模型可以精確掌握研究範圍內每一航班經過各控制點之時間，提供駕駛員明確之路徑選擇。最後將以實際雷達資料進行模擬分析，並將此模擬結果與目前固定航路管制方式作比較分析，評估以彈性航路為基礎之飛航管理所得之效益。

第二章 文獻回顧與評析

文獻回顧分為四部份進行探討：1.我國目前飛航管制作業的情況敘述，對於目前作業環境、管制方式加以說明；2.我國CNS/ATM主計畫之介紹，說明如何從傳統之作業系統轉換為未來自由飛行營運環境的計畫，以及目前國外飛航管理的發展；3.探討飛航管理的現況與目前遭遇之限制；4.流量管理與空域模擬的相關文獻探討，包括地面等候、空中等候、路徑變更等策略之應用與國內外空域模擬模式的相關研究。最後一部分為文獻評析，將統整相關之文獻，提出本研究可再深入探討以及研究的議題。

2.1 我國飛航管制作業^[27]

飛航管制為「空中交通管理」一重要環節，負責在航空器起飛、降落、飛航途中，利用雷達及其他輔助性自動化資訊裝備，透過陸空無線電通訊，提供航空器安全、有序、便捷的專業性服務。在台北飛航情報區內飛航管制業務分為機場管制、近場管制、航路管制等。基於本研究之研究範疇為終端管制區域，因此僅就近場台之管制作業說明：

1. 近場管制

負責一個或數個機場離到場航機之管制，管制空域之高度自一千呎以上至二萬呎，或二萬四千呎以內之空域，負責提供航空器的離到場高度及雷達隔離之航管服務；以無線電及雷達為工具，由各近場管制台提供服務。台灣地區共有五個近場台，分別是：

1. 中正近場台
2. 台中近場台
3. 高雄近場台
4. 花蓮近場台
5. 台東近場台

每一近場台又因空域劃分而分許多席位，主要管制方式為雷達或人工管制隔離。而中正近場台所管制範圍約北至基隆外海，東至宜蘭外海，西至新竹外海，南至後龍所劃成的一個瓢形區域，高度從1000呎~ 20000呎，內轄松山，臺灣桃園，新竹，桃園空軍基地四個主要機場及一些陸軍小機場，分有四個主要雷達席位：松山席(SR)，中正席(NR)，新竹席(PR)，桃園席(GR)。

2. 飛航隔離管制

管制隔離的依據主要有下列三種：

1. 目視隔離：管制員以目視的方式引導航機避免碰撞，此僅限於機場附近的航機，由塔台管制員為之。
2. 雷達隔離：以雷達的方式引導航機避免碰撞。
 - (1) 高度隔離：高度於29000呎以下，兩機之間要有1000呎的高度差。高度於29000呎以上，兩機之間要有2000呎的高度差。
 - (2) 平面隔離：相同高度的兩航機位於雷達天線40哩的範圍內，彼此要有3哩以上距離。若兩機位於雷達天線40哩的範圍外，彼此要有5哩以上距離。
3. 人工管制隔離：無雷達輔助，僅靠管制員記錄及飛行員報告方式進行航機之隔離。
 - (1) 高度隔離：高度於29000呎以下，兩機之間要有1000呎的高度差。高度於29000呎以上，兩機之間要有2000呎的高度差。
 - (2) 前後隔離：限定航機於某時間通過某點，前後航機之隔離基本上為10分鐘或20哩。
 - (3) 左右隔離：限定航機飛航於不同之航路上。

以上隔離方式，只要有一種存在便視為安全隔離，若航機間皆未達上述任一之標準，則有危險之虞，稱之為空中接近。

目前我國飛航管制作業主要仍以航管人員控制為主，航管人員利用語音方式與駕駛員溝通協調作出決策，完成航機能順利離到場的程序。然未來CNS/ATM飛航管理之目標，希冀能應用硬體設備與電腦軟體之配合，降低航管人員之工作負荷，提供駕駛員明確的訊息。因此2.2節將說明我國與其他各國CNS/ATM之發展與作法。

2.2 CNS/ATM發展計畫

自西元1989年國際民航組織(ICAO)提出CNS/ATM系統，欲藉由先進的科技與全新的飛航服務程序，克服傳統飛航服務系統之限制，有效改善飛航服務系統之效率與品質。國際上各組織也相繼提出CNS/ATM系統作業概念，可作為研擬未來全球整合一致飛航管理作業規範與標準的基礎。以下僅針對我國CNS/ATM發展計畫及已引用飛航管理彈性航路策略之澳洲做介紹。

2.2.1 我國CNS/ATM之發展計畫^[28]

中華民國民用航空局為解決台北飛航情報區日趨飽和的機場容量及高密度之空域使用等問題，提供我國及國際航機先進服務，協助航空公司降低營運成本，經行政院於民國91年12月核准民航局台北飛航情報區「通訊、導航、監視與飛航管理(CNS/ATM)發展建置計畫」。此計畫最終目標在於依台北飛航情報區飛航需求及ICAO所提之CNS/ATM概念，建置可滿足至公元2025年飛航服務需求之系統及作業程序，以鞏固台北飛航情報區於國際民用航空界之實質地位。本計畫各項主要內容簡述如下：

1. 通訊(Communication)

未來的飛航管理業務將由傳統之類比空對地(Air-Ground, A/G)通訊系統，轉變為整合式之空對地(A/G)數位語音與數據通訊系統，而現行地對地(Ground-Ground, G/G)通訊將會被併入整合式的數位通訊基礎架構。簡言之，以數據鏈(Data Link)通訊，取代大部份傳統之非緊急語音通訊，使用衛星通訊(Satellite Communication, SATCOM)或數據鏈通訊取代越洋高頻(HF)通訊。

2. 導航(Navigation)

飛航業務架構將自現行以陸基為基礎之傳統助導航設施過渡到包含全球定位系統(Global Positioning System, GPS)以衛星為基礎之全球衛星導航系統(Global Navigation Satellite System, GNSS)，為航機提供航路飛行及精確或非精確進場之導引訊號，提昇飛航效率及安全。

3. 監視(Surveillance)

未來的監視系統將整合傳統雷達監視系統及自動回報監視(Automatic Dependent Surveillance, ADS)系統，監視資料經由共通標準介面數據格式進行傳輸與交換，以提供航機動態資訊給所有的飛航管理系統(ATMS)，強化地面管制單位對航機動態之掌握，提昇空域使用效率。

4. 飛航管理(Air Traffic Management)

配合空域調整、飛航服務單位之整併及新建之北部及南部航管作業中心，新一代的飛航管理系統將整合各子計畫之系統介面，配合ICAO之建置期程及鄰近飛航情報區之發展，建置之全區完整之自動化系統，並配合新一代航機監視技術之運用，提昇台北飛航情報區之整體飛航服務品質及效率。

2.2.2 澳洲飛航管理策略計畫^[4]

澳洲策略性航空交通管理團隊 (Australian Strategic Air Traffic Management Group, ASTRA) 發展之航空策略計畫中，主要策略方案為提供使用者偏好的軌跡 (User Preferred Trajectories, UPTs)，因此本節將針對此策略方案作詳細介紹，將此計畫分為背景、轉換、效益三部份說明：

➤ 背景

使用者偏好軌跡策略是以使用者觀點來達到未來飛航管理的目標，允許使用者選擇自己偏好的軌跡 (三度空間+時間) 航行，主要是發展一個以安全為前提，且對環境各層面影響最小，能提高營運效率與節省成本效果的結構與環境。而此軌跡是指從起飛機場的登機門開始至目的地機場的登機門之間的航行軌跡，因此使用者偏好軌跡必須包含航路中、終端區域與地面階段的軌跡。

➤ 轉換

為了使目前的飛航管理系統能夠轉換成以 UPTs 為基礎的未來飛航管理系統，ASTRA 提出了五個階段的轉換策略：

(1) Tasman 之使用者喜好航路

將 User Preferred Routes (UPRs) 策略引進澳洲東南方 Tasman 海上之空域航路，在此空域中飛行之航機都必須有導航與通訊的機載系統，且對在此空域的使用者，實施先導測試計畫。

(2) 國際線之彈性航路

針對飛越澳洲空域之國際線航機引進彈性航路策略，且航機都必須有適當的機載設備。彈性航路定義為每日依不同狀況所計算出兩特定城市間可提供最有效率飛行飛航服務航路。

(3) 國際線使用者偏好之航路

引進 UPRs 至往返澳洲之國際線航路，支持飛航管理目標營運概念 (ATM Target Operational Concept, TOC) 的達成。

(4) 國際與國內線使用者偏好之航路

引進 UPRs 與 UPTs 至澳洲飛航情報區，連結澳洲國內與往返澳洲之國際線航路，以支持飛航管理目標營運概念的達成。

➤ 效益

使用者偏好軌跡的執行將會對空域利用與機場容量有明確的效益，空域將會變成所有使用者可以利用資源，且提供能支持飛航管理目標營運概念的架構，其效益歸納如下：

1. 利用機載與陸基設備構成之最佳化飛航路徑，改善營運效率；
2. 增加飛航路徑選擇的隨機性可提高安全；
3. 減少環境衝擊；使航空公司之航班規劃達到：
 - (1) 減少飛行時間；
 - (2) 減少燃油消耗；
 - (3) 減少污染物；
 - (4) 改善交通量的分配；
 - (5) 航機維修的節省
4. 有動態重整空域交通量的能力；
5. 利用系統工具增加營運彈性；
6. 增高澳洲國防營運的自由度；
7. 減少機坪與滑行道的擁擠；
8. 提高跑道容量；
9. 提高終端空運容量。

澳洲航路經由結構的重組，墨爾本、布里斯班以及雪梨等大城市與其他國際都市間之彈性航路也已陸續執行中。由於經由有系統化組織的航路結構可提供更多的航路，因此可達成更好的航空交通運輸，每日產生的彈性航路也更強化了航管的航機隔離保障，同時也使得航空公司可以獲得使用固定航路所無法得到的效率與利益，甚至航機準點率亦可因而提升。

澳洲的經驗說明了即使空域廣大，實際上並無空域擁擠之空域結構仍有相當改善的空間。更何況我國空域狹小，應該能有相當大的改善空間，尤其油價、能源問題越趨嚴重，航路的有效改善及最佳彈性航路的引入必定能提升我國航管服務的品質與競爭力。

2.3 飛航管理之現況與發展限制

隨著世界經濟不斷成長，航運量的日益增加，而現階段受限於航管的傳統設備，在有限空域下，無法有效地縮減航機間的距離，導致航機常因擁擠而發生延滯，因此為了改善此狀況，世界各國均積極地發展可以解決此空域有限而航機不斷增加的科技技術，由於目前各國所提供的飛航管制作業標準不一，各個飛航情報區所應用的基礎建設也不一致，因此為了達到全世界都能統一的作業系統，減少在各飛航情報區間的連續性問題，過去數年國際間陸續發展一連串的通訊、導航、監視與飛航管理(CNS/ATM)相關計畫，以期能改善飛航作業效率，然而近幾年，國際民航組織(ICAO)及相關航管先進國家漸漸察覺新科技的運用並非新一代

飛航管理系統的建置目的，定義一個明確飛航作業需求為基礎之全球整合飛航管理系統作業概念才是最迫切的工作。唯有清楚描繪符合未來航運量與使用者需求之飛航管理系統作業方式，並搭配通訊、導航、監視與飛航管理(CNS/ATM)技術或更先進技術之應用，才可真正強化飛航管理的系統功能與程序，建構全球空域的安全、一致性、無間隙與協調性的飛航環境，以提昇飛航服務之安全與效率。

2.3.1 飛航管理的現況

根據交通部委託工業技術研究院於民國九十四年發行之我國新一代航管系統建置策略綱領之研究^[25]，目前全球多數國家之飛航服務都依據國際民航組織(ICAO)所規定之標準與建議實行，國際民航組織附約2之航行規則(Rule of the Air)及附約11之飛航服務(Air Traffic Services)等兩份文件為全球各飛航區域建置飛航管理(Air Traffic Management, ATM)系統的基礎規範。另外，導航服務程序(Procedures for Air Navigation Services, PANS)一系列之作業規範(如PANS-ATM Document 4444, PANS-OPS Doc8168等)，更詳細訂定了一些飛航管理的作業標準與作業程序規範。國際民航組織目前有188個締約國運用相同的語言(英語)，依上述之標準實行飛航管理作業，建置共通的助航設備以提供能有效、安全、迅速之飛航管理服務。

飛航服務包括飛航管制、飛航情報與飛航守助等服務，其中飛航管制服務的比重最大。飛航管制人員須具備獨特的空間認知能力，快速的資訊處理能力，主動且即時的邏輯分析各種高度複雜的管制技巧，下達指令以：

- ✓ 保持航空器安全間距，避免發生碰撞的危險
- ✓ 保持空中交通的有序與快捷
- ✓ 確保飛航安全及提供航空器作業者飛航效率相關資訊
- ✓ 在航空器發生需要協助搜救時之相關單位通聯服務

飛航管制服務又可細分為機場塔台管制(僅涵蓋一個機場)、近場管制服務(涵蓋一個或以上機場及其鄰近空域)及區域航路管制服務。國際民航組織為了達到全球化的飛航服務，將全球空域化分成多個飛航情報區(Flight Information Region, FIR)，空域範圍的劃分一般是以國界來區分，因此形成歐洲地區被劃分為很多很小的空域，而飛航情報區也可同時包含好幾個國家之空域。相反的，領土廣大或涵蓋較大水域的國家則擁有數個飛航情報區。每一飛航情報區所屬國家的民航局，考量其區域內航空運量需求及自身之財政能力，依據國際民航組織所研擬公告之標準與規範，建置各自空域內的飛航服務功能與水準。固定的航路結構跨越數個飛航情報區，而各飛航情報區內依相互連接的固定航路與相鄰之區域管制空域，實施交接程序，提供區域

航路管制服務。各飛航情報區內也有服務機場鄰近空域的終端管制區域(TerMinal control Area, TMA)。管制空域或管制區域將視航運量與管制員工作量之多寡，再細分為多個管制之席位(Sector)。

航空器在航路及機場的活動有其限制的範圍，管制員僅在這些空域範圍內提供飛航管制服務，其他的空域稱為非管制空域(Uncontrolled Airspace)，或為軍方所使用空域，或為國防軍事用途之特殊空域。

一個飛航情報區內的飛航管理作業程序主要是根據飛航的型態、航空器密度、通信、助導航、雷達或搜索監視技術與設施、地理環境及國家財政能力而定。航空器必須事先獲得航管許可(ATC Clearance)才可進入相關空域使用。目前的飛航管理就是根據上述不同作業環境之考量，採用適當導航作業程序與隔離標準。

現今飛航管理依舊使用紙張列印之飛航管制紀錄條(Flight Progress Strip)進行管制服務，飛航管制紀錄條是依據航空器之飛行計畫(Flight Plan)經過飛航資料處理系統(Flight Data Processor, FDP)處理後，列印給航管人員參考的管制飛航資料。飛航管制紀錄條上記載管制範圍內航空器的呼號(飛航班次號碼)、機型、空速、各航點的時間、飛航的航路、高度及雷達電碼等資料。管制員將管制條依據交管點之地理位置及到達交管點時間之先後次序，排列於管制板上。管制員考量所負責管制席位(Sector)所有航空器之飛航需求，即時安排或規劃各航空器之安全飛航高度或飛航路徑。管制員根據雷達顯示器及相關之管制條資料安排航空器之飛航。在陸地及航運量密集之空域內，由於地面之助導航輔助設施較多，通常航空器間之隔離(Separation)標準比越洋飛航或偏遠地區之飛航間之隔離標準來的低，即隔離距離或時間可以較短。航空器間之隔離標準通常是以時間或距離來表示，而最低之安全隔離標準隨國家或管制區之航空基礎設施不同而有不同的標準。隔離通常分為前後(Longitudinal)、左右(Lateral)的水平隔離(Horizontal Separation)及高度隔離(Vertical Separation)，而隔離標準的訂定主要是依據航情複雜度(Traffic Complexity)、航行時間(Exposure Duration)、空域大小(Airspace Dimensions)、通信能力(Communication Capability)、偵錯與更正能力(Blunder Detection capability and Correction)等變數所組成的碰撞風險分析公式計算而得。^[25]

傳統上，飛航空層290(FL290，表示29,000呎)以下飛航的航空器採1,000呎的高度隔離，飛航空層290以上飛航的航空器採2,000呎的高度隔離，主要是因傳統的高度計在29,000呎以上的不精確性考量。但由於近幾年全球航運量的不斷成長，空域已不敷使用，加上新科技之高度進展，新一代航空器之機載裝備日漸精良，為此國際民航組織(ICAO)提出所謂的縮減最小垂直間隔(Reduced Vertical Separation Minima, RVSM)計畫與施行規範，已在全球各地區陸續建置實施最小垂直間隔(RVSM)空域。目前台北飛航情報區已經全

區實施最小垂直間隔(RVSM)，而相鄰的飛航情報區並未完全實施，因此台北飛航情報區須負擔最小垂直間隔(RVSM)與傳統高度隔離 (Conventional Vertical Separation Minima, CVSM)轉換之額外工作。[25]

在科技快速發展進步下，自動化已成為時代的趨勢，接著將針對飛航管理自動化系統的功能作說明，以瞭解飛航管理自動化系統在飛航服務中扮演的角色，飛航管制自動化系統主要包括三大部份分別為：(一)資料處理系統：負責蒐集、處理、貯存整個空域內所有相關之航情資料，即時展示並隨時更新空域內之航空器動態；(二)雷達資料處理系統(Radar Data Processing, RDP)：處理飛行計畫書，多個雷達陣地所偵測的移動物體或固定物體之雷達回波，氣象回波資料等等；(三)飛航資料處理系統(Flight Data Processing, FDP)：接收來自國際航空固定通信網(Aeronautical Fixed Telecommunication Network, AFTN)所傳遞的各項飛行計畫與飛航資訊，或系統事先建置之長期飛行計畫(Repetitive Flight Plan, RFP)等等。[25]

飛航管理自動化系統除上述之三大系統外，目前相鄰飛航情報區之間已建置有飛航情報區間資料通訊(ATS data Interchange Data Communication, AIDC)，用以自動傳遞相關飛航資訊，提升飛航效率並降低管制員之工作量，同時一些航管自動化系統也具備短期衝突警示(Short Term Conflict Alert, STCA)、飛航路徑預測(Trajectory Prediction)、飛航路徑監控(Flight Progress Monitoring)及中程計畫衝突警示(Medium Term Conflict Detection, MTCD)等功能以協助管制員，使其工作更具效率。[25]

而我國現有之飛航管制自動化系統包括洛克希德馬丁(LOCKHEAD US-LMT)公司的Air Traffic Control Automation System及泰勒斯(Thales)公司的EUROCAT 1000系統，支援台北飛航情報區主要的飛航管制服務，包括航路中、終端管制區和機場塔台等。飛航管制業務包含飛航路徑的指引、一致性的監控、航管許可的頒發、航空器與航空器及航空器與地障間的避撞及促進並維持台北飛航情報區內有序之飛航流量等相關業務。[25]

飛航管制自動化系統(Air Traffic Control Automation System, ATCAS)包括一套航路自動化系統及中正、台中、高雄三套終端自動化系統(Terminal Control Center Automation System, TCCAS)，飛航管制自動化系統(ATCAS)其功能及容量可滿足現在空域的需求，並可提供台北飛航情報區近期的未來必要的飛航管制服務。當航機飛航於雷達涵蓋不足的越洋區域或偏遠地域時，現階段航管作業所提供的管制服務，稱為非雷達管制程序。在非雷達管制區內之程序管制(Procedural Control)規定，需有較大的航管隔離與較低的系統容量，也因前述兩項原因再加上固定的飛航路徑等因素，使得航空器在非雷達管制區受到更大的限制，因而降低該區域之飛航績效。但因航運量不斷成長，航空器機載裝備的日新月異，相關國家對其越洋區管制(Oceanic

Control)也不斷投入資源以提昇空域能量，例如，有些國家或區域陸續實施越洋空域的最小垂直間隔(Reduced Vertical Separation Minimum, RVSM)標準，以及執行動態航路選擇機載裝備(Dynamic Airborne Re-routing Procedures)程序與降低水平隔離(Reduced Horizontal Separation Minima, RHSM)等計畫與程序，以提升該區域或國家的飛航效益。^[25]

在機場附近之終端空域因其航行密度較高，航空器飛航路徑交錯，其所形成的空域複雜度遠比航路飛航階段高，以及不同機載裝備與性能差異的航空器、日益嚴格的噪音管制程序及環保要求等因素，導致終端空域的飛航管制作業益形複雜，也因此使得全世界很多機場航空器離、到場延誤情形也日益嚴重。為了改善此一經常性的航班延誤現象，飛航管理相關組織或機構提出很多新的飛航管理計畫(如實施交錯進場或雙跑道平行進場)，企圖改善並提昇機場的容量。但終端空域除航空器安全隔離外還需考量航空器機尾亂流(Wake Turbulence)的影響。機尾亂流的強度受到機翼的大小、形狀、重量及飛航速度影響。重量愈大速度愈慢的航空器所產生的機尾亂流愈大。尾隨重型航空器實施離、到場時，所遇到的亂流可能造成後續離、到場航空器的失控，這也是為什麼離、到場航空器間須有充分的安全隔離標準存在的原因。但此安全隔離的標準之管制方式與降低隔離以增進跑道容量的構想卻是背道而馳。因此機場場面的活動也會因航運量的增加而造成更多的延誤，現今多數機場的地面管制都依賴管制員以目視方式實施管制，或配置相關地面搜尋雷達裝備，但仍未發展成自動化技術之系統，以及管制塔台與其他地面作業單位間之聯繫亦缺乏有效機制等因素，導致現階段機場地面的飛航管制作業效益也成為影響航空器作業效率因素之一。^[25]

2.3.2 現行飛航管理系統之限制

在未增加航管系統自動化程度以協助管制員、駕駛員偵測具潛在衝突危險的航空器，並提出解決之參考建議措施的作業環境下，現行的飛航管制系統(Air Traffic Control System)在要求的安全標準下所能處理的航空器數量將受到下列幾項因素的影響：

- ✓ 傳統的空域結構及組成此空域的航路、助導航設施與其服務水準等；
- ✓ 以國界或領空為限的空域劃分方式，及其所屬國家所發展建置標準不一致之航管系統，使空域使用無法達最佳化；
- ✓ 不同飛航管制系統之作業概念與架構，形成不一致的飛航管理；
- ✓ 鄰近國家建置之飛航管理地面助導航設施，未作統一化管裡，雷達或非雷達區有不同之隔離標準；

- ✓ 地面系統至今尚無預測航空器流量及控制流量的處理設備與作業程序，因此航空器雖備有先進的設備，仍無機會發揮效益；
- ✓ 除航管單位，航空器仍未能精確得知其他航空器的位置、飛航路徑；
- ✓ 傳統語音通信的限制與陸空數據交換系統建置的缺乏。

基於上述因素，現行航管系統為達有效的安全區隔，航空器必須依缺乏彈性之固定航路架構來計畫其飛航路徑，這種飛行計畫經常造成航空器流量集中於航路之重要交會點，而大幅降低了可用最佳飛航高度的數量，使得飛航效率低落。同樣的，由於目前所採用的航空器隔離標準及缺乏彈性且非直線飛航的路徑規劃，使終端飛航的空域無法獲得有效的全面運用，甚至於機場地面的航空器活動，也因現有飛航管理作業方式與航空器作業間協調性的缺乏，導致邁向機門對機門(Gate-to-Gate)作業之路充滿障礙。

雖然前述之現有飛航管理的所有限制並非存在於各個國家或區域之飛航管理系統中，但它們所產生的效應對於國際民航在建置一個安全、一致、無間隙的飛航管理系統的努力上形成重重障礙。

2.4 流量管理

因系統容量不足所造成之擁擠已經成為世界共同面臨的問題，在過去文獻中常利用流量管理方式改善空域擁擠與減少延誤的問題，以下將以流量管理目標、方法以及管理策略之實行時期作分類說明。

2.4.1 流量管理目標

流量管理的目標不外乎減少空域擁擠、航機延滯或提供解決之方法。其中以總延滯最小化為目標之文獻為多：Terrab and Odoni(1993)之研究為指派各個航機之降落時段，先行指派延滯成本較高航機之起降時段，最後以總延滯最小化為目標建立靜態流量管理模式；Bertsimas and Patterson(1998)構建多機場總延滯最小之靜態確定性模式，其結果能能提供規劃者重整航路之方案決策以及建議各機場額度供航管人員參考；Anderatta *et al.* (2000) 以航空公司自由選擇起飛降落時間帶的觀念，考量多機場間的班機總延滯最小；我國資策會以空中待命與地面等待所產生之損失最小化為目標建立線性規劃模式，最後可得到每時段到場定位點放飛之航機數目、起飛之航機數目及降落之航機數目，提供航管人員作為控制航機起飛、降落額度之參考；Rossi and Smriglio(2001)為解決地面等候而建立之整數線性規劃模式，以地面等候所造成之延滯最小為目標。

其中以最小成本為目標之流量管理文獻：劉仲祥(民93)利用最小成本流量問題構建最佳化模式，求解各機場可以放行之航機架次；Ma *et al.* (2004)利用動態網路模式解決突發狀況發生時產生之擁擠問題，求航機在此網路中航行總成本最小化，其成本考慮油耗、空中與地面等候成本、降落替代機場之成本，以四種情境測試其模式在不同狀況下之結果，提供航管人員在日後管理上之參考。

而Mohleji(1996)與Dell'Olmo and Lulli(2003)分別以機場容量與航路容量最佳化為目標構建流量管理模式。

2.4.2 流量管理方法

流量管理的文獻可分作靜態與動態之管理模式，靜態意指流量管理策略僅在研究時段一開始時（如一天機場開始營運之時）決定；而動態則考量稍後有更準確之容量預測結果，因此將依據最新資訊調整策略，使其更能配合實際需求。

其中靜態流量管理模式，多以0-1整數規劃(binary integer programming)構建，如Terrab and Odoni(1993)提出單一機場靜態確定性模式與靜態隨機性模式；Bertsimas and Patterson(1998)建立多機場靜態確定性模式，此一研究考量機場起飛與進場容量、航路席位容量、同航機之接續班機、轉機航班接續班機等因素，此外，除地面等候及空中等候外，此研究亦加入航機變更路徑之策略，以0-1整數規劃進行模式構建；Anderatta *et al.* (2000)敘述了美國航空公司對於地面等候策略之實行有許多抱怨，其原因為對於天氣與容量無法準確地預測，導致可能採用比較保守之策略。因此航空公司紛紛要求參與決策之過程，目前美國主要的航空公司與FAA藉由資訊共享的方式，共同進行決策，此方式為航空公司要求FAA告知各班機抵達目的地機場的時間帶，而由航空公司自行決定是否採用地面等候、空中等候或變更路徑。其觀念將長期以來集中式控制的系統轉變為分散式的決策系統，而讓航空公司可自由選擇較有效率及經濟的運作方式。此研究以0-1整數規劃進行模式構建，考量多機場間的班機，然僅將航機到達時間視為決策變數，因此變數與限制式則可減少許多，而驗證的結果也證實，其求解效率較Bertsimas與Patterson(2000)之模式為佳。

動態流量管理模式則有許多求解方法，劉仲祥(民93)針對多機場、多時段之流量與容量做預測，建立依國內航空特性的即時流量管理系統，利用我國自行研發之ANS模擬作測試；Bertsimas and Patterson(2000)提出動態網路模式，加入天氣變化使容量縮減之限制，以總延滯最小化為目標，安排航機之飛航路徑，以均等分配預估未來各時段各席位之容量。更改飛航路徑之方

法，則分為三個階段，分別為總體流量模式、解構以及決定各航班路徑。總體流量模式為動態、多元商品、整數網路問題，決定各時段各節點可通行的航機數量，利用拉氏鬆弛法(Lagrangian relaxation)求解；接著以啟發式解法，將所得之總體流量解構為個別航班的組合，即在各時段的流量額度下，選擇適合的航班在此時段營運，最後再將航班之路徑加以組合，即可得到近似最佳解；Zhang *et al.* (2005)建立一動態程序模式達到最佳效益之流量管理，解決目前空中交通擁擠所產生之問題。此模式能提供即時動態管理而能減輕以往因為計算而設定之門檻導致無法擬真的情形，最後利用模擬方式驗證此一模式；Ma *et al.* (2004) 利用動態網路模式解決突發狀況發生時產生之擁擠問題，其中以Graph Theory建構其研究範圍之網路模型，以數學規劃方式求解總成本最小化之流量分派；Nogami *et al.* (1996) 進行即時管理空域流量與動態飛航排程之研究。此一研究提出了一套自動化決策系統，並運用類神經網路之學習性能，決策數種不同的流量管理策略。由於以往利用擷取管制員經驗作為機器學習的方式，可能還是不足以達到最佳解，或是對於異常狀況無法處理的情形。為了改善以上狀況，本研究建議利用類神經網路方式，建構動態排程模式。為處理許多不同的限制，並與管制人員的實際經驗配合，該系統能在不打擾實際作業的情況下，找到最佳的決策。而在此研究之模式的驗證之下，證明系統在排程策略的決策支援上，較以啟發式解法求解有更佳之效能表現；Mohleji(1996)在研究中提出航路導向的規劃控制概念(Route-Oriented Planning and Control, ROPAC)，其中定義每架航機的最短時間路徑，動態調整空中流量以達到機場容量最佳化，且利用速度來控制航機間的隔離，以保障飛航安全。此研究選擇雙平行跑道的機場為研究實驗，在符合安全隔離情況下運用進場航路以及降落跑道的變更來增加航機起降次數。此研究結果顯示運用ROPAC之概念將可使航機延滯減少3分鐘/架次，平均燃油節省54加侖/架次，跑道之航機起降次數增加14%，管制員與駕駛員之間的通話次數減少30%；Rossi and Smriglio(2001)主要是發展一套地面等候問題之模式，及利用branch-and-cut演算法解決在高度擁擠情境下產生之問題，也就是當缺乏容量而導致取消班機等情況。由實際數據結果分析顯示此演算法勝過其他演算法之原因為其允許班機取消的限制。

2.4.3 流量管理實行時期

流量管理策略可依實行期間與時機而加以分類。Leal de Matos and Ormerod(2000)提出可利用作業研究(Operation Research)的方法，進行歐洲航空流量管制(Air Traffic Flow Management, ATFM)之研究。ATFM是為了在有限容量中，預防航管人員過量之工作負荷與減少延滯所發展之流量管理方法，依時間分別對於流量管理進行規劃，由長程六個月前之航班策略性規劃，中程數天前之事前戰略性規劃，到短期起飛前數小時之戰術性規劃，長

程規劃之目標為平衡流量分配，中程為減少航管人員之工作負荷量，短程為使航班之延滯最小為目標。此研究對於不同決策層級提出應用作業研究可行之方式，說明航路規劃者、航管人員可以作業研究方式進行長、中、短程之策略規劃。說明作業研究演算法於歐洲航管在地面管理有極大潛在的應用空間。

不同的研究對於流量管理策略的分類雖有不同的定義與名稱，然執行期間越長者，例如長期策略、規劃或策略規劃，皆在於提昇飛航管制系統的功能，增加系統容量；對於中期的策略而言，則在於進行時間帶、班表的調整；而短期的策略，則為即時對航機運作加以控制。

茲將以上流量管理模式之文獻整理如表1所示：



表 1 流量管理模式文獻統整表

文獻	考量範圍	決策變數	假設	限制式	貢獻
Terrab and Odoni(1993)	單一機場	✓ 總體流量	✓ 飛行時間已知 ✓ 靜態模式之機場容量已知 ✓ 隨機模式之機場容量為隨機變數	✓ 機場容量	✓ 協助管制員作航機指派
劉仲祥(民93)	多機場、整體系統	✓ 節線流量 ✓ 機場降落與起飛容量	✓ 以地面等候為主 ✓ 班表為已知	✓ 機場容量	✓ 建議各機場起飛額度供航管人員參考
Bertsimas and Patterson(1998)	多機場網路	✓ 席位航機數	✓ 機場與席位容量已知 ✓ 班表為已知	✓ 機場容量 ✓ 航路容量 ✓ 席位容量	✓ 提供航機變更路徑之選擇 ✓ 建議機場額度
Bertsimas and Patterson(2000)	多機場網路	✓ 總體流量	✓ 以均等分配預估席位容量	✓ 機場容量 ✓ 航路容量 ✓ 席位容量	✓ 提供航機變更路徑選擇 ✓ 提供航管動態流量管理模式之應用
Anderatta <i>et al.</i> (2000)	多機場網路	✓ 航機到達時間	✓ 延滯成本為已知常數 ✓ 離場航機須等至接續之到場航機降落後方可起飛	✓ 機場容量	✓ 航空公司可自行決定欲採用之流量管制策略
資策會 ^[33]	單一機場	✓ 時段內定位點等待航機數 ✓ 時段內跑道等待起飛航機數	✓ 跑道起降容量為已知 ✓ 到場定位點容量已知 ✓ 需求事前已決定 ✓ 飛行路徑為固定	✓ 跑道容量	✓ 協助機場流量管制 ✓ 協助調整航班 ✓ 提供塔台做放飛標準
Zhang <i>et al.</i> (2005)	多機場網路	✓ 節線流量 ✓ 疏散流率	✓ 通過節線時間為常數	✓ 航路容量 ✓ 管制員工作負荷量	✓ 提供動態流量管理方法，解決瓶頸點的擁擠情形
Ma <i>et al.</i> (2004)	多機場網路	✓ 節線流量	✓ 通過節線時間為常數 ✓ 節線容量為已知 ✓ 管制員工作負荷為已知	✓ 航路容量 ✓ 管制員工作負荷量	✓ 提供突發狀況發生時容易產生延滯之節點 ✓ 提供管制員即時到場航機之流量分派

資料來源：本研究整理

2.5 空域模擬

為了了解如何最佳化空域使用，了解各種影響流量之因素對於流量管理的影響，在過去文獻中曾利用空域模擬方式，評估空側或陸側之使用績效，然本研究僅回顧相關之空側模擬文獻。

周立偉(民89)以ANS模式為基礎，建構平行獨立跑道機場模擬模式，其修改及新增航機產生、登機門、後推、滑行道、跑道管理與到場等候等六個模組方式，處理航機到場、離場、起飛、降落、滑行、橫越跑道與佔用登機門等不同事件。其模式的功能可模擬平行獨立跑道機場的空邊運作，包括航機在登機門、滑行道與跑道等設施上的運作情形，以及推算出航機在登機門、滑行道與跑道的延滯時間。此研究以臺灣桃園國際機場為實驗對象，構建模式來分析臺灣桃園國際機場在增加起降班次、登機門設施與跑道等各種情境對該機場空邊運作的影響。由分析的結果可得，當機場班次增加時，航機的各项延滯隨之增加，然而若適當增加機場的設施可有效地降低航機的延滯。

李昫諭(民90)以ANS模擬模式為基礎，加入天候條件改變的功能，來分析特殊情況(跑道方向變換、機場臨時關閉)的運作情形，評估機場容量與因應對策。參考平行獨立跑道機場模式，針對其所提出之各模組邏輯深入探討，將其程式邏輯加以修正，其中包含安排離場航機產生後推事件，到場航機之登機門指派與產生接續班機事件，安排航機使用跑道之原則，到場等候原則等，使模式邏輯更為合理。此外，此研究亦提供天氣變化模組探討天氣變化對機場營運所造成之影響。

張仁達(民90)以SIMMOD節點節線模擬模式為基礎，加上ANS模擬模式中考量台北飛航情報區的特性，重新做出模擬模式。模式以節點與節線組成空域路網，節點有最小等候時間、容量、等候策略、抵達節點次序等屬性。節線連結節點，具有速率限制、飛航空層限制、容量限制、雷達引導時間、是否允許超越前機等屬性。其結果可利用節點、節線、席位、與航機模擬來評估空域績效。針對國內空域進行系統分析，並參考國內外之空域模擬模式，建立台北飛航情報區空域模擬模式。本研究輸入現行空域運量進行模擬，依據模擬結果，機場跑道容量為影響空域延滯的主要因素。尖峰時，中正近場台的松山席位所管制的空域航機交通量高於國內其他空域，是較為忙碌的空域，並且該席位的最高流量發生在後龍至林口空域之間。

俞瑞華(民92)以ANS模擬模式為基礎，探討三種管制策略：交通量儀控策略、流量管制策略、近場台管制策略，三種方法對航機擁擠情形的改善績效，並以後龍至林口之間空域範圍進行三種管制策略之模擬。其結果為流量管制策略改善情形最優。

Velazco(1995)利用模擬模式與等候模式對航管系統作高低流量的衝擊分析，在此研究中比較了多種用來分析容量和延滯的電腦模擬模式，如ADSIM、

RDSIM、SIMMOD 等，結論是地區性空域流量改變之影響，仍以SIMMOD的數據較為精確。針對SIMMOD模擬模式與等候模式的比較，此研究提出SIMMOD模擬模式較能看出機場系統內與機場間交互影響的效果；等候模式則在發展情境分析時，可以節省資料輸入、參數設定及系統運作之時間。

Zellweger(2003)欲利用模擬方式處理電腦與人之複雜互動關係，因科技的發展，電腦硬體、軟體設備的進步，利用模擬方式進行CNS/ATNM之研究已成為基本之工具。利用快速且即時之模擬可以應用於早期之概念研究到現在的營運前實驗室測試，且從小範圍之校園實驗室，大至NASA研究團隊都利用模擬方式從事研究。

2.6 文獻評析

空域之流量管理方式，可以分為以下六種策略進行：地面等候、交通量儀控(metering)、更改飛航路徑、速度控制、空中等待、路徑引導(vectoring)等策略。上述之策略中，一般認為地面等候策略為較經濟、有效之策略，因此成為流量管理最常被使用的方法，地面等候主要目的在以低成本的地面等候延滯取代高成本的空中等候延滯，進而促進飛航安全。

若地面等候實施過於保守，使用過多之地面等候，將導致空域容量的流失，亦造成停機坪壅塞，動線不良等後果；然而，若地面等候策略過於開放，將導致空域中航機過多而產生大量的空中延滯，並進而影響飛安，因此在地面等候策略實行時，應該將空中等候策略同時加以考量，才不至於發生空域容量流失或空域擁擠的極端狀況發生。此外，地面等候策略之擬定不能僅對單一機場進行分析，需由整體系統、多機場、整體空域加以考量。

空域模擬主要使用於分析空域運作績效進而應用於流量管理，目前國外，大多已自行構建模擬模式如ADSIM、RDSIM、SIMMOD等等，而國內自行研發之模擬模式ANS，也針對本國之空域環境以及各種情境描述加以構建完成，進行空域運作績效分析。

關於流量管理文獻，受限於控制點為地面基礎設施可偵測航機之定位點，於是多以單位時間內通過該點之航機數作為決策變數，因此僅能提供管制員某時段可通過之流量，而無法了解及控制各別航機在某特定時間的流動狀態，僅以假設航機均為常態分配之方式建構流量管理模式。若未來衛星及數位化技術建置之環境下，以航機軌跡之空域模擬方式，改變以往以飛航指南所設計之固定航路進行模擬，勢必較為精確。

第三章 飛航管理之彈性航路應用

本章分為兩部份：第一部分引述文獻中飛航管理之展望與效益，說明即使未來科技發展完善，仍需要有效的飛航管理方法與策略，才能發揮新一代航管系統之效益；第二部份為彈性航路引用之說明，將明確解釋彈性航路的規劃方式，以及各節點節線上之參數設定。

3.1 飛航管理之展望與效益

未來飛航管理系統的整體目標就是為了使飛航效益達到效益極大化，透過探索現有的及發展中的各種新技術，來強化並提升飛航管理服務的等級。亦即，以符合成本效益的方式盡系統能力所及，維持現有甚至更好的飛安保障下，容許航空器在四度空間(時間及空間)飛航的自由度，還能提升所有航空器的飛航效益。未來的新一代航管系統計畫的主要目標是在飛安無顧慮，空域容量使用極大化且極致化之原則下，「持續性」的滿足所有空域使用者需求。^[25]

因此，未來的飛航管理系統的觀念就是透過逐步的降低隔離標準及增加飛航彈性，以漸進式的發展建置方式，來提升飛航管理服務的效率。除了強化現有的作業方式外，未來新一代飛航管理系統預計透過國際間航管作業程序與標準的一致化，來探討全新且成熟的通訊、導航、監視(CNS)或更先進的技術。

依據國際民航組織(ICAO)的規劃^[28]，未來全球性的新一代飛航管理系統之目標為：

- ✓ 符合航運量成長需求；
- ✓ 支援一個安全、有序、一致與無間隙的飛航作業環境；
- ✓ 強化安全、有序及效率；
- ✓ 減少班機延誤；
- ✓ 提供更大的飛航自由度，容許使用者自訂飛航路徑；
- ✓ 改善資訊的提供、精確性與充分性；
- ✓ 依據飛航管理的提供與作業程序，重組空域結構；
- ✓ 透過全球整合獲致效益；
- ✓ 增強民航運輸的經濟性。

國際民航組織認為達成上述目標，新一代航管系統的任一組成單元，都應在功能協調的考量下，以漸進式的管理方式強化系統功能，以達成全球航管系統一致化與無間隙的終極目標。而這個整合性的全球航管系統僅在所有相關作業標

準、建議措施、作業程序及參考文件發展齊備且完全被遵守及發展建置完成後，才可有效的被實現。[28]

現行全球飛航管制系統因先天上的限制造成飛航安全不佳、飛航延滯與飛航作業效率不彰等多項問題，使航空器無法以最經濟的油料與最佳飛航路徑實施安全飛航。新一代飛航管理系統的概念是要能強化飛航服務品質、降低安全隔離標準、增加航空器彈性及滿足全球一致性、無間隙的特性，國際民航組織堅信管理新一代航管系統的發展建置是極為必要的事項，可增加飛航管理系統之系統效益、充分發揮相關系統的功能與相容性及提供最佳化的飛航作業，因此，在完成擬定航管的標準與建議、發展程序與指導綱要等作業後，各國進而建立一套適合該區特性之整合與全球一致性的航管系統，如此，可達到新一代航管系統發展建置的目標。較成熟的通訊、導航、監視(CNS)系統或更先進的科技，皆以能夠強化航管系統並提升空域使用者與飛航服務提供者之效益為其目標。通訊、導航、監視(CNS)或更先進的技術的發展係為了支援飛航管理服務之用，除此之外，未來新一代飛航管理系統對不同等級機載裝備之航空器皆提供其所需且完整之服務。因此，新技術對於大型航空與一般航空公司皆可帶來效益。備有更精確與可靠導航系統的航空器將被容許飛航於任何型態的空域內，包括降低最低隔離標準以及使用動態航路規劃的專屬空域，如此航空公司可以獲得更佳飛航路徑的機會，以節省成本。更多樣的航機裝備可以容許一般航空業或私人航空器可執行於過去因作業成本或相關規定考量下不被允許的飛航狀態。一般航空業或私人航空器也將因新一代航管系統發展建置的結果，而能飛航於現行飛航管理系統無法安全地提供通信與導航的偏遠空域。[25]

多數國家也將因未來新一代飛航管理系統的逐步實施，而可降低作業成本及大幅減少陸基設施之維護費用，此種費用的節省短期內也許並不顯著，但會隨著時間的演進而呈現。因此，新一代航管系統的建置對於目前航管基礎設施不夠完備的區域而言，可用最少的投資，強化其飛航管理基礎建設，以便有能力處理更多額外的飛航運量。當然，如果新一代航管系統係以全球的觀點來建置的話，則所有國家的航管系統都能獲致改善。

而新一代航管系統透過精密的作業程序設計，以有效整合空中與地面的系統，則可容許更多的航空器依據其最佳規劃路徑飛航，降低飛航作業成本與航班延滯。因此本研究欲引用彈性航路，規劃新一代飛航管理之最佳飛航路徑，以我國台北飛航情報區為模擬範圍，模擬未來飛航管理之作業程序以及可增加的效益。

3.2 彈性航路

3.2.1 航路規劃

我國台北飛航情報區北方及東方與那霸飛航情報區相連、西南方連接香港飛航情報區、南方連接馬尼拉飛航情報區、西北方接上海飛航情報區及西南方接廣州，而其區域範圍根據國際民航組織所劃分範圍，為北緯23度30分東經124度、北緯21度東經117度30分、北緯21度東經117度30分、北緯29度東經124度及北緯29度東經117度30分等位置點直線連結所圍成之區域。由於我國主要門戶機場—臺灣桃園國際機場為全國最繁忙之機場，其航機離到場之空域為台北終端管制區域(TAIPEI TMA)，位於台灣本島北部及其周邊海域之上方空域，為一立體空間，AIP中對其範圍之劃定方式為「自鞍部多向導航台005輻向，與以松山機場為中心，40浬為半徑弧線之交叉點開始，沿該弧線順時針方向至鞍部多向導航台205輻向與該弧線之交叉點連接至2422N 12100E，再連接至2448N 12025E，然後再連接至開始點。上限：飛航空層FL200(含)。下限：自地面1200呎(含)。業務負責單位：中正近場管制塔台。無線電呼號：Taipei Approach。」。台北終端管制區域範圍如圖5所示。

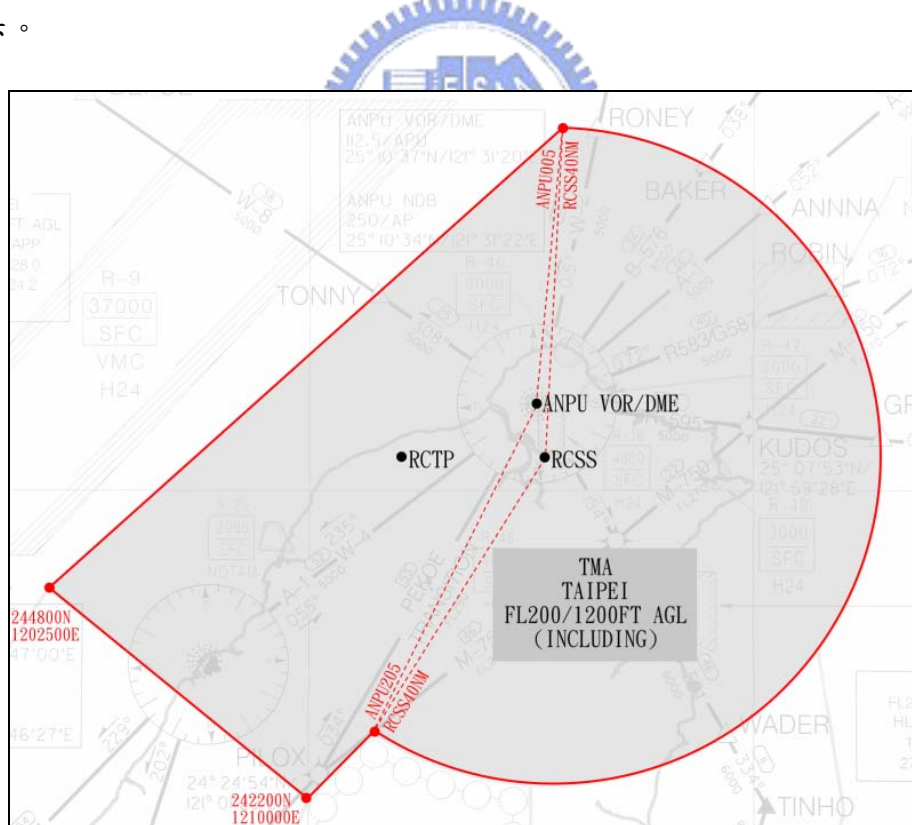


圖 5 台北終端管制區域圖

資料來源：[32]

修天浩(民 96)航管程序對進場航機軌跡之影響分析中指出，目的地為臺灣桃園國際機場之到場航機，共有九個傳統儀器到場程序及五個區域航行儀器到場程序；另有十個傳統儀器進場程序及四個 GPS 儀器進場程序供航機於終場降落。其中以 AU1A 到場程序之實際航機，軌跡明顯偏離 AIP 所規定之路線，圖 6 為 AIP 所規劃之 AU1A 到場程序圖，圖 7 為 AU1A 到場航機軌跡圖，虛線為 AIP 所訂定之 AU1A 航線，實線為航機實際航行路線，由於 AIP 所訂之航線與多條航線在鞍部多向導航台/測距儀 (ANPU VOR/DME) 匯集，造成航機衝突機率增加，因此依 AU1A 到場航機多半無依循指定之航線航行，而極度仰賴航管人員之雷達引導，因此針對台北終端管制區 AU1A 到場路線作修正，蒐集七日之航管雷達資料與管制條資料比對找出航機軌跡進行統計與迴歸分析，求得最符合航機軌跡，確保航線間無衝突且達到安全隔離之路線，建立能改善 AU1A 到場程序之六條彈性航路。

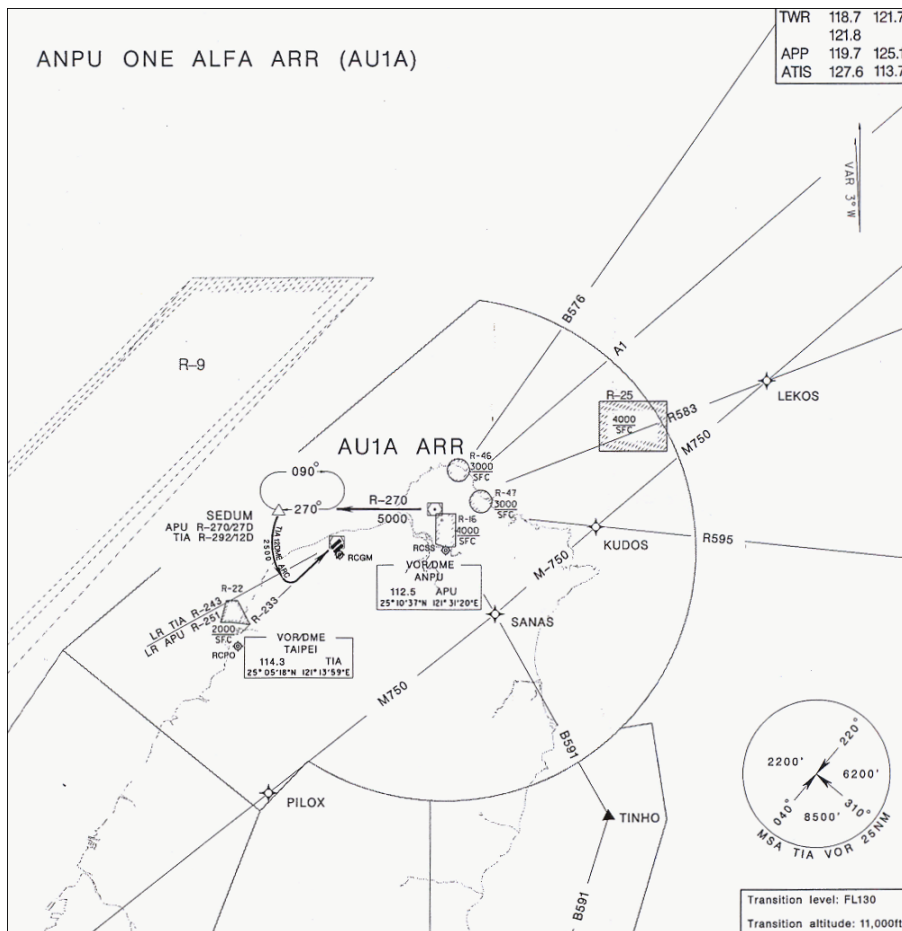


圖 6 AU1A 到場程序圖

資料來源：[26]

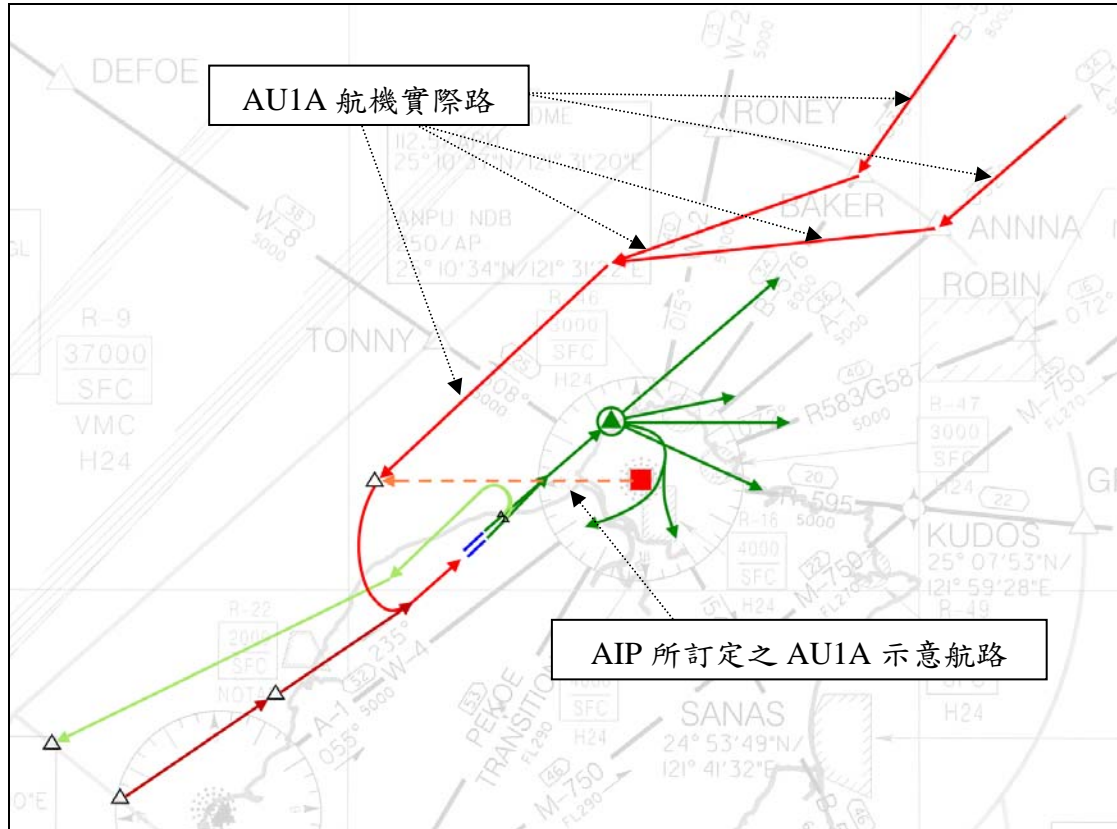


圖 7 AU1A 到場航機軌跡圖示意圖

資料來源：[32]

圖 8 為航線 B576 經 BAKER 交管點進場之到場航線所規劃三條彈性航路圖，R1、R2、R3。R1 航線為連結 BAKER 與 SEDUM 兩節點之節線，R2 航線為由 BAKER 行經新定位點 RP3 連至 SEDUM 節點之兩線段所組成，而 R3 航線則為 BAKER 行經新定位點 RP1 後，連結至新定位點 RP2 之兩線段所組成；圖 9 為由航線 A1 經 ANNNA 交管點進場之到場航線所規劃三條彈性航路圖，此三條彈性航路分別為 R4、R5、R6，R4 航線是由 ANNNA 為起點連結至 SEDUM 節點之節線，R5 航線為由 ANNNA 起始點行經新定位點 RP3 後，連結至 SEDUM 節點之兩線段所組成，而 R6 航線由 ANNNA 起始點行經新定位點 RP1 後，連結至新定位點 RP2 之兩線段所組成。

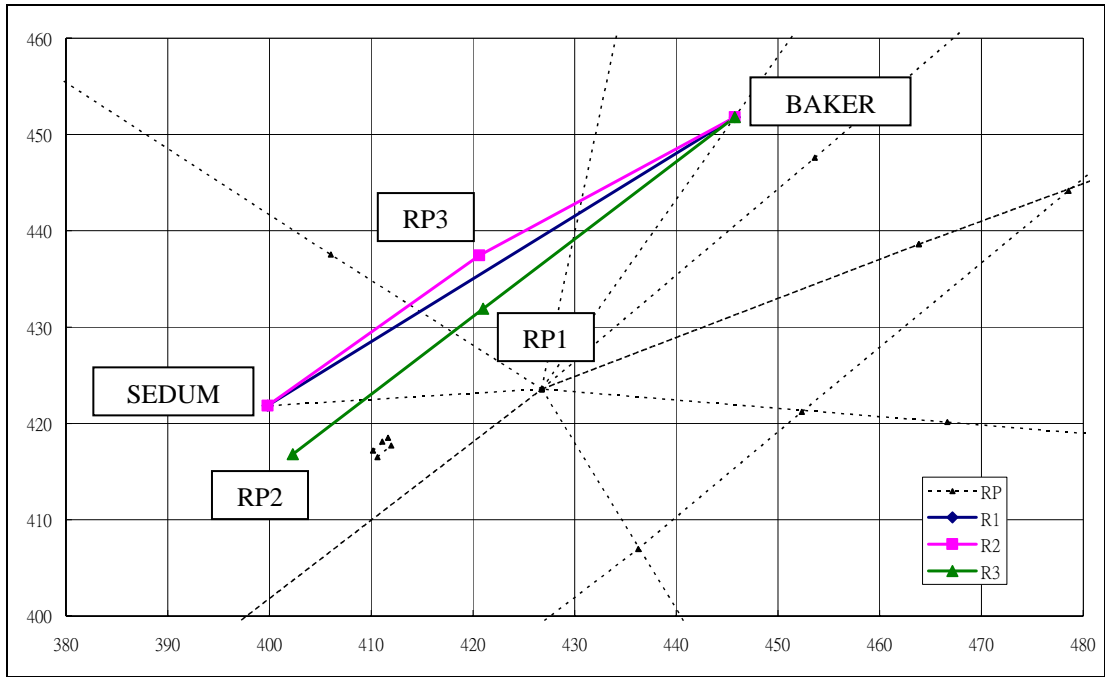


圖 8 AU1A 到場彈性航路(由 B576 航線進場)

資料來源：[32]

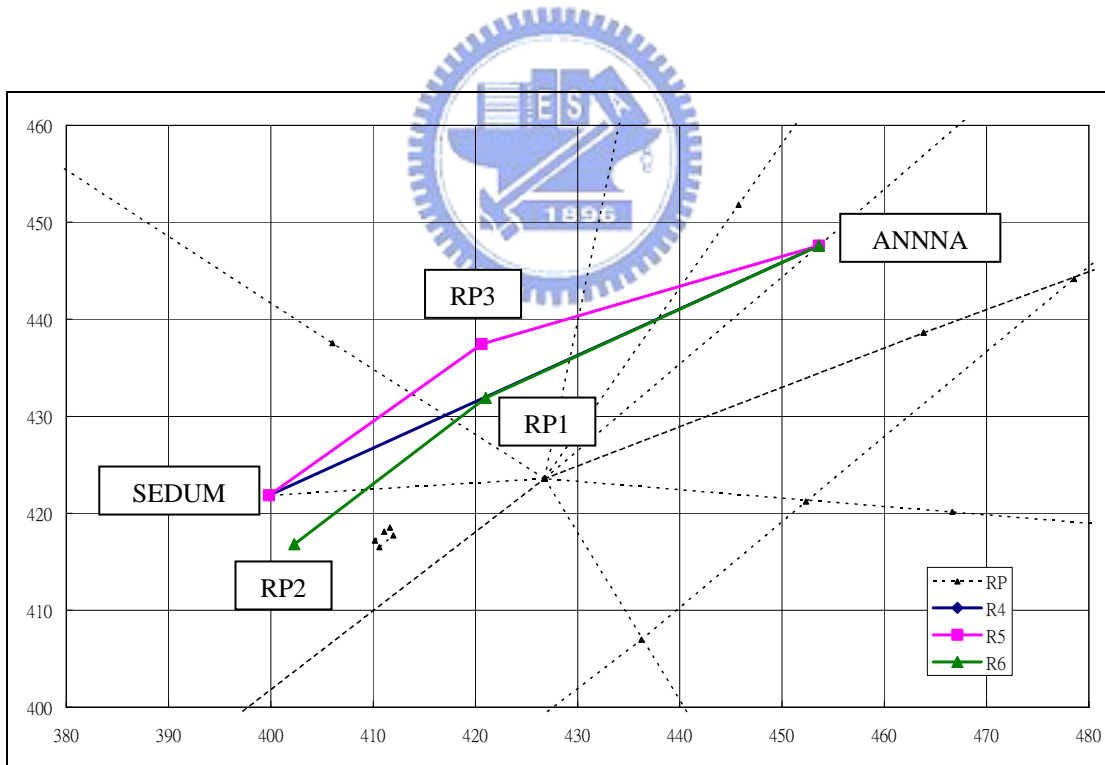


圖 9 AU1A 到場彈性航路(由 A1 航線進場)

資料來源：[32]

3.2.2 參數設定

由於其規劃之彈性航路中，在彈性航路上設定了三個新定位點來確定彈性航路之路線位置，此三個新定位點座標如表 2 所示：

表 2 新定位點座標

定位點名稱	RSX	RSY
RP1	421.00	431.90
RP2	402.30	416.80
RP3	420.63	437.45

資料來源：[32]

經由新定位點座標的確定，可以求得彈性航路中各節點間之距離，亦即節線長度，如表 3 所示：

表 3 各節點距離

單位：哩	BAKER	ANNNA	SEDUM	RP2
RP1	32	36	23	24
RP3	29	34.5	26	
SEDUM	54			

資料來源：[32]

由於文獻^[32]研究中發現，機型的差別對於速度程序上並沒有很大的變化，這是因為在進行分類且歸納出速度程序A、B及C等三種程序時，乃使用實際的航機資料，其速度的變化率比較保守且可被所有航機操作所接受，並沒有造成特定一種機型因操作上的限制而無法滿足。因此各速度程序若能被所有機型接受，則各程序將不需要以機型不同為分類，因為不管任何機型使用上述一種速度程序，該航機皆可達成該程序的要求。

其中速度程序 A、B、C，將空速限制分為高、正常、低三種速度，各定位點之速度限制如表 4 所示：

表 4 定位點之速度限制

速度程序	BAKER	ANNNA	RP1	RP3	SEDUM	RP2
Profile A (Normal Speed)	390kt	400kt	290kt	290kt	250kt	250kt
Profile B (Low Speed)	340kt	340kt	290kt	290kt	250kt	250kt
Profile C (High Speed)	410kt	430kt	360kt	360kt	280kt	280kt

資料來源：[32]

本節為說明本研究所引用之彈性航路規劃方式，以及航路上各參數值來源，配合實際資料所統計之數值作為模擬模型參數設定之參考，初步將模擬模型之網路架構與參數確立，進行下一步驟之模型構建與邏輯說明。



第四章 模型構建

在新一代航管系統建置完成前提下，利用彈性航路增加空域容量與營運效率已不再是遙不可及的夢想，然而，未來要如何有效管理航機正是本研究所欲研究之課題，本研究應用蒐集所得之資料，配合文獻所規劃之彈性航路，自行撰寫電腦程式，建構符合台北飛航情報區現況之模擬模型。本章分為四部份，首先說明模型之基本假設；第二部份為建立模型規則，依據航機之安全隔離標準、三種速度範圍，建立模擬模型之規則；第三部份，以假設之彈性航路圖，作簡化模擬模型，說明模擬模型各欄位意義；第四部份將利用範例說明模型建構之概念，且以範例結果分析彈性航路之效益。

4.1 模型基本假設

簡化模擬模型僅以四架進場航機(1、2、3、4)做說明，簡化模型之進場航路圖如圖 10 所示，節點 A、B 為航管交接點，即區域管制中心與終端管制區交管點，若航機因天候因素或進場航機過多產生衝突，而管制員給予航機盤旋指令時，航機僅能在節點 A、B 點盤旋，等候管制員頒發進場許可；節點 C、D 為地面信標導航點，提供管制員在雷達觀測有限之範圍下進行航機管理；節點 E、F 為彈性航路上之虛擬控制點，其功能與節點 C、D 相同。

圖中節線 \overline{AC} 、 \overline{BC} 、 \overline{CD} 為固定航線，而 \overline{AE} 、 \overline{BF} 、 \overline{ED} 、 \overline{FD} 為虛擬之彈性航路，行經彈性航路之距離總和($\overline{AE} + \overline{ED}$ 或 $\overline{BF} + \overline{FD}$)較航行固定航線之距離總和($\overline{AC} + \overline{CD}$ 或 $\overline{BC} + \overline{CD}$)長，因此若航機在無衝突可能之情況下，皆會選擇其最短路徑，即節線 \overline{AC} 、 \overline{BC} 、 \overline{CD} 。

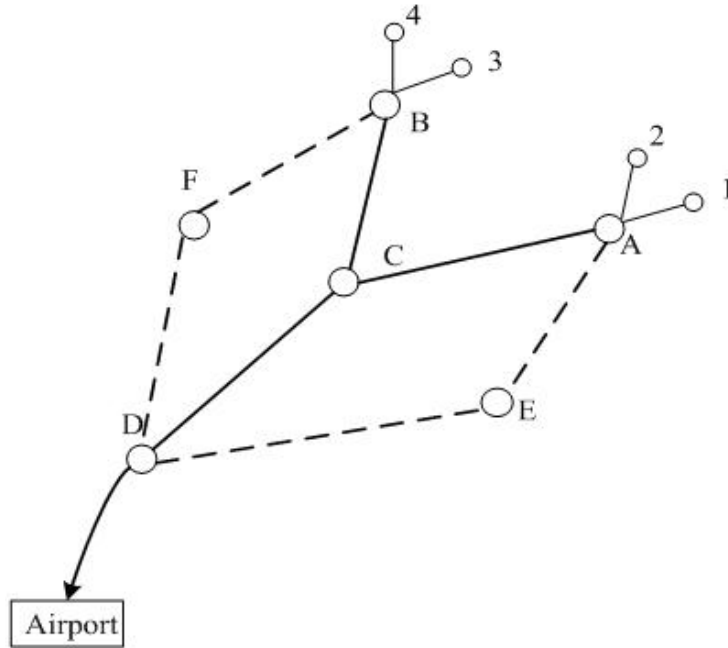


圖 10 簡化模型進場航路圖

在飛航安全前提下要達到有效率的管理方式，必須有以下基本假設與規則加以輔助：

- 航機間需保持安全隔離時間(Δt)
- 以 FIFO(先進先服務)法則進行排序，以航機先降落機場為優先
- 航機在進場速度限制下，有其可調整之速度範圍，依據雷達資料統計，將速度以高、中、低三種速度考量，因此航機到達每一節點時可有三種時間
- 到達交管點之航機均已保持安全隔離標準
- 若航機到達某節點可能與他機產生衝突時，則必須在航管交接點進行盤旋，等待至無衝突發生之可能性後，依序進場降落

4.2 模型情境邏輯說明

以四架航機之情境為例，討論航機在簡化模型進場航路圖(圖 10)中定位點 C 與定位點 D 發生衝突時，應採取之策略規則，規則中之各符號說明如下：

$t_{ij,h}^k$: 航機 k 由節點 i 至節點 j 以高速(high speed)到達所需時間

$t_{ij,n}^k$: 航機 k 由節點 i 至節點 j 以中速(normal speed)到達所需時間

$t_{ij,l}^k$: 航機 k 由節點 i 至節點 j 以低速(low speed)到達所需時間

Δt : 航機間之安全隔離時間

情況一— 若兩航機(1、3)於節點 C 產生衝突時，由以下規則加以管理：

Rule 1 : If $t_{AC,h}^1 + t_{CD,h}^1 < t_{BC,h}^3 + t_{CD,h}^3$

Then Plane 1 fly to node C in $[t_{AC,h}^1, t_{AC,l}^1]$, fly to node D in $[t_{CD,h}^1, t_{CD,l}^1]$

Rule 2 : If $t_{AC,l}^1 + \Delta t < t_{BC,h}^3$

Then Plane 3 fly to node C in $[t_{BC,h}^3, t_{BC,l}^3]$

Rule 3 : If $t_{AC,h}^1 < t_{BC,h}^3 < t_{AC,l}^1 < t_{BC,l}^3$

Then Plane 3 fly to node C in $[t_{AC,h}^1 + \Delta t, t_{BC,l}^3]$

Rule 4 : If $t_{AC,h}^1 < [t_{BC,h}^3, t_{BC,l}^3] < t_{AC,h}^1 + \Delta t$

Then Plane 3 fly to node F in $[t_{BF,h}^3, t_{BF,l}^3]$

若航機 3 依循 Rule 2、3，到達下一節點 D 時之規則如下：

Rule 2.1(3.1) : If $t_{CD,l}^1 + \Delta t < t_{CD,h}^3$

Then Plane 3 to node D in $[t_{CD,h}^3, t_{CD,l}^3]$

Rule 2.2(3.2) : If $t_{CD,h}^1 < t_{CD,h}^3 < t_{CD,l}^1 < t_{CD,l}^3$

Then Plane 3 to node D in $[t_{CD,h}^1 + \Delta t, t_{CD,l}^3]$

Rule 2.3(3.3) : If $t_{CD,h}^1 < [t_{CD,h}^3, t_{CD,l}^3] < t_{CD,h}^1 + \Delta t$

Then Go to Rule 4

Rule 5.3(6.3) : If $t_{CD,h}^3 < [t_{CD,h}^2, t_{CD,1}^2] < t_{CD,h}^3 + \Delta t$

Then Go to Rule 7

若航機 2 依循 Rule 7，到達下一節點時之規則如下：

Rule 7.1 : If $t_{CD,1}^3 + \Delta t < t_{ED,h}^2$

Then Plane 2 to node D in $[t_{ED,h}^2, t_{ED,1}^2]$

Rule 7.2 : If $t_{CD,h}^3 < t_{ED,h}^2 < t_{CD,1}^3 < t_{ED,1}^2$

Then Plane 2 to node D in $[t_{CD,h}^3 + \Delta t, t_{ED,1}^2]$

Rule 7.3 : If $t_{CD,h}^3 < [t_{ED,h}^2, t_{ED,1}^2] < t_{CD,h}^3 + \Delta t$

Then Plane 2 wait on node A until $t_{CD,h}^3 + \Delta t < t_{ED,1}^2$

情況三— 續情況一，若航機 3 與下一到達節點 C 之航機(航機 2)產生衝突，且航機 3 依循 Rule 3 時，航機 2 需遵循以下規則：

Rule 8 : If $t_{BC,1}^3 + \Delta t < t_{AC,h}^2$

Then Plane 2 fly to node C in $[t_{AC,h}^2, t_{AC,1}^2]$

Rule 9 : If $t_{AC,h}^1 + \Delta t < t_{AC,h}^2 < t_{BC,1}^3 < t_{AC,1}^2$

Then Plane 2 fly to node C in $[t_{AC,h}^1 + 2\Delta t, t_{AC,1}^2]$

Rule 10 : If $t_{AC,h}^1 + \Delta t < [t_{AC,h}^2, t_{AC,1}^2] < t_{AC,h}^1 + 2\Delta t$

Then Plane 2 fly to node E in $[t_{AE,h}^2, t_{AE,1}^2]$

若航機 2 依循 Rule 8，到達下一節點 D 時之規則如下：

Rule 8.1 : If $t_{CD,1}^3 + \Delta t < t_{CD,h}^2$

Then Plane 2 to node D in $[t_{CD,h}^2, t_{CD,1}^2]$

情況四— 續情況一，若航機 3 與下一到達節點 C 之航機(航機 2)產生衝突，且航機 3 依循 Rule 4 時，航機 2 需遵循以下規則：

Rule 11 : If $t_{FD,1}^3 + \Delta t < t_{CD,h}^2$
 Then Plane 2 to node C in $[t_{AC,h}^2, t_{AC,1}^2]$

Rule 12 : If $t_{FD,h}^3 < [t_{CD,h}^2, t_{CD,1}^2] < t_{FD,h}^3 + \Delta t$
 Then Plane 2 fly to node E in $[t_{AE,h}^2, t_{AE,1}^2]$

若航機 2 依循 Rule 11，到達下一節點時之規則如下：

Rule 11.1 : If $t_{FD,1}^3 + \Delta t < t_{CD,h}^2$
 Then Plane 2 to node D in $[t_{CD,h}^2, t_{CD,1}^2]$

Rule 11.2 : If $t_{FD,h}^3 < t_{CD,h}^2 < t_{FD,1}^3 < t_{CD,1}^2$
 Then Plane 2 to node D in $[t_{FD,h}^3 + \Delta t, t_{CD,1}^2]$

Rule 11.3 : If $t_{FD,h}^3 < [t_{CD,h}^2, t_{CD,1}^2] < t_{FD,h}^3 + \Delta t$
 Then Plane 2 fly to node E in $[t_{AE,h}^2, t_{AE,1}^2]$,go to Rule 12

Rule 11.4 : If $t_{CD,h}^1 + \Delta t < t_{CD,h}^2 < t_{FD,1}^3 < t_{CD,1}^2$
 Then Plane 2 to node D in $[t_{CD,h}^1 + 2\Delta t, t_{CD,1}^2]$

Rule 11.5 : If $t_{CD,h}^1 + \Delta t < [t_{CD,h}^2, t_{CD,1}^2] < t_{CD,h}^1 + 2\Delta t$
 Then Plane 2 fly to node E in $[t_{AE,h}^2, t_{AE,1}^2]$,go to Rule 12

若航機 2 依循 Rule 12，到達下一節點時之規則如下：

Rule 12.1 : If $t_{FD,1}^3 + \Delta t < t_{ED,h}^2$
 Then Plane 2 to node D in $[t_{ED,h}^2, t_{ED,1}^2]$

Rule 12.2 : If $t_{FD,h}^3 < t_{ED,h}^2 < t_{FD,l}^3 < t_{ED,l}^2$
 Then Plane 2 to node D in $[t_{FD,h}^3 + \Delta t, t_{ED,l}^2]$

Rule 12.3 : If $t_{FD,h}^3 < [t_{ED,h}^2, t_{ED,l}^2] < t_{FD,h}^3 + \Delta t$
 Then Plane 2 wait on node A until $t_{FD,h}^3 + \Delta t < t_{ED,l}^2$

情況五一 續情況二、情況三或情況四，若航機 2 與下一到達節點 C 之航機(航機 4)產生衝突，且航機 2 依循 Rule 5 時，航機 4 需遵循以下規則：

Rule 13 : If $t_{AC,l}^2 + \Delta t < t_{BC,h}^4$
 Then Plane 4 fly to node C in $[t_{BC,h}^4, t_{BC,l}^4]$

Rule 14 : If $t_{AC,h}^2 < t_{BC,h}^4 < t_{AC,l}^2 < t_{BC,l}^4$
 Then Plane 4 fly to node C in $[t_{AC,h}^2 + \Delta t, t_{BC,l}^4]$

Rule 15 : If $t_{AC,h}^2 < [t_{BC,h}^4, t_{BC,l}^4] < t_{AC,h}^2 + \Delta t$
 Then Plane 4 fly to node F in $[t_{BF,h}^4, t_{BF,l}^4]$

若航機 4 依循 Rule 13、14，到達下一節點 D 時之規則如下：

Rule 13.1(14.1) : If $t_{CD,l}^2 + \Delta t < t_{CD,h}^4$
 Then Plane 4 to node D in $[t_{CD,h}^4, t_{CD,l}^4]$

Rule 13.2(14.2) : If $t_{CD,h}^2 < t_{CD,h}^4 < t_{CD,l}^2 < t_{CD,l}^4$
 Then Plane 4 to node D in $[t_{CD,h}^2 + \Delta t, t_{CD,l}^4]$

Rule 13.3(14.3) : If $t_{CD,h}^2 < [t_{CD,h}^4, t_{CD,l}^4] < t_{CD,h}^2 + \Delta t$
 Then Go to Rule 15

Rule 16.3 : If $t_{CD,h}^2 < [t_{CD,h}^4, t_{CD,1}^4] < t_{CD,h}^2 + \Delta t$
 Then Go to Rule 18

若航機 4 依循 Rule 17，到達下一節點 D 時之規則如下：

Rule 17.1 : If $t_{CD,1}^2 + \Delta t < t_{CD,h}^4$
 Then Plane 4 to node D in $[t_{CD,h}^4, t_{CD,1}^4]$

Rule 17.2 : If $t_{CD,h}^1 + 2\Delta t < t_{CD,h}^4 < t_{CD,1}^2 < t_{CD,1}^4$
 Then Plane 4 to node D in $[t_{CD,h}^1 + 3\Delta t, t_{CD,1}^4]$

Rule 17.3 : If $t_{CD,h}^1 + 2\Delta t < [t_{CD,h}^4, t_{CD,1}^4] < t_{CD,h}^1 + 3\Delta t$
 Then Go to rule 18

若航機 4 依循 Rule 18，到達下一節點時之規則如下：

Rule 18.1 : If $t_{CD,1}^2 + \Delta t < t_{FD,h}^4$
 Then Plane 4 to node D in $[t_{FD,h}^4, t_{FD,1}^4]$

Rule 18.2 : If $t_{CD,h}^1 + 2\Delta t < t_{FD,h}^4 < t_{CD,1}^2 < t_{CD,1}^4$
 Then Plane 4 to node D in $[t_{CD,h}^1 + 3\Delta t, t_{FD,1}^4]$

Rule 18.3 : If $t_{CD,h}^1 + 2\Delta t < [t_{FD,h}^4, t_{FD,1}^4] < t_{CD,h}^1 + 3\Delta t$
 Then Plane 4 wait on node B until $t_{CD,h}^1 + 3\Delta t < t_{FD,1}^4$

情況七— 續情況二、情況三或情況四，若航機 2 與下一到達節點 C 之航機(航機 4)產生衝突，且航機 2 依循 Rule 7 時，航機 4 需遵循以下規則：

Rule 19 : If $t_{ED,1}^2 + \Delta t < t_{CD,h}^4$
 Then Plane 4 to node C in $[t_{BC,h}^4, t_{BC,1}^4]$

Rule 20 : If $t_{ED,h}^2 < [t_{CD,h}^4, t_{CD,l}^4] < t_{ED,h}^2 + \Delta t$

Then Plane 4 fly to node F in $[t_{BF,h}^4, t_{BF,l}^4]$

若航機 4 依循 Rule 19，到達下一節點時之規則如下：

Rule 19.1 : If $t_{ED,l}^2 + \Delta t < t_{CD,h}^4$

Then Plane 4 to node D in $[t_{CD,h}^4, t_{CD,l}^4]$

Rule 19.2 : If $t_{ED,h}^2 < t_{CD,h}^4 < t_{ED,l}^2 < t_{CD,l}^4$

Then Plane 4 to node D in $[t_{ED,h}^2 + \Delta t, t_{CD,l}^4]$

Rule 19.3 : If $t_{ED,h}^2 < [t_{CD,h}^4, t_{CD,l}^4] < t_{ED,h}^2 + \Delta t$

Then Plane 4 fly to node F in $[t_{BF,h}^4, t_{BF,l}^4]$, go to Rule 20

Rule 19.4 : If $t_{CD,h}^1 + 2\Delta t < t_{CD,h}^4 < t_{ED,l}^2 < t_{CD,l}^4$

Then Plane 4 to node D in $[t_{CD,h}^1 + 3\Delta t, t_{CD,l}^4]$

Rule 19.5 : If $t_{CD,h}^1 + 2\Delta t < [t_{CD,h}^4, t_{CD,l}^4] < t_{CD,h}^1 + 3\Delta t$

Then Plane 4 fly to node F in $[t_{BF,h}^4, t_{BF,l}^4]$, go to Rule 20

若航機 4 依循 Rule 20，到達下一節點 D 時之規則如下：

Rule 20.1 : If $t_{ED,l}^2 + \Delta t < t_{FD,h}^4$

Then Plane 4 to node D in $[t_{FD,h}^4, t_{FD,l}^4]$

Rule 20.2 : If $t_{ED,h}^2 < t_{FD,h}^4 < t_{ED,l}^2 < t_{FD,l}^4$

Then Plane 4 to node D in $[t_{ED,h}^2 + \Delta t, t_{FD,l}^4]$

Rule 20.3 : If $t_{ED,h}^2 < [t_{FD,h}^4, t_{FD,l}^4] < t_{ED,h}^2 + \Delta t$

Then Plane 4 wait on node B until $t_{ED,h}^2 + \Delta t < t_{FD,1}^4$

4.3 簡化之網路模擬模型

本研究利用 C++ Builder 5 自行撰寫模擬程式，以 4.1 節中圖 10 為範例，配合 4.2 節中所之情境說明，模擬簡化之彈性網路問題。以下經由圖例說明模擬過程之邏輯概念：

4.3.1 網路模擬模型中各欄位意義

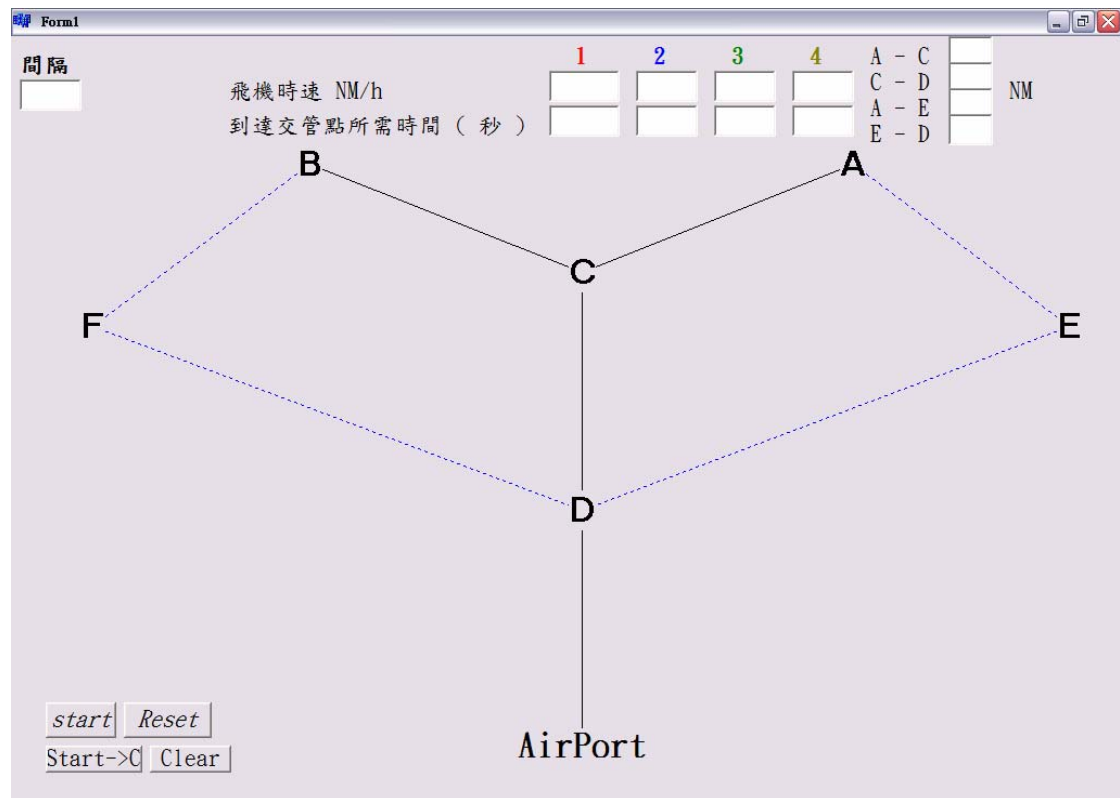


圖 11 簡化彈性航路之模擬模型

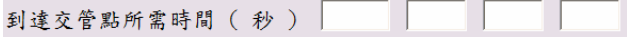
圖 11 中白色欄位為使用者可自行改變之參數值，參數欄位之意義分別為：

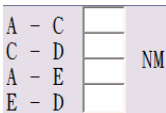
1. **間隔** : 航機間之安全隔離時間。單位為秒。
2.



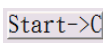

1	2	3	4
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

 飛機時速 NM/h : 四架航機(編號 1、

2、3、4)之飛行速度。單位為節(knots)，即為浬/小時。

3.  : 航機到達交管點(即圖 6 中之 A、B 點)之時間。單位為秒。

4.  各節點間之距離。單位為浬。

5.  : 開始模擬按鈕。以上 1~4 項空白欄位均填入適當數值後，即可按此開始按鈕進行模擬。
6.  : 重新設定或停止按鈕。若模擬完一情境後，欲改變空白欄位中任意數值時，需在改變後按下重新設定按鈕，方可進行下一情境之模擬。
7.  : 無彈性航路之開始模擬按鈕。以上 1~4 項空白欄位均填入適當數值後，即可按此開始按鈕進行無彈性航路方案下之模擬，此一模擬中，航機之航路僅有 A→C→D 或 B→C→D 兩條航路。
8.  : 清除按鈕。將前一次模擬結果清除，才能進行下一次模擬。

以上之參數可由模擬模型中之空白欄位自行設定，其中節線長度為左右對稱，因此模型中僅顯示 A-C、C-D、A-E、E-D 之可改變欄位。

4.3.2 模擬模型範例說明

範例一：

1. 間隔(s)：90
2. 固定航路節點距離(NM)：5； 彈性航路節點距離(NM)：6
3. 四架航機資料：

	航機 1	航機 2	航機 3	航機 4
飛機時速(NM/hr)	250	250	250	250
到達交管點時間(s)	0	200	100	300

以上參數之設定如圖 12 所示，配合 4.1 節基本假設，彈性航路節點距離較固定航路節點距離長，且航機服務先後次序依據先到先服務法則，因此範例一情境結果如圖 13。

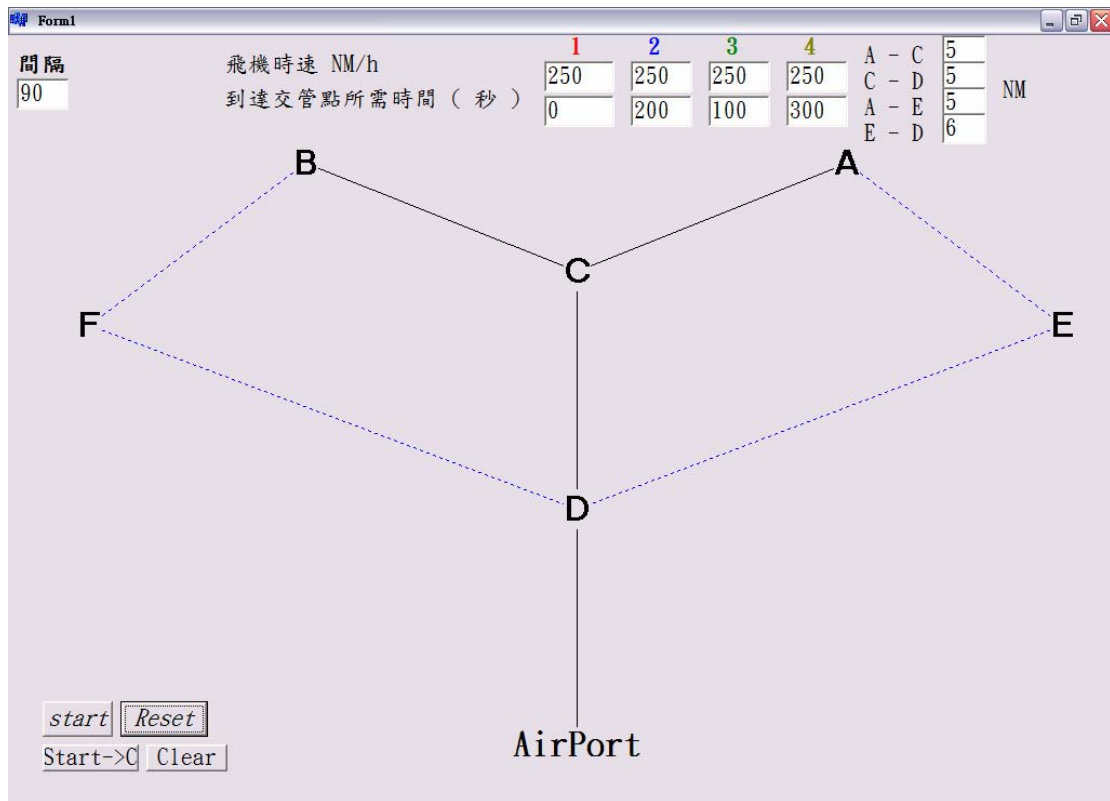


圖 12 範例一之參數設定

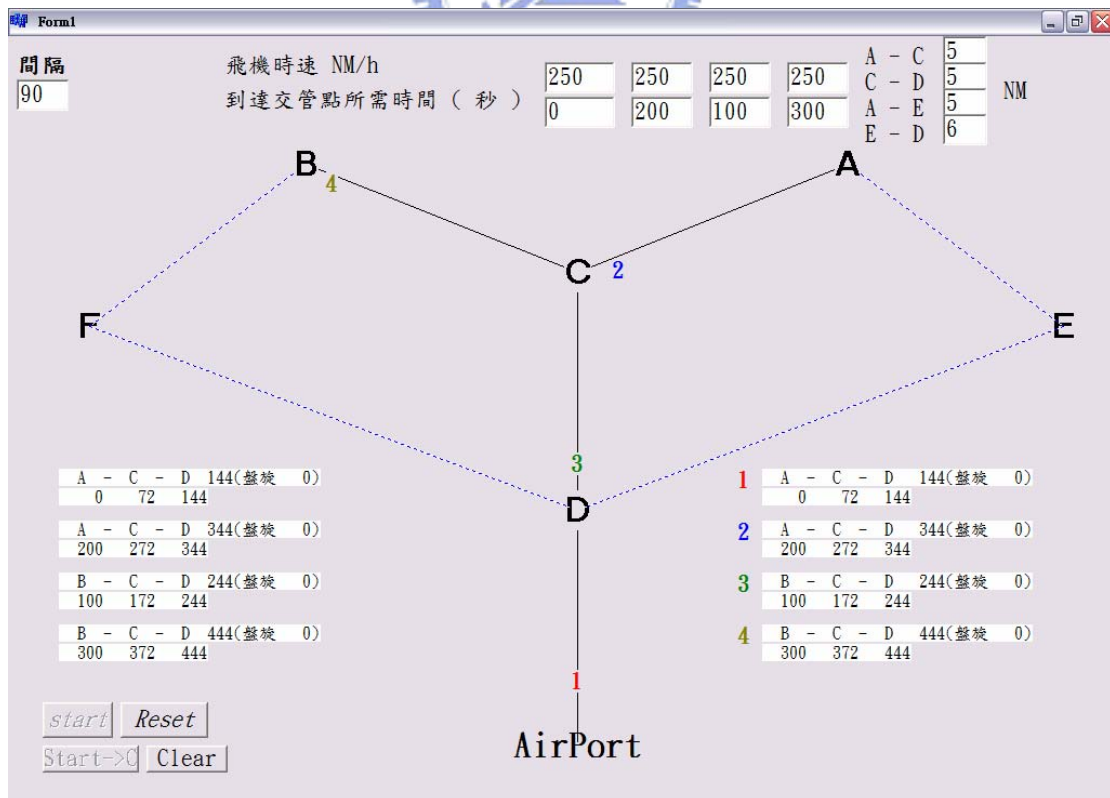


圖 13 範例一結果圖

範例一之情境，安全隔離時間為 90 秒，四架航機到達交管點時間分別為，0、200、100、300 秒，各航機到達可能衝突之交會點 C、D 時，均有 100 秒之時間間隔，合乎規定之 90 秒安全隔離，因此模擬結果如圖 13 左下方與右下方所示，左下方為有彈性航路選擇之結果，而右下方為無彈性航路選擇之結果，四架航機均依固定航路航行，航機 1、2 之飛航路徑為 A→C→D，航機 3、4 之飛航路徑為 B→C→D，而各航機到達 D 點之時間分別為 144 秒、344 秒、244 秒、444 秒，由於無衝突發生之可能，因此盤旋時間均為 0 秒。範例一之情境，由於航機間隔時間夠長，因此在有彈性航路與無彈性航路選擇下，均無差異，航機會選擇較短之固定航路航行。

範例二之有彈性航路：

1. 間隔(s)：90
2. 固定航路節點距離(NM)：5； 彈性航路節點距離(NM)：6
3. 四架航機資料：

	航機 1	航機 2	航機 3	航機 4
飛機時速(NM/hr)	250	250	250	250
到達交管點時間(s)	0	200	80	300

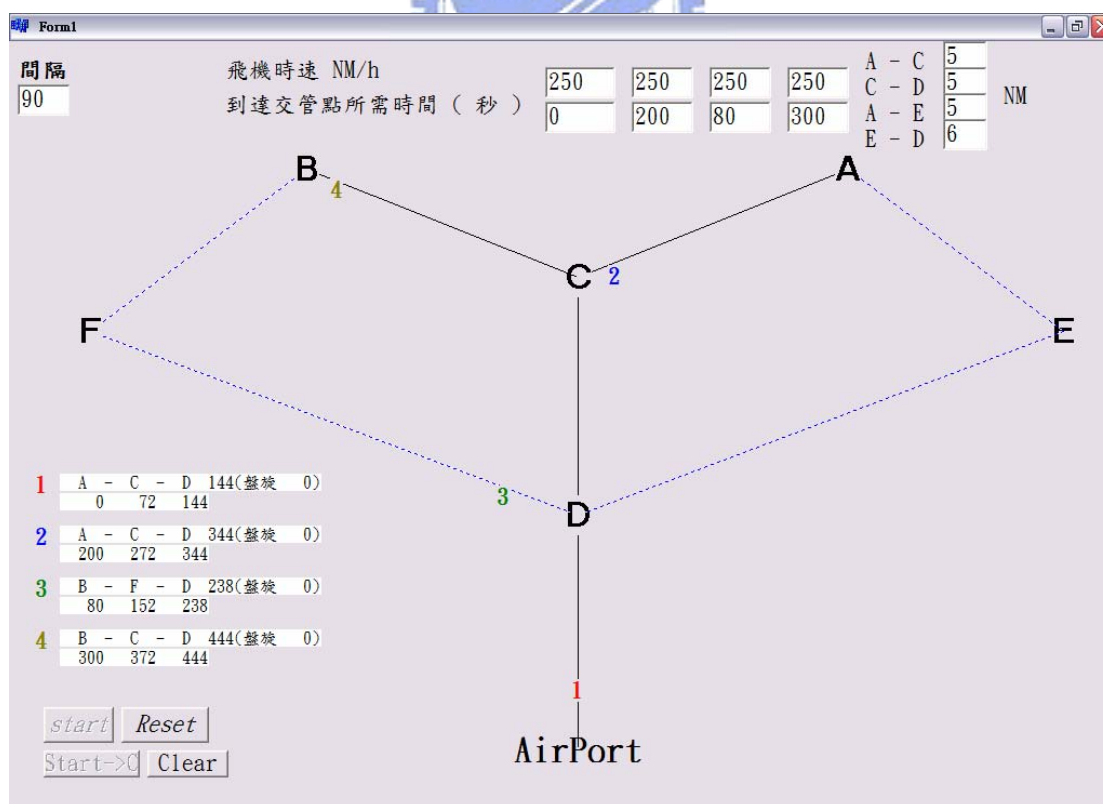


圖 14 範例二有彈性航路結果圖

範例二有彈性航路之情境，安全隔離時間為 90 秒，四架航機到達交管點時間分別為，0、200、80、300 秒，航機 1、2 到達 A 點之間隔時間為 200 秒，而航機 3、4 到達 B 點之間隔時間為 220 秒。依先進先服務法則排序航機順序，結果如圖 14，航機 1、2、4 依固定航路航行，飛航路徑分別為 A→C→D、A→C→D、B→C→D，而航機 3 會依循彈性航路航行，飛航路徑為 B→F→D。航機 1 為第一架到達進場區域的航機(時間為 0 秒)，因此優先服務，依固定航路 A→C→D 進場降落；而航機 3 是第二架到達進場區域的航機(時間為 80 秒)，因此次先服務，但航機 3 在到達 C 點時與航機 1 之安全隔離不足，可能會發生衝突，因此航機 3 則選擇彈性航路航行，航行路徑為 B→F→D；第三架接受服務之航機為航機 2，進場時間為 200 秒，與前機航機 3 之間隔時間超過 90 秒，因此航機 2 可以依固定航路進場降落；航機 4 為最後進場之航機(時間為 300 秒)，航機 4 與前機航機 2 之間隔時間亦超過 90 秒之安全隔離時間，因此航機 4 可依固定航路進場降落。

因此在範例二有彈性航路情境下，四架航機飛行時間整理如表 5：

表 5 範例二有彈性航路之結果

單位：秒	航機 1	航機 2	航機 3	航機 4	總和
離開交管點時間	0	200	80	300	
到達 C 點時間	72	272		372	
到達 E、F 點時間			152		
到達 D 點時間	144	344	238	444	1170
盤旋時間	0	0	0	0	0

範例二之無彈性航路：

1. 間隔(s)：90
2. 固定航路節點距離(NM)：5； 彈性航路節點距離(NM)：6
3. 四架航機資料：

	航機 1	航機 2	航機 3	航機 4
飛機時速(NM/hr)	250	250	250	250
到達交管點時間(s)	0	200	80	300

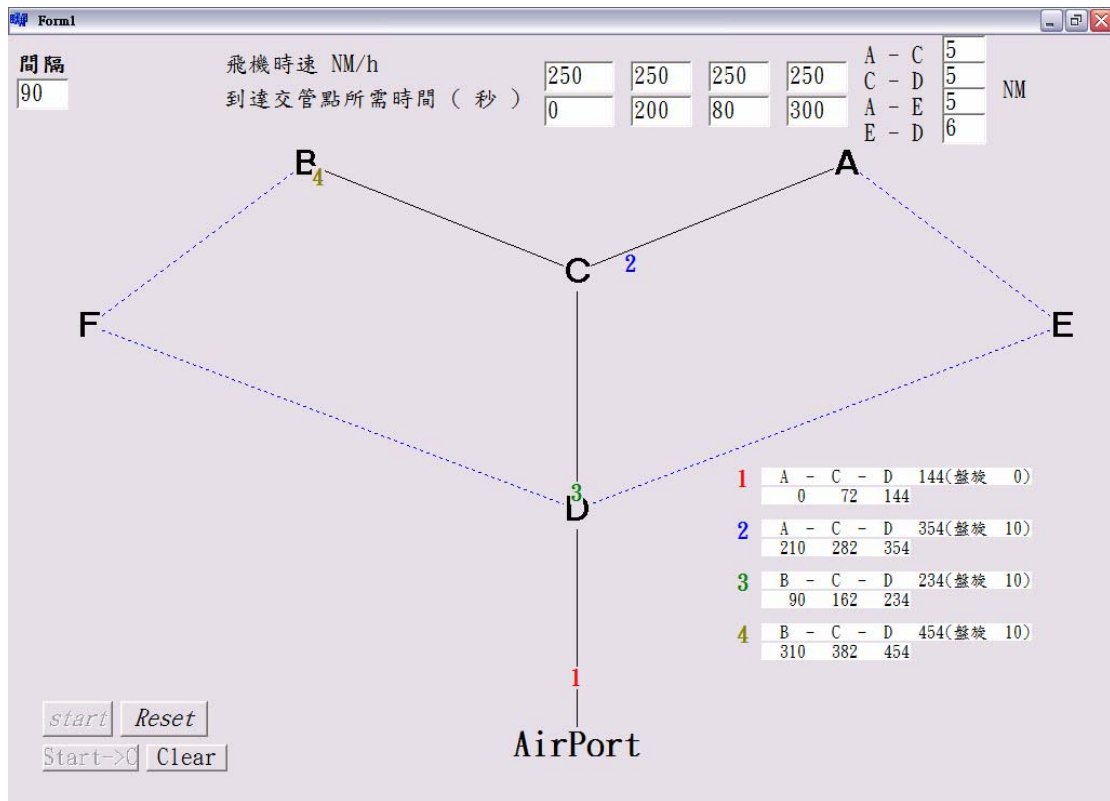


圖 15 範例二無彈性航路結果圖

範例二之情境在無彈性航路可以選擇的情況下，由圖 15 右下方結果所示，各航機僅可依路徑 $A \rightarrow C \rightarrow D$ 與 $B \rightarrow C \rightarrow D$ 航行，因此當航機在各節點上與前一航機未保持設定之間隔 90 秒時，則必須在交管點 A、B 點進行盤旋，等待至與前一航機達到安全隔離時間後，才可進場降落。依據先進機場先服務法則，航機進場順序分別為航機 1，航機 3，航機 2，航機 4。航機 2、3、4 因與前機之間隔無達到安全隔離時間，因此必須於交管點進行盤旋，等待至達到安全隔離後才可依序進場降落。

在範例二無彈性航路情境下，四架航機飛行時間整理如表 6：

表 6 範例二無彈性航路之結果

單位：秒	航機 1	航機 2	航機 3	航機 4	總和
離開交管點時間	0	210	90	310	
到達 C 點時間	72	282	162	382	
到達 D 點時間	144	354	234	454	1186
盤旋時間	0	10	10	10	30

4.4 小結

本章利用自行設計之簡化網路，配合 4.2 節中情境邏輯說明，航機以先到先服務法則，在無其他限制前提下會選擇最短路徑航行，若無法進場時，必須在航管交接點進行盤旋，依循此規則進行模擬，並利用四種情境說明程式的邏輯。

在第四節範例模擬中，將四架模擬航機之速度限制為每小時 250 哩，安全隔離時間為 90 秒，由於航機數與網路設計較缺乏真實性，且節線距離與複雜度亦未如真實航網網路般設計，將在第五章中予以改善。在範例中可發現，節線距離設計會明顯影響效益，並且航機在盤旋時間方面，應設定一基本時間，由於航機盤旋時並非在固定點上靜止待命，而是在指定空層上以繞圈方式進行盤旋等待，因此繞行一圈之時間則為航機盤旋的基本時間，此一盤旋基本時間也將會在第五章中詳細說明。



第五章 彈性航路模擬與分析

第三章中已對彈性航路之規劃與引用方式作一說明，以及各節點節線上之參數設定，因此本章第一部份為資料說明，並篩選實際雷達資料與管制條資料中欲模擬之資料；第二部份為網路模型模擬過程，假設航機以正常速度航行，分別模擬實際到場航機時間表與增加20%運量後之結果；第三部份利用增加20%運量之航機資料模擬不同飛行速度下之模擬結果；第四部份，則是將前兩小節模擬之結果做效益分析，評估彈性航路之效益。

5.1 模擬資料收集與篩選

資料分為兩部份，一為雷達資料，即航機實際飛行過程之相關參數；二為管制條資料，包含航機計畫航路及管制指示等參數。將雷達資料與管制條資料統整並篩選後，作為模擬輸入資料。

5.1.1 雷達資料

中正終端航管自動化系統為參考美國的自動雷達終端系統(ARTS, Automated Radar Terminal System)所設計，主要接引三座雷達系統，分別為中正新雷達系統、中正雷達系統、松山雷達系統。三座雷達系統偵測到航空器後，會將代表航空器位置的方位距離以類比訊號傳送至轉換器，轉換器再將類比訊號轉換為數位資料，再送至航管自動化系統的主處理器進行處理。航管自動化系統的主處理器除了處理雷達系統送來的雷達資料外，另外還銜接航路自動化系統，處理航路自動化系統傳送來的飛航資料，並將雷達資料與飛航資料相結合，將每一架雷達偵測到航空器的呼號、機型、位置、高度、速度、移動方向等資訊送至航管管制席位，並且把資料儲存於硬碟及磁帶組成的資料記錄裝置中，以便日後需要可以將當時的所有紀錄調出或進行重播。

由於雷達乃以 360 度環圈接收訊息，一圈費時約 5 秒，因此資料初步取得時，各筆紀錄皆以時間(ST:TIME)為升冪排列，相鄰兩筆紀錄並非必為同一架航空器，而同一架航空器之相近兩筆紀錄大多間隔約 5 秒。一天 24 小時下來，紀錄總數多可達百萬筆以上，如圖 16。運用航管自動化系統之系統資料紀錄控制軟體 (SDRC, System Data Recording Control)，可輸入指令以擷取硬碟及磁帶之資料，並將資料以要求之格式輸出為純文字檔。本資料格式採用「系統軌跡資料格式 (System Tracking Data Format)」，一列稱為一筆紀錄，各欄說明如表 7 所述。

ST : TIME	ACID-ACDF	RBC	ADF	RSX/SSX	RSY/SSY	XDOT	YDOT	SPD	HDG	LF	APTCA	APTLA	W	EALT	SALT	ACC	ZDOT	AFT	T	ML	
00:00:00.065	-0007	6601	0012	425.19	422.68	+0	+0	0	161	37	4	4	377	+50000	+50000	+0	+0	12M		1	
				425.19	422.68																
00:00:00.323	-0054	4352	0088	442.63	331.81	-100	-369	383	195	37	4	4	327	+20000	+20000	+0	+0	06M		2	
				442.69	331.94																
00:00:01.000	TNA006	-0230	0335	0105	415.30	413.19	-229	+92	247	292	37	3	3	377	+3900	+4022	+0	-16	12M	R	1
				415.16	413.03																
00:00:01.194	-0180	4363	0036	373.74	343.99	-89	-155	179	209	37	4	4	377	+4100	+4182	+0	+0	04M		1	
				373.73	343.97																
00:00:01.323	-0217	2643	0014	352.95	285.83	-69	-458	463	188	37	4	4	377	+40000	+40000	+0	+0	12M		2	
				352.99	285.85																
00:00:01.455	UIA601	-0097	4366	0031	435.27	416.94	+77	+107	132	35	27	3	3	377	+4700	+4850	+0	+18	03M	L	1
				435.38	416.84																
00:00:01.520	TNA561	-0188	4365	0149	420.34	407.01	-302	+42	305	278	27	3	3	377	+18700	+18688	+0	+31	05M		2
				420.36	406.99																
00:00:01.584	-0184	4347	0119	366.15	352.37	-306	-170	350	240	37	4	4	377	+18000	+18000	+0	+0	12M		2	
				366.15	352.34																
00:00:01.584	-0115	1010	0024	333.26	310.80	-85	+109	164	328	37	4	4	377	+5100	+5200	+0	+0	12M		1	
				333.26	310.84																

圖 16 雷達資料純文字檔格式示意圖

資料來源：[32]

表 7 雷達資料欄位一覽表

欄位	說明
ST:TIME	Time of extraction (GMT) 記錄此筆紀錄之時間至秒小數點後三位，格林威治時間。
ACID-SCDF	Aircraft ID – ACDF number 此筆紀錄所屬之航班呼號 (Aircraft ID) 及該航空器之唯一四碼數字代號 (ACDF number) 兩者之組合碼。
RBC	Reported Beacon Code 此筆紀錄之航空器次級雷達迴波器 (Transponder) 所撥定四碼數字代號。
ADF*	Supporting ADF number
RSX	Reported System X-Coordinate (Nautical Mile) 雷達回報此筆紀錄之航空器位置轉換為直角座標後之 X 軸值，單位為浬。
SSX*	Smoothed System X-Coordinate (Nautical Mile)
RSY	Reported System Y-Coordinate (Nautical Mile) 雷達回報此筆紀錄之航空器位置轉換為直角座標後之 Y 軸值，單位為浬。
SSY*	Smoothed System Y-Coordinate (Nautical Mile)
XDOT	System Velocity X-Component (Knot) 系統計算同一航空器之 X 軸向速度，單位為浬/時 (節)。
YDOT	System Velocity Y-Component (Knot) 系統計算同一航空器之 Y 軸向速度，單位為浬/時 (節)。
SPD	System Speed (Knot) 系統計算同一航空器之水平 (X-Y) 速度，單位為浬/時 (節)。
HDG	System Heading (Degree) 系統判斷此筆紀錄之航空器前進方向，360 度制，單位為度。
LF*	Lateral Profile Firmness
APTCA	Conflict Alert Area Type 1~2 表示機場附近，3 表示近場台，4 表示航路
APTLA	Conflict Alert Area Type

	1~2 表示機場附近，3 表示近場台，4 表示航路
W*	Altitude Profile Sliding Window
EALT	Established Altitude (ft) 系統處理此筆之航空器回報高度值取百呎為整數單位後之高度紀錄，單位為呎。
SALT	System Altitude (ft) 此筆紀錄之航空器回報高度值，單位為呎。
ACC	Altitude Acceleration (ft/sec/sec) 系統計算之垂直加速度，亦即爬升/下降率之改變速度。
ZDOT	Altitude Velocity (ft/sec) 此筆紀錄之航空器爬升/下降率，單位為呎/秒。
AFT*	Altitude Profile Firmness
T	Lateral Turn Indicator 系統判斷此筆紀錄之航空器水平彎發生與否，左(L)右(R)轉或空白。
NL*	Number of Links

*：顏色淡化之欄位與本研究無直接相關，不予贅述。

資料來源：[32]

5.1.2 管制條資料

依據飛航管制程序 ATP-88(CHG-7)所述，「將飛航計畫記在管制記錄條上」、「依飛航計畫的種類與實際的情況，將飛航計畫資料記於飛航管制條(簡稱管制條)」、「當駕駛員直接向航管單位申請飛航計畫時，則記錄所有資料於管制條」、「應使用管制條記錄管制及其他航管服務所需之資料」。取得管制條資料，將可得到航班之飛航計畫，及管制過程之紀錄。此紀錄之時間準確性較差，然管制條本身保有航機經由航管員引導之蛛絲馬跡，仍可取得一定程度之有用資訊以供判讀雷達資料。

管制條為一橫向長矩形之紙條，畫有一定欄位，可用於近場、塔台、巡航等不同需求環境，其對應之格式也有所不同。參考 ATP-88 之規範，以下為近場台到場航機之管制條格式，圖 17、表 8 為資料列印格式，圖 18、表 9 為人工手寫格式。

AAAAAAA	B	KKKKK	NN NN	QQQQQQ	TTTT	VVVVVVVVVVVVVVVVVVV		
	CCC	KKKKK		QQQQQQQQ	TTTT	VVVVVVVVVVVVVVVVVVV		
DDDDDDDD		KKK	ooo	QQ	TT	VVVVVVVVVVVVVVVVVVV		
EEEE	fffff	L1111			uuuu	VVVVVVVVVVVVVVVVVVV		
iiii	jj	Mmmmm	PPPPPPPPPPPP			WWWWWWWWWWWWWWWWWW		

圖 17 終端到場管制條(印表欄位)

資料來源：[32]

表 9 終端到場管制條欄位一覽表

欄位及內容		欄位及內容	
1	使用跑道(紅色)(與現行跑道方向不同時註記)	11	許可限制點/ 等待點。(非雷達狀況：最初進場點名稱)
2	保留	12a	到達許可限制點/最初進場點/等待點之時間(非雷達狀況：預計通過最初進場點時間)
3	保留	12b	離開許可限制點/等待點時間(非雷達狀況：實際通過最初進場點時間)
4	保留	13	保留(非雷達狀況：離開最初進場點時間)
5	初次聯絡時間	14	最後進場點名稱/程序轉彎/12 哩圓弧
6	實際到達協調點時間	15	完成程序轉彎/進入 12 哩圓弧時間
6a	RA ↑或 RA↓及時間(如航空器報告航情警告避撞系統之避撞諮詢爬高或下降時)	16	保留
7	保留	17	到達最後進場點/轉換頻率時間
8a	等待記號(例如 H 0910)	18	MA(誤失進場)、LA(低空通過)、TG(連續起降)、 C (取消儀器)或 Z(塔台航線)
8b	進場種類	19	誤失進場/低空通過/連續起降/取消儀器/換塔台航線/雷達交接時間
9	保留	20	保留
10	保留	21	保留
		22	保留
		註	第 10、13 及 16 欄供雷達服務情況使用

資料來源：[32]

5.1.3 資料篩選

本研究運用系統資料紀錄控制軟體 (SDRC) 擷取中正航管自動化系統非連續七日之資料，分別為 2005/5/10、2005/5/18、2005/5/26、2005/6/3、2005/6/11、2005/6/19、2005/6/27 等七日之純文字檔。保留由臺灣桃園國際機場起降之航班，其餘飛經中正終端管制空域之航機紀錄，包含松山、新竹、桃園、龍潭等其他機場航機，另有軍機、雜訊迴波及定位迴波等等非本研究討論範圍將刪除。然其中仍包含非臺灣桃園國際機場起降但需經中正近場塔台管制之航機，如松山等週邊機場起降之航機。為了進一步篩選出於臺灣桃園國際機場起降之正確航班紀錄，必須進一步取得相對應之管制條資料做為比對。

對應中正航管自動化系統取得之雷達資料，收集上述七日之中正近場台管制條資料，如圖 19。運用 Microsoft Excel 檔案，依照前述格式建立欄位，並一一鍵入管制條資料，一列為一架班機之資料，如圖 20。

本研究著重於臺灣桃園國際機場到場航機之相關資料，因此在管制條資料建立完成後，立即進行初步篩選，剔除管制條資料當中離場及非臺灣桃園國際機場起降之航班資料，僅保留七日之臺灣桃園國際機場到場航班資料。如此結合前述之雷達資料，即可統整出七日中到場航機完整資料，進行模擬應用。

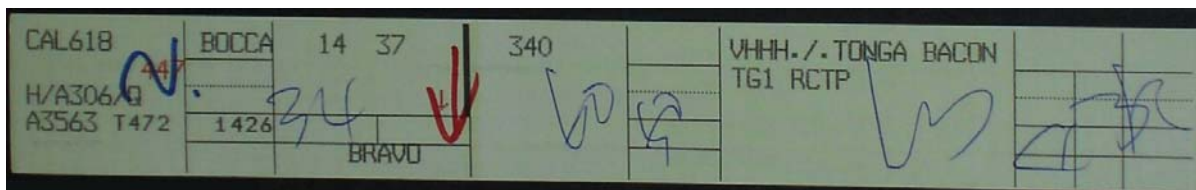


圖 19 管制條範例圖

資料來源：[32]

航空器識別	跑道	修正編號	機型	航空器資料	電碼	真空速	前一定位點名稱	預計通過時間	通過時間	聯絡時間	起飛
CAL688	N		A306	A306HQ	4147	T485	NN	1156	1207		BRAVO
CAL123	N		B738	B738Q	3706	T478	SKU	1137	1151	55	GRAC
CAL678	N		A306	A306HQ	2410	T483	TNN	1153	1204	01	BRAVO
ANZ87	S		B763	B763HQ	3674	M080	SKU	1135	1149	49	GRAC
EVA396	S		A332	A332HQ	5553	T468	TNN	1149	1201	56	BRAVO
CAL616	N		A306	A306HQ	3546	T472	BOCCA	1147	1156	52	BRAVO
CPA402	S		A333	A333HQ	3557	T460	BOCCA	1131	1141	41	BRAVO
CAL351	N		B744	B744HQ	3637	T490	BLN	1115	1134	34	ANNNA
EVA856	S		B744	B744HQ	3541	T491	BOCCA	1125	1134	33	BRAVO
EVA1151	S	1	B767	B767HQ	3641	T472	BLN	1106	1126	26	ANNNA

圖 20 管制條轉換至電子檔之範例格式圖

資料來源：[32]

5.2 模型應用一

經由 5.1 節篩選後之資料，作為模擬之輸入值，選擇 2005/5/10 之 AU1A 到場航機作為模擬對像，桃園國際機場有 05/06 及 23/24 等兩種不同跑道運作方式，而以 05/06 為優先跑道，意即只要風速及風向在規範許可內，機場運作將以 05/06 跑道為主，本研究將討論 05/06 運作下之到場程序設計。其中可分為 B576 航線經由 BAKER 定位點進場之到場航機，以及 A1 航線經由 ANNNA 定位點進場之到場航機。分別將由兩航線進場之航機進行模擬，其中以到達定位點之時間作為主要輸入參數值，而由雷達資料顯示之落地時間作為比較值，模擬航機從進場後至落地期間，與實際航管雷達資料顯示之總飛行時間有無差異，以求彈性航路之效益。圖 21 為網路模擬模型示意圖，其中間隔時間設計為 120 秒，盤旋基本時間為 150 秒，飛機速度設定為速度程序 A，即為正常速度 (Normal Speed)，參考表 4 中定位點之速度限制，而 D 點速度設定為 200 節，降落至機場速度為 130 節，其

中以平均減速率方式逐漸減速降落。由於航機之進場速度不快，因此對於航機間之前後隔離時間，參考航管人員之建議，以兩分鐘為適當設定。實線BAKER-RP3-SEDUM-D-05/06 以及 ANNNA-RP3-SEDUM-D-05/06 為由 BAKER與ANNNA定位點進場之固定航路，即文獻^[32]統計分析後所得之固定航線，而虛線BAKER-SEDUM、BAKER-RP1-SEDUM、BAKER-RP1-RP2-D、ANNNA-RP1-RP2-D為由BAKER與ANNNA定位點進場之彈性航路，即文獻^[32]規劃之彈性航路。其中各航線皆可由排解衝突之策略，如高度隔離以避免航機衝突，然此範圍非本研究欲討論之課題，因此本研究假設各彈性航路彼此間皆無衝突之可能，進行航機流量管理。

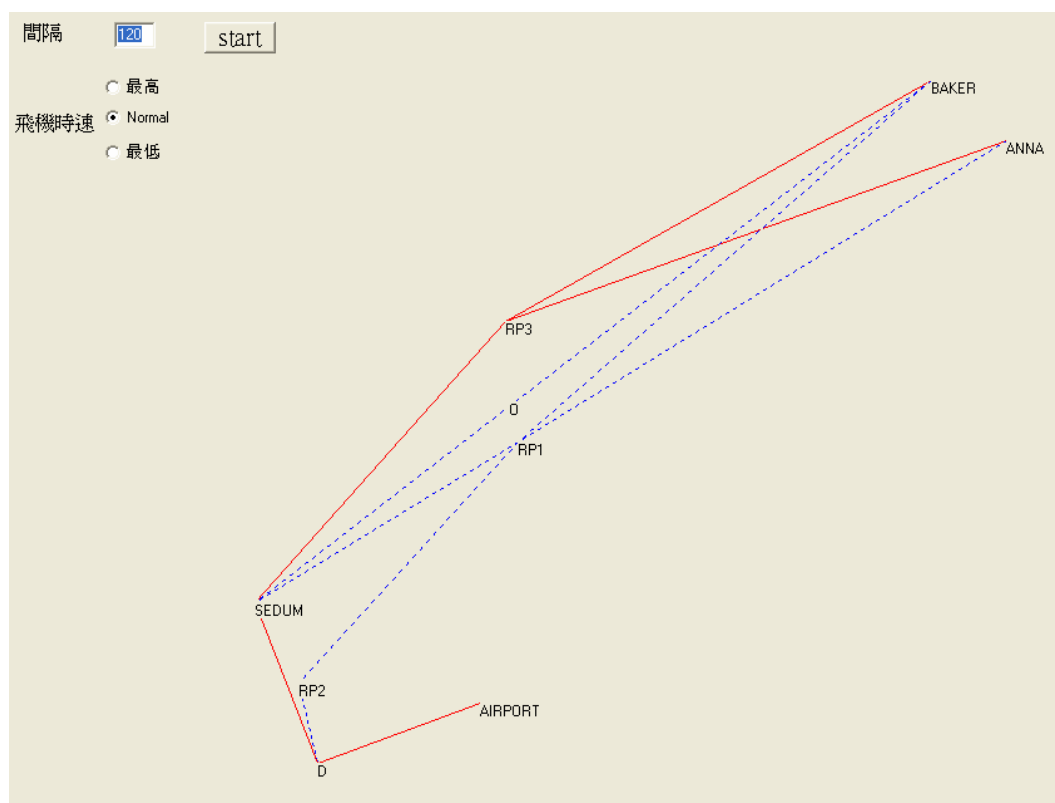


圖 21 網路模擬模型示意圖

其中對於圖 21 中各虛擬定位點構成之節線長度由表 10 說明：

表 10 節線長度表

單位：哩	BAKER	ANNNA	SEDUM	RP2	05/06
RP1	32	36	23	24	
RP3	29	34.5	26		
SEDUM	54				
D			12	6.5	12

因此固定航路與彈性航路之總航線距離可由表 10 求得，加總距離結果如表 11 所示，其中兩行灰色標示之航路(1、5)為固定航路，其餘航路(2、3、4、6、7)為彈性航路。

表 11 航線距離表(單位：哩)

航路編號	定位點	距離	定位點	距離	定位點	距離	定位點	距離	機場	總和
1	BAKER	29	RP3	26	SEDUM	12	D	12	05/06	79
2	BAKER	54			SEDUM	12	D	12	05/06	78
3	BAKER	32	RP1	23	SEDUM	12	D	12	05/06	79
4	BAKER	32	RP1	24	RP2	6.5	D	12	05/06	74.5
5	ANNNA	34.5	RP3	26	SEDUM	12	D	12	05/06	84.5
6	ANNNA	36	RP1	23	SEDUM	12	D	12	05/06	83
7	ANNNA	36	RP1	24	RP2	6.5	D	12	05/06	78.5

5.2.1 模擬一—實際到場航機時間表

經由以上模型參數之確定後，進行實際資料模擬應用，將收集之 2005/5/10 一日資料進行模擬，此日之各航機航班呼號與航機通過交管點時間如表 12 所示：

表 12 模擬一之輸入資料

交管點	航班呼號	通過交管點時間
ANNNA	EVA313711	00:34:17.000
ANNNA	CAL3173665	00:51:55.194
ANNNA	UPS68843774	01:25:47.647
ANNNA	CAL1113241	03:06:00.972
ANNNA	CAL1513616	03:19:46.776
ANNNA	ANK21033670	03:52:05.259
ANNNA	EVA6073775	03:54:13.711
ANNNA	CAL1073615	04:18:47.389
ANNNA	CAL2273253	04:40:38.129
ANNNA	CAL7713206	06:00:29.647
ANNNA	EVA21313650	06:31:54.064
ANNNA	EVA6553252	06:53:29.517
BAKER	AAR7113664	07:10:53.129
ANNNA	CAL3133233	07:14:45.648
ANNNA	CAL0313662	07:32:48.323
ANNNA	EVA6153757	07:51:26.000
ANNNA	MDA8153772	08:13:11.453
ANNNA	EVA21973213	08:40:18.582
ANNNA	CAL0173243	09:38:44.517

ANNNA	CAL7193773	09:47:58.452	ANNNA	CAL3513637	11:34:12.905
ANNNA	UPS69943242	10:43:11.776	ANNNA	EVA66053277	12:14:01.646
BAKER	CAL1633734	10:51:21.194	BAKER	EVA1593646	12:21:41.323
BAKER	FEA3313206	11:06:36.259	ANNNA	EVA6973711	12:29:51.064
BAKER	FEA3073234	11:09:29.065	ANNNA	CAL0053765	12:54:15.194
ANNNA	EVA11073275	11:12:27.388	ANNNA	EVA113705	13:55:29.065
ANNNA	EVA1153260	11:15:10.453	ANNNA	EVA6373673	14:04:43.000
ANNNA	CAL1013753	11:20:31.843	BAKER	UPS69143661	14:31:55.000
ANNNA	CAL2073613	11:23:49.646	ANNNA	EVA21953754	14:33:53.711
ANNNA	EVA11513641	11:26:42.712	ANNNA	CAL0033756	20:53:22.587

表 12 之資料，由 B576 航線經 BAKER 進場之航機僅有 6 架(灰色標記)，由 A1 航線經 ANNNA 進場之航機有 33 架，因此總航機數為 39 架，其中各航機到達定位點時，必定已保持安全隔離距離，由於航機在進入近場管制區域前，已接受區域管制中心之航管介入。因此從表中可以看出，通過 BAKER 或 ANNNA 定位點上每架航機之間隔皆超過 2 分鐘以上。其中資料紀錄之時間為秒小數點後三位，在模擬時將其無條件捨去，以方便程式運算。

模擬時將其航班呼號改編為阿拉伯數字 1~39 號，方便記錄，由模型中先到先服務、以最短路徑為優先選擇、以及保持前後安全隔離、等待時必須在交管點上盤旋等規則，利用模擬方式將由 B576 與 A1 航路進場欲降落臺灣桃園國際機場之航機進行安排，經由模擬方式求得各航機所選擇之路徑。模擬結果如表 13。

表 13 模擬一結果

航班	交管點時間	路徑	盤旋時間	落地時間	13	07:10:53	4	0	07:27:56
1	00:34:17	7	0	00:51:57	14	07:14:45	7	0	07:32:25
2	00:51:55	7	0	01:09:35	15	07:32:48	7	0	07:50:28
3	01:25:47	7	0	01:43:27	16	07:51:26	7	0	08:09:06
4	03:06:00	7	0	03:23:40	17	08:13:11	7	0	08:30:51
5	03:19:46	7	0	03:37:26	18	08:40:18	7	0	08:57:58
6	03:52:05	7	0	04:09:45	19	09:38:44	7	0	09:56:24
7	03:54:13	7	0	04:11:53	20	09:47:58	7	0	10:05:38
8	04:18:47	7	0	04:36:27	21	10:43:11	7	0	11:00:51
9	04:40:38	7	0	04:58:18	22	10:51:21	4	0	11:08:24
10	06:00:29	7	0	06:18:09	23	11:06:36	4	0	11:23:39
11	06:31:54	7	0	06:49:34	24	11:09:29	4	0	11:26:32
12	06:53:29	7	0	07:11:09	25	11:12:27	7	0	11:30:07

26	11:15:10	7	0	11:32:50	33	12:29:51	7	0	12:47:31
27	11:20:31	7	0	11:38:11	34	12:54:15	7	0	13:11:55
28	11:23:49	7	0	11:41:29	35	13:55:29	7	0	14:13:09
29	11:26:42	7	0	11:44:22	36	14:04:43	7	0	14:22:23
30	11:34:12	7	0	11:51:52	37	14:31:55	4	0	14:48:58
31	12:14:01	7	0	12:31:41	38	14:33:53	7	0	14:51:33
32	12:21:41	4	0	12:38:44	39	20:53:22	7	0	21:10:42

模擬結果中，由 BAKER 進場之航機(航班 13、22、23、24、32、37)皆選擇路徑 4，即皆由 BAKER—RP1—RP2—D—05/06 路徑進場降落；由 ANNNA 進場之 33 架航機則皆選擇路徑 7，即 ANNNA—RP1—RP2—D—05/06 路徑進場降落。而 39 架航機均無須盤旋等候，因此盤旋時間為 0 秒。此一資料模擬結果發現各航機皆以最短路徑進場降落，而模擬之落地時間與實際資料落地時間之比較如表 14，一併將飛行時間加入比較表中，則可以明顯看出其差異。

表 14 模擬一結果與原始資料比較

航班	原始資料		模擬結果		時間差(秒)
	落地時間	飛行時間(秒)	落地時間	飛行時間(秒)	
1	00:52:18	1081	00:51:57	1060	-21
2	01:13:03	1268	01:09:35	1060	-208
3	01:46:42	1255	01:43:27	1060	-195
4	03:28:34	1354	03:23:40	1060	-294
5	03:41:06	1280	03:37:26	1060	-220
6	04:11:16	1151	04:09:45	1060	-91
7	04:17:56	1423	04:11:53	1060	-363
8	04:38:27	1180	04:36:27	1060	-120
9	05:02:27	1309	04:58:18	1060	-249
10	06:21:09	1240	06:18:09	1060	-180
11	06:52:44	1250	06:49:34	1060	-190
12	07:13:14	1185	07:11:09	1060	-125
13	07:30:28	1175	07:27:56	1023	-152
14	07:32:52	1087	07:32:25	1060	-27
15	07:51:44	1136	07:50:28	1060	-76
16	08:10:02	1116	08:09:06	1060	-56
17	08:32:12	1141	08:30:51	1060	-81
18	09:01:08	1250	08:57:58	1060	-190

19	09:59:59	1275	09:56:24	1060	-215
20	10:08:39	1241	10:05:38	1060	-181
21	10:59:15	964	11:00:51	1060	96
22	11:08:47	1046	11:08:24	1023	-23
23	11:26:27	1191	11:23:39	1023	-168
24	11:28:16	1127	11:26:32	1023	-104
25	11:31:18	1131	11:30:07	1060	-71
26	11:35:30	1220	11:32:50	1060	-160
27	11:43:44	1393	11:38:11	1060	-333
28	11:47:27	1418	11:41:29	1060	-358
29	11:49:46	1384	11:44:22	1060	-324
30	11:54:47	1235	11:51:52	1060	-175
31	12:33:21	1160	12:31:41	1060	-100
32	12:41:46	1205	12:38:44	1023	-182
33	12:53:53	1442	12:47:31	1060	-382
34	13:13:34	1159	13:11:55	1060	-99
35	14:13:35	1086	14:13:09	1060	-26
36	14:22:19	1056	14:22:23	1060	4
37	14:48:47	1012	14:48:58	1023	11
38	14:52:59	1146	14:51:33	1060	-86
39	21:09:59	1017	21:10:42	1060	43

表 14 中之時間差，為模擬飛行時間減去原始資料飛行時間，因此若時間差呈現正值，即表示模擬飛行時間較原始資料飛行時間長；反之，時間差若為負值，則表示模擬飛行時間較原始資料飛行時間短。因此由時間差可以初步看出彈性航路之效益，而以上 39 筆資料模擬結果，僅有四筆時間差為正值，其餘時間差大多呈現負值，表示模擬之飛行時間較原始資料飛行時間短，最大負值為-363 秒，六分鐘多的時間節省，因此若航機皆以規劃之彈性航路航行，能夠獲得不少時間上的節省，進一步地也能節省油料的耗損。

5.2.2 模擬二—到場航機運量增加 20%

在前一節模擬一中，由於航機間隔時間超過安全隔離時間時，航機皆以最短路徑航行，若假設到場航機運量增加 20%，將從其餘六日 2005/5/18、2005/5/26、2005/6/03、2005/6/11、2005/6/19、2005/6/27 之到場航機資料隨機亂數取出 8 架航班，並依其尖離峰、班距適當增加至原始 2005/5/10 一日資料進行模擬，而航機通過交管點時間如表 15 所示：

表 15 模擬二之輸入資料

交管點	航班呼號	通過交管點時間			
ANNNA	EVA313711	00:34:17.000	ANNNA	CAL1013731	10:49:02.259
ANNNA	CAL3173665	00:51:55.194	BAKER	CAL1633734	10:51:21.194
ANNNA	UPS68843774	01:25:47.647	ANNNA	EVA11813627	10:52:04.389
ANNNA	CAL1113241	03:06:00.972	BAKER	FEA3313206	11:06:36.259
ANNNA	CAL1513616	03:19:46.776	ANNNA	CAL5653744	11:07:36.453
ANNNA	ANK21033670	03:52:05.259	BAKER	FEA3073234	11:09:29.065
ANNNA	EVA6073775	03:54:13.711	ANNNA	EVA11073275	11:12:27.388
ANNNA	CAL1073615	04:18:47.389	ANNNA	EVA1153260	11:15:10.453
ANNNA	CAL2273253	04:40:38.129	ANNNA	CAL1013753	11:20:31.843
ANNNA	CAL7713206	06:00:29.647	ANNNA	CAL2073613	11:23:49.646
ANNNA	EVA21313650	06:31:54.064	ANNNA	EVA11513641	11:26:42.712
ANNNA	EVA6553252	06:53:29.517	ANNNA	CAL11513203	11:29:00.000
ANNNA	MDA8153756	07:09:03.389	BAKER	FEA3073676	11:31:55.648
BAKER	AAR7113664	07:10:53.129	ANNNA	CAL3513637	11:34:12.905
ANNNA	CAL3553266	07:11:43.256	ANNNA	EVA66053277	12:14:01.646
ANNNA	CAL3133233	07:14:45.648	ANNNA	CAL0053732	12:20:51.065
ANNNA	CAL0313662	07:32:48.323	BAKER	EVA1593646	12:21:41.323
ANNNA	EVA6153757	07:51:26.000	ANNNA	EVA6973711	12:29:51.064
ANNNA	MDA8153772	08:13:11.453	ANNNA	CAL0053765	12:54:15.194
ANNNA	EVA21973213	08:40:18.582	ANNNA	EVA113705	13:55:29.065
ANNNA	CAL0173243	09:38:44.517	ANNNA	EVA6373673	14:04:43.000
ANNNA	CAL7193773	09:47:58.452	BAKER	UPS69143661	14:31:55.000
ANNNA	UPS69943242	10:43:11.776	ANNNA	EVA21953754	14:33:53.711
			ANNNA	CAL0033756	20:53:22.587

運量增加 20%後，由 B576 航線經 BAKER 進場之航機有 7 架(灰色標記)，由 A1 航線經 ANNNA 進場之航機有 40 架，因此總航機數為 47 架。為方便程式運算與紀錄，依前例將資料紀錄之時間，秒小數點後三位無條件捨去，並將航班呼號改編為阿拉伯數字 1~47 號。

表 16 模擬二結果

航班	交管點時間	路徑	盤旋時間	落地時間	24	10:49:02	7	0	11:06:42
1	00:34:17	7	0	00:51:57	25	10:51:21	2	0	11:09:31
2	00:51:55	7	0	01:09:35	26	10:52:04	7	150 秒	11:12:14
3	01:25:47	7	0	01:43:27	27	11:06:36	4	0	11:23:39
4	03:06:00	7	0	03:23:40	28	11:07:36	5	0	11:26:55
5	03:19:46	7	0	03:37:26	29	11:09:29	4	150 秒	11:29:02
6	03:52:05	7	0	04:09:45	30	11:12:27	7	150 秒	11:32:37
7	03:54:13	7	0	04:11:53	31	11:15:10	7	150 秒	11:35:20
8	04:18:47	7	0	04:36:27	32	11:20:31	7	0	11:38:11
9	04:40:38	7	0	04:58:18	33	11:23:49	7	0	11:41:29
10	06:00:29	7	0	06:18:09	34	11:26:42	7	0	11:44:22
11	06:31:54	7	0	06:49:34	35	11:29:00	7	0	11:46:40
12	06:53:29	7	0	07:11:09	36	11:31:55	2	0	11:48:58
13	07:09:03	7	0	07:26:43	37	11:34:12	7	0	11:51:52
14	07:10:53	2	0	07:29:03	38	12:14:01	7	0	12:31:41
15	07:11:43	7	150 秒	07:31:53	39	12:20:51	7	0	12:38:31
16	07:14:45	7	150 秒	07:34:55	40	12:21:41	2	150 秒	12:41:14
17	07:32:48	7	0	07:50:28	41	12:29:51	7	0	12:47:31
18	07:51:26	7	0	08:09:06	42	12:54:15	7	0	13:11:55
19	08:13:11	7	0	08:30:51	43	13:55:29	7	0	14:13:09
20	08:40:18	7	0	08:57:58	44	14:04:43	7	0	14:22:23
21	09:38:44	7	0	09:56:24	45	14:31:55	2	0	14:48:58
22	09:47:58	7	0	10:05:38	46	14:33:53	7	0	14:51:33
23	10:43:11	7	0	11:00:51	47	20:53:22	7	0	21:10:42

模擬結果表 16 中，由 BAKER 進場之航機有七架，分別為航班 14、25、27、29、36、40 與航班 45，其中航班 14、航班 25、航班 36、航班 40 與航班 45 選擇路徑 2 進場降落，其路線為 BAKER—SEDUM—D—05/06，而其餘兩架航班，航班 27 與航班 29 選擇路徑 4 進場降落，其路線為 BAKER—RP1—RP2—D—05/06；由 ANNNA 進場之 40 架航機，以選擇路徑 5(ANNNA—RP3—SEDUM—D—05/06)與路徑 7(ANNNA—RP1—RP2—D—05/06)進場降落，由於在選擇路徑時需考慮與 B576 航線進場匯入點衝突之可能，因此在模擬時以模型中訂定之邏輯規則選擇航機應航行路徑。例如航班 13 與航班 14 分別由 ANNNA 與 BAKER 進場，但由於兩機若以最短路徑進場，在未來某時點將會於匯入之定位點 RP1 因安全隔離不足而發生衝突，因此模擬之結果，航班 14 將會選擇彈性航路路徑 2 航行，以避免衝突發生。然

航班 14 的選擇將會影響航班 15 與航班 16，為了保持與前機之安全隔離，但運算過後仍以最短路徑進場較為省時，因此航班 15 與航班 16 則進行空中盤旋等待。

由於模擬二之資料為實際資料加上 20% 隨機亂數抽樣資料，因此無對應資料之落地時間，為了評估彈性航路之效益，將模擬二之抽樣資料於無彈性航路方案下之結果加以比較，即所有航機僅能選擇固定航路之航線，由 BAKER 交管點進場之航機則以 BAKER-RP3-SEDUM-D-05/06 路徑航行，由 ANNNA 交管點進場之航機則以 ANNNA-RP3-SEDUM-D-05/06 路徑航行。模擬結果如表 17 所示：

表 17 模擬二無彈性航路之模擬結果

航班	交管點時間	路徑	盤旋時間	落地時間	24	10:49:02	5	0	11:08:21
1	00:34:17	5	0	00:53:36	25	10:51:21	1	150 秒	11:12:17
2	00:51:55	5	0	01:11:14	26	10:52:04	5	150 秒	11:13:53
3	01:25:47	5	0	01:45:06	27	11:06:36	1	0	11:25:02
4	03:06:00	5	0	03:25:19	28	11:07:36	5	150 秒	11:29:25
5	03:19:46	5	0	03:39:05	29	11:09:29	1	150 秒	11:30:25
6	03:52:05	5	0	04:11:24	30	11:12:27	5	150 秒	11:34:16
7	03:54:13	5	0	04:13:32	31	11:15:10	5	150 秒	11:36:59
8	04:18:47	5	0	04:38:06	32	11:20:31	5	0	11:39:50
9	04:40:38	5	0	04:59:57	33	11:23:49	5	0	11:43:08
10	06:00:29	5	0	06:19:48	34	11:26:42	5	0	11:46:01
11	06:31:54	5	0	06:51:13	35	11:29:00	5	0	11:48:19
12	06:53:29	5	0	07:12:48	36	11:31:55	1	0	11:50:21
13	07:09:03	5	0	07:28:22	37	11:34:12	5	0	11:53:31
14	07:10:53	1	150 秒	07:31:49	38	12:14:01	5	0	12:33:20
15	07:11:43	5	150 秒	07:33:32	39	12:20:51	5	0	12:40:10
16	07:14:45	5	150 秒	07:36:34	40	12:21:41	1	150 秒	12:42:37
17	07:32:48	5	0	07:52:07	41	12:29:51	5	0	12:49:10
18	07:51:26	5	0	08:10:45	42	12:54:15	5	0	13:13:34
19	08:13:11	5	0	08:32:30	43	13:55:29	5	0	14:14:48
20	08:40:18	5	0	08:59:37	44	14:04:43	5	0	14:24:02
21	09:38:44	5	0	09:58:03	45	14:31:55	1	0	14:50:21
22	09:47:58	5	0	10:07:17	46	14:33:53	5	0	14:53:12
23	10:43:11	5	0	11:02:30	47	20:53:22	5	0	21:12:21

在僅有固定航路方案下，由 BAKER 進場之航機僅能選擇路徑 1(BAKER-RP3-SEDUM-D-05/06) 航行，而由 ANNNA 進場之航機則僅能選擇路徑 5(ANNNA-RP3-SEDUM-D-05/06) 航行，模擬之結果更可以明顯看

出，盤旋時間的巨幅增加，這是由於在無彈性航路可以選擇的情況下，若航機在到達匯入之定位點時可能與前機安全隔離不足，則必須在交管點 BAKER 或 ANNNA 進行盤旋，因此形成表 17 的結果。

模擬二有無彈性航路之模擬結果比較如表 18，無彈性航路飛行時間因為盤旋時間的增加而增長，飛行時間總和為 55602 秒，平均每架航機之飛行時間為 1183 秒，而盤旋時間總和為 1500 秒；有彈性航路之飛行時間總和為 50844 秒，平均每架飛機之飛行時間為 1081 秒，盤旋時間總和為 1050 秒。因此在有彈性航路選擇之下，各航機能依其最短路徑或次短路徑航行，不但可以避免衝突發生，亦可減少盤旋時間。

表 18 模擬二有無彈性航路模擬結果比較(單位：秒)

航班	有彈性航路		無彈性航路		24	0	1060	0	1159
	盤旋時間	飛行時間	盤旋時間	飛行時間					
1	0	1060	0	1159	25	0	1090	150	1256
2	0	1060	0	1159	26	150	1210	150	1309
3	0	1060	0	1159	27	0	1023	0	1106
4	0	1060	0	1159	28	0	1159	150	1309
5	0	1060	0	1159	29	150	1173	150	1256
6	0	1060	0	1159	30	150	1210	150	1309
7	0	1060	0	1159	31	150	1210	150	1309
8	0	1060	0	1159	32	0	1060	0	1159
9	0	1060	0	1159	33	0	1060	0	1159
10	0	1060	0	1159	34	0	1060	0	1159
11	0	1060	0	1159	35	0	1060	0	1159
12	0	1060	0	1159	36	0	1023	0	1106
13	0	1060	0	1159	37	0	1060	0	1159
14	0	1090	150	1256	38	0	1060	0	1159
15	150	1210	150	1309	39	0	1060	0	1159
16	150	1210	150	1309	40	150	1173	150	1256
17	0	1060	0	1159	41	0	1060	0	1159
18	0	1060	0	1159	42	0	1060	0	1159
19	0	1060	0	1159	43	0	1060	0	1159
20	0	1060	0	1159	44	0	1060	0	1159
21	0	1060	0	1159	45	0	1023	0	1106
22	0	1060	0	1159	46	0	1060	0	1159
23	0	1060	0	1159	47	0	1060	0	1159

5.3 模型應用二

接續前一節 5.2.2 中運量增加 20%之資料，為了解在不同速度限制下對於航機之影響，因此進行不同飛行速度限制之模擬，第一部份航機速度設定為速度程序 B，即以低速度(Low Speed)飛行，每一架模擬中之航機都必須依速度程序 B 之規定，設定其到達各定位點時之指定速度；第二部份則將航機速度設定為速度程序 C，即以高速度(High Speed)飛行，而同樣地，每一架模擬中之航機都必須依速度程序 C 之規定，設定其到達各定位點時之指定速度；第三部份則以混合速度方式，每架航機可以依不同速度程序航行，但每架航機從進場交管點 BAKER 或 ANNNA 進場時就必須決定其進場至落地期間之速度程序，亦即航機 X 若自 BAKER 進場時選擇速度程序 A，則其在模擬期間內到達各定位點時都必須符合速度程序 A 之速度限制。後一架航機 Y 在到達交管點時亦可以選擇不同速度程序航行，而一旦選擇某一速度程序後，在進場後至落地前都必須依其選擇之速度程序航行，以避免與前後機衝突，且能夠在最短時間內完成進場降落之程序。

5.3.1 速度程序 B 之模擬

參考表 4 速度程序 B(低速度)中各定位點速度限制，而 D 點速度設定為 200 節，降落至機場速度為 130 節，其中以平均減速率方式逐漸減速降落。以運量增加 20%後之到場航機資料作為輸入參數進行模擬。模擬之結果如表 19 所示。

表 19 速度程序 B 之模擬結果

航班	交管點時間	路徑	盤旋時間	落地時間	15	07:11:43	5	0	07:31:36
1	00:34:17	7	0	00:52:33	16	07:14:45	6	0	07:34:15
2	00:51:55	7	0	01:10:11	17	07:32:48	7	0	07:51:04
3	01:25:47	7	0	01:44:03	18	07:51:26	7	0	08:09:42
4	03:06:00	7	0	03:24:16	19	08:13:11	7	0	08:31:27
5	03:19:46	7	0	03:38:02	20	08:40:18	7	0	08:58:34
6	03:52:05	7	0	04:10:21	21	09:38:44	7	0	09:57:00
7	03:54:13	7	0	04:12:29	22	09:47:58	7	0	10:06:14
8	04:18:47	7	0	04:37:03	23	10:43:11	7	0	11:01:27
9	04:40:38	7	0	04:58:54	24	10:49:02	7	0	11:07:18
10	06:00:29	7	0	06:18:45	25	10:51:21	2	0	11:09:56
11	06:31:54	7	0	06:50:10	26	10:52:04	5	0	11:11:57
12	06:53:29	7	0	07:11:45	27	11:06:36	4	0	11:24:06
13	07:09:03	7	0	07:27:19	28	11:07:36	5	0	11:27:29
14	07:10:53	2	0	07:29:28	29	11:09:29	4	150 秒	11:29:29

30	11:12:27	7	150 秒	11:33:13	39	12:20:51	7	0	12:39:07
31	11:15:10	7	150 秒	11:35:56	40	12:21:41	4	150 秒	12:41:41
32	11:20:31	7	0	11:38:47	41	12:29:51	7	0	12:48:07
33	11:23:49	7	0	11:42:05	42	12:54:15	7	0	13:12:31
34	11:26:42	7	0	11:44:58	43	13:55:29	7	0	14:13:45
35	11:29:00	7	0	11:47:16	44	14:04:43	7	0	14:22:59
36	11:31:55	4	0	11:49:25	45	14:31:55	4	0	14:49:25
37	11:34:12	7	0	11:52:28	46	14:33:53	7	0	14:52:09
38	12:14:01	7	0	12:32:17	47	20:53:22	7	0	21:11:01

以速度程序 B(低速度)模擬結果，由 BAKER 進場之航機有七架，分別為航班 14、25、27、29、36、40 與航班 45，其中航班 14、航班 25 選擇路徑 2 進場降落，其路線為 BAKER－SEDUM－D－05/06，而其餘五架航班，航班 27、航班 29、航班 36、航班 40 與航班 45 選擇路徑 4 進場降落，其路線為 BAKER－RP1－RP2－D－05/06；由 ANNNA 進場之 40 架航機，以選擇路徑 5(ANNNA－RP3－SEDUM－D－05/06)、路徑 6(ANNNA－RP1－SEDUM－D－05/06)與路徑 7(ANNNA－RP1－RP2－D－05/06)進場降落。其中盤旋之航機僅有四架，其餘航機在確保安全隔離時間下，皆選擇以不盤旋等待為前提之最短路徑航行，因此盤旋之航機明顯減少。

5.3.2 速度程序 C 之模擬

參考表 4 速度程序 C(高速度)中各定位點速度限制，D 點速度設定為 200 節，降落至機場速度為 130 節，其中以平均減速率方式逐漸減速降落。以運量增加 20% 後之到場航機資料作為輸入參數進行模擬。模擬之結果如表 20 所示。

表 20 速度程序 C 之模擬結果

航班	交管點時間	路徑	盤旋時間	落地時間	9	04:40:38	7	0	04:58:54
1	00:34:17	7	0	00:52:33	10	06:00:29	7	0	06:18:45
2	00:51:55	7	0	01:10:11	11	06:31:54	7	0	06:50:10
3	01:25:47	7	0	01:44:03	12	06:53:29	7	0	07:11:45
4	03:06:00	7	0	03:24:16	13	07:09:03	7	0	07:27:19
5	03:19:46	7	0	03:38:02	14	07:10:53	2	0	07:29:28
6	03:52:05	7	0	04:10:21	15	07:11:43	7	150 秒	07:31:36
7	03:54:13	7	0	04:12:29	16	07:14:45	7	150 秒	07:34:15
8	04:18:47	7	0	04:37:03	17	07:32:48	7	0	07:51:04

18	07:51:26	7	0	08:09:42	33	11:23:49	7	0	11:42:05
19	08:13:11	7	0	08:31:27	34	11:26:42	7	0	11:44:58
20	08:40:18	7	0	08:58:34	35	11:29:00	7	0	11:47:16
21	09:38:44	7	0	09:57:00	36	11:31:55	4	0	11:49:25
22	09:47:58	7	0	10:06:14	37	11:34:12	7	0	11:52:28
23	10:43:11	7	0	11:01:27	38	12:14:01	7	0	12:32:17
24	10:49:02	7	0	11:07:18	39	12:20:51	7	0	12:39:07
25	10:51:21	2	0	11:09:56	40	12:21:41	4	150 秒	12:41:41
26	10:52:04	7	150 秒	11:11:57	41	12:29:51	7	0	12:48:07
27	11:06:36	4	0	11:24:06	42	12:54:15	7	0	13:12:31
28	11:07:36	5	0	11:27:29	43	13:55:29	7	0	14:13:45
29	11:09:29	4	150 秒	11:29:29	44	14:04:43	7	0	14:22:59
30	11:12:27	7	150 秒	11:33:13	45	14:31:55	4	0	14:49:25
31	11:15:10	7	150 秒	11:35:56	46	14:33:53	7	0	14:52:09
32	11:20:31	7	0	11:38:47	47	20:53:22	7	0	21:11:01

以速度程序 C(高速度)模擬結果，由 BAKER 進場之航機有七架，其中航班 14、航班 25 選擇路徑 2 進場降落，其路線為 BAKER—SEDUM—D—05/06，而其餘五架航班選擇路徑 4 進場降落，其路線為 BAKER—RP1—RP2—D—05/06；由 ANNNA 進場之 40 架航機，僅有一架航機，航班 28 選擇路徑 5(ANNNA—RP3—SEDUM—D—05/06)航行，其餘航機路皆選擇路徑 7(ANNNA—RP1—RP2—D—05/06)進場降落。其中需要盤旋之航機有七架，其餘航機在確保安全隔離時間下，選擇以不盤旋等待為前提之最短路徑航行。

5.3.3 混合速度程序之模擬

混合速度之模擬，航機可以在交管點時選擇其適當之飛行速度，而每架航機可選擇不同速度程序之速度限制進場降落，但其在交管點時一旦決定其中一速度程序後，到達各定位點時則必須維持同一速度程序航行，不行改變其所選擇之速度程序。D 點速度仍設定為 200 節，降落至機場速度為 130 節，其中以平均減速率方式逐漸減速降落。以運量增加 20% 後之到場航機資料作為輸入參數進行模擬。模擬之結果如表 21 所示。

表 21 混合速度程序之模擬結果

航班	交管點時間	路徑	盤旋時間	速度程序	落地時間
1	00:34:17	7	0	C	00:52:33
2	00:51:55	7	0	C	01:10:11
3	01:25:47	7	0	C	01:44:03
4	03:06:00	7	0	C	03:24:16
5	03:19:46	7	0	C	03:38:02
6	03:52:05	7	0	C	04:10:21
7	03:54:13	7	0	C	04:12:29
8	04:18:47	7	0	C	04:37:03
9	04:40:38	7	0	C	04:58:54
10	06:00:29	7	0	C	06:18:45
11	06:31:54	7	0	C	06:50:10
12	06:53:29	7	0	C	07:11:45
13	07:09:03	7	0	C	07:27:19
14	07:10:53	2	0	C	07:29:28
15	07:11:43	7	0	A	07:31:36
16	07:14:45	6	0	C	07:34:15
17	07:32:48	7	0	C	07:51:04
18	07:51:26	7	0	C	08:09:42
19	08:13:11	7	0	C	08:31:27
20	08:40:18	7	0	C	08:58:34
21	09:38:44	7	0	C	09:57:00
22	09:47:58	7	0	C	10:06:14
23	10:43:11	7	0	C	11:01:27
24	10:49:02	7	0	C	11:07:18
25	10:51:21	2	0	C	11:09:56
26	10:52:04	7	0	A	11:11:57
27	11:06:36	4	0	C	11:24:06
28	11:07:36	5	0	C	11:27:29
29	11:09:29	4	0	B	11:29:29
30	11:12:27	6	0	C	11:33:13
31	11:15:10	6	0	C	11:35:56
32	11:20:31	7	0	C	11:38:47
33	11:23:49	7	0	C	11:42:05
34	11:26:42	7	0	C	11:44:58
35	11:29:00	7	0	C	11:47:16
36	11:31:55	4	0	C	11:49:25
37	11:34:12	7	0	C	11:52:28
38	12:14:01	7	0	C	12:32:17
39	12:20:51	7	0	C	12:39:07
40	12:21:41	2	0	A	12:41:41
41	12:29:51	7	0	C	12:48:07
42	12:54:15	7	0	C	13:12:31
43	13:55:29	7	0	C	14:13:45
44	14:04:43	7	0	C	14:22:59
45	14:31:55	4	0	C	14:49:25
46	14:33:53	7	0	C	14:52:09
47	20:53:22	7	0	C	21:11:01

混合速度模擬結果，由 BAKER 進場之航機有七架，其中航班 14、航班 25 與航機 40 選擇路徑 2 進場降落，其路線為 BAKER—SEDUM—D—05/06，而其餘四架航班選擇路徑 4 進場降落，其路線為 BAKER—RP1—RP2—D—05/06；由 ANNNA 進場之 40 架航機，以選擇路徑 5(ANNNA—RP3—SEDUM—D—05/06)、路徑 6(ANNNA—RP1—SEDUM—D—05/06)與路徑 7(ANNNA—RP1—RP2—D—05/06)進場降落。所有航機皆不需要盤旋，選擇速度程序 A(正常速度)航行之航機有航班 15、航班 26 與航班 40，選擇速度程序 B(低速度)航行之航機為航班 29，其餘 43 架航機皆選擇速度程序 C(高速度)進場。

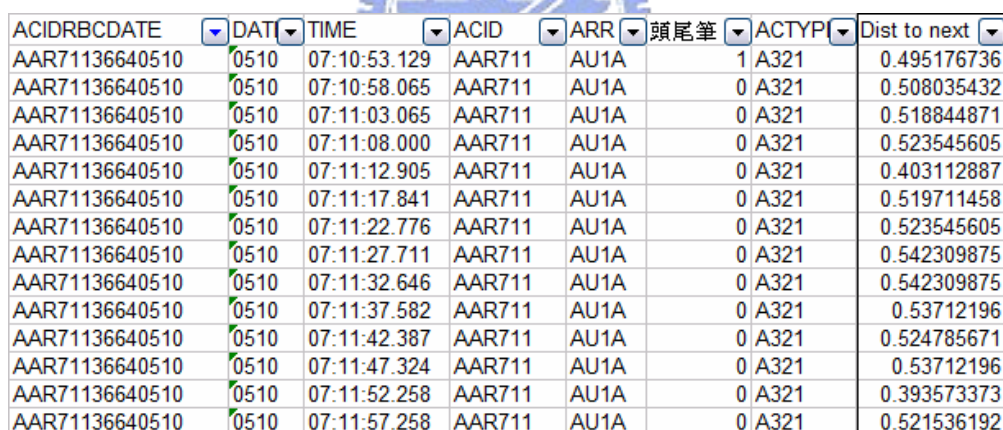
5.4 模擬結果之效益分析

將模擬結果分別以飛行距離與飛行時間作兩面向之效益分析，其中在兩面向效益分析中又分為運量、速度程序兩種不同情境之比較。在運量部分，若模擬之飛行距離較實際之飛行距離短，則視為正向效益，反之亦然；若模擬之飛行時間較實際之飛行時間短，亦視為正向效益，反之亦然。而速度程序方面，依速度程序改變對飛行距離或飛行時間之影響，從中得到適合的速度程序以發揮彈性航路的最大效益。藉由效益分析顯示彈性航路之方案是否可為未來參考之作法，是否可朝此一方向解決日益增加之運量與運輸所造成之社會成本。

5.4.1 效益分析——飛行距離

1. 運量改變對飛行距離之影響

首先針對模型應用一飛行距離作效益分析。實際資料之飛行距離可利用2005/5/10一日航管雷達資料中飛行距離欄位求得，經由每五秒更新一筆之資料，將利用AU1A到場程序進場之每架航班飛行距離加總，即圖22中Dist to next欄位加總，可求得各航機自ANNNA或BAKER定位點進場至落地所飛行之距離。



ACIDRBCDATE	DAT	TIME	ACID	ARR	頭尾筆	ACTYP	Dist to next
AAR71136640510	0510	07:10:53.129	AAR711	AU1A	1	A321	0.495176736
AAR71136640510	0510	07:10:58.065	AAR711	AU1A	0	A321	0.508035432
AAR71136640510	0510	07:11:03.065	AAR711	AU1A	0	A321	0.518844871
AAR71136640510	0510	07:11:08.000	AAR711	AU1A	0	A321	0.523545605
AAR71136640510	0510	07:11:12.905	AAR711	AU1A	0	A321	0.403112887
AAR71136640510	0510	07:11:17.841	AAR711	AU1A	0	A321	0.519711458
AAR71136640510	0510	07:11:22.776	AAR711	AU1A	0	A321	0.523545605
AAR71136640510	0510	07:11:27.711	AAR711	AU1A	0	A321	0.542309875
AAR71136640510	0510	07:11:32.646	AAR711	AU1A	0	A321	0.542309875
AAR71136640510	0510	07:11:37.582	AAR711	AU1A	0	A321	0.53712196
AAR71136640510	0510	07:11:42.387	AAR711	AU1A	0	A321	0.524785671
AAR71136640510	0510	07:11:47.324	AAR711	AU1A	0	A321	0.53712196
AAR71136640510	0510	07:11:52.258	AAR711	AU1A	0	A321	0.393573373
AAR71136640510	0510	07:11:57.258	AAR711	AU1A	0	A321	0.521536192

圖 22 航管雷達資料距離示意圖

模擬之飛行距離則以各航機選擇之路徑計算，各航線距離表見表11，而模擬一與模擬二之路徑選擇由5.2.1與5.2.2模擬結果可得知，因此將實際資料與模擬一、二之結果整理如表22。

表 22 不同運量之飛行距離比較表

單位：哩	實際運量		增加20%運量	
	實際資料	模擬一	模擬二(固定)	模擬二(彈性)
一日總航機飛行距離和	3317.9	3037.5	3933	3697.5
平均每架航機飛行距離	85.1	77.9	83.7	78.7

實際運量部份，模擬之飛行距離較實際資料飛行距離減少了8.5%，其中減少的原因可能為有彈性航路的選擇，航機不再需要以航管人員雷達引導方式而無法以直線或順暢之路線航行。若有明確的路線航行，將可降低航管人員需時時刻刻監視的工作負荷，駕駛員能有效率依指定路徑進場降落。

將運量增加20%後，由於無實際航機飛行資料，因此假設固定航路為實際航機飛行路徑與有彈性航路方案作比較，由表22中可以求得模擬二有彈性航路之飛行距離較無彈性航路短，即模擬二彈性航路之飛行距離減少了5.9%，雖無實際運量分析結果所得之效益大，由於將模擬二固定航路方案假設為實際飛行狀況加以比較，但實際之航機飛行會因為航機密集度與航管介入程度影響，因此若假設路徑1與路徑5兩條航線為固定航路，而航機皆不受其餘如航管介入、駕駛員操作、航機性能等外界因素影響下，並且在模擬中無法得知航機盤旋所會增加的飛行距離，其模擬結果可能為低估的情形，因而在效益分析時降低了彈性航路的效益。

將飛行距離交叉分析，以模擬二彈性航路方案飛行距離與實際資料比較。模擬二資料為增加運量的模擬結果，平均每架航機飛行距離為78.7哩，而實際資料平均每架航機飛行距離85.1哩，模擬二飛行距離較實際資料飛行距離減少了7.5%。在運量增加之下，平均每架航機飛行距離卻能夠降低，證明了彈性航路的效益。



2. 速度程序改變對飛行距離之影響

將模型應用二之模擬結果中路徑選擇與模型應用一增加20%運量之彈性航路模擬結果比較，分析不同速度程序下對航機路徑選擇之影響。表23即為各速度程序之飛行距離比較表。

表 23 各速度程序之飛行距離比較表

速度程序 單位：哩	A (正常速度)	B (低速度)	C (高速度)	Mixed
一日總航機飛行距離和	3697.5	3691	3674.5	3691.5
平均每架航機飛行距離	78.7	78.5	78.2	78.5

速度程序的改變對於飛行距離的影響，從表23中可以看出影響有限，其中以選擇速度程序C(高速度)之飛行距離最短為78.2哩。綜觀來說，各速度程序之飛行距離相差不到1哩，其中可能因為無考量到航機盤旋時所增加的飛行時間，或者在不同速度程序下，雖航機選擇之路徑不同，但就系統整體而言，其四種不同情境下之飛行距離差異不大。

5.4.2 效益分析二—飛行時間

1. 運量改變對飛行時間之影響

5.2 節中，模擬兩種不同運量情境，模擬一為實際航班資料，而模擬二為運量增加 20% 虛擬資料。模擬一之資料，雖可以看出彈性航路在總飛行時間減少得到的效益，但航機選擇路徑之效果不彰，由於航機無衝突發生，因此皆由最短路徑進場，對於航機而言較有效率。模擬二將運量增加後，由於航機間間隔時間較密集，衝突機率也因而增加，航機則會選擇距離不同的彈性航路，以避開衝突，或是利用在交管點盤旋等候，仍選擇最短路徑進場，利用模型規則的設計，航機皆會選擇對其最省時間，也就是總飛行時間最短的路徑航行。5.4.1 中以飛行距離求算彈性航路之效益，若加入飛行時間討論彈性航路所增加之效益，更能突顯其應採用之原因。將模擬一與模擬二之飛行時間模擬結果整理如表 24：

表 24 飛行時間比較表一

單位：秒	實際運量		增加20%運量	
	實際資料	模擬一	模擬二(固定)	模擬二(彈性)
一日總航機盤旋時間	0	0	1500	1050
一日總航機飛行時間和	46789	41118	55602	50844
平均每架航機飛行時間	1199.72	1054.31	1183.02	1081.79

實際運量之比較，模擬結果與實際資料皆無航機盤旋情形；而一日總航機飛行時間和，在模擬一有彈性航路方案下飛行時間和比實際資料減少了 5671 秒，大約縮短了一小時 35 分鐘，而平均每架航機飛行時間也節省了 145 秒，因此實際運量中有彈性航路可以節省 12.1% 的飛行時間。

增加 20% 運量後，由於航機較多，因此模擬結果中有航機盤旋產生，然有彈性航路較固定航路之盤旋時間減少了 450 秒，30%；而一日總航機飛行時間和，有彈性航路較固定航路減少 4758 秒，大約為一小時 20 分鐘，而平均每架航機飛行時間亦節省了 101 秒，因此有彈性航路可以節省 8.5% 的飛行時間。

將飛行時間交叉分析比較，以模擬二彈性航路方案飛行時間與實際資料飛行時間比較。模擬二資料為增加運量的模擬結果，平均每架航機飛行時間為 1081.79 秒，而實際資料平均每架航機飛行時間為 1199.72 秒，模擬二飛行距離較實際資料飛行時間減少了 9.8%。在運量增加，有彈性航路選擇之方案下，平均每架航機飛行時間仍可降低，再次證明了彈性航路的效益。

2. 速度程序改變對飛行時間之影響

將模型應用二之模擬結果與模型應用一增加20%運量之彈性航路模擬結果比較，分析不同速度程序下對航機進場至落地總飛行時間之影響。表25即為各速度程序之飛行時間比較表。

表 25 飛行時間比較表二

速度程序 單位：秒	A (正常速度)	B (低速度)	C (高速度)	Mixed
一日總航機盤旋時間	1050	600	1050	0
一日總航機飛行時間和	50844	52268	43953	43758
平均每架航機飛行時間	1081.79	1112.09	935.17	931.02

由速度程序A(正常速度)模擬之結果，需要盤旋等待之航機數為七架，而平均每架航機從進場至落地之飛行時間為1081.79秒；速度程序B(低速度)模擬結果，需要盤旋等待之航機數較少，為四架，但其平均每架航機飛行時間較長，為1112.09秒；速度程序C(高速度)模擬結果，需要盤旋等待之航機數同正常速度之模擬結果，為七架航機，而其平均每架航機飛行時間較正常速度與低速度都短，為935.17秒；而利用混合速度之模擬結果顯示，航機可利用速度調整或路徑選擇，而不需要盤旋等候，並且模擬之結果平均每架航機飛行時間較前三種速度程序都短，為931.02秒。因此，若採用混合速度策略，航機不但不需要盤旋等候，其飛行時間也能因此降低，是較符合現實狀況且效益較大之流量管理方式。

5.5 彈性航路引用之驗證

為驗證本研究引用之七條彈性航路中，航機航行時與其他航線上之航機無衝突可能，因此進行本節彈性航路引用之驗證。在本研究模型中之假設，航機到達BAKER與ANNNA交管點時可選擇其各別所連結之彈性航路，而航機在到達每一定位點時必須保持安全隔離時間120秒，因此由BAKER交管點進場之航機無與BAKER交管點進場之航機衝突可能；同理，由ANNNA交管點進場之航機亦無與ANNNA交管點進場之航機衝突可能。所以需要檢驗BAKER定位點與ANNNA定位點進場之航機在進場航線中有無衝突之可能性，由路徑選擇之結果配合航機到達各定位點之時間，尋找其中可能產生衝突之航機，進行點到線或點到點之距離計算，證明其是否保持安全隔離距離。以應用二中混合速度程序模擬為例，由於混合速度程序模擬結果總飛行時間最少，航機利用速度程序的改變使得航機間接序較緊密，因此利用此範例作為驗證依據。

混合速度程序模擬結果中，由路徑選擇與到達各定位點時間顯示，其中航機間未能保持安全隔離時間而選擇其他路徑之航機與到達各定位點時間如表26所

示。

表 26 航機到達各定位點之時間

航機	各定位點與航機到達之時間				
13	ANNNA	RP1	RP2	D	AIRPORT
	07:09:03	07:14:31	07:19:01	07:20:29	07:24:16
14	BAKER	0	SEDUM	D	AIRPORT
	07:10:53	07:15:33	07:20:03	07:22:46	07:26:33
15	ANNNA	RP1	RP2	D	AIRPORT
	07:11:43	07:17:58	07:23:18	07:25:02	07:29:23
24	ANNNA	RP1	RP2	D	AIRPORT
	10:49:02	10:54:30	10:59:00	11:00:28	11:04:15
25	BAKER	0	SEDUM	D	AIRPORT
	10:51:21	10:56:01	11:00:31	11:03:14	11:07:01
26	ANNNA	RP1	RP2	D	AIRPORT
	10:52:04	10:58:19	11:03:39	11:05:23	11:09:44
27	BAKER	RP1	RP2	D	AIRPORT
	11:06:36	11:11:35	11:16:05	11:17:33	11:21:20
28	ANNNA	RP3	SEDUM	D	AIRPORT
	11:07:36	11:12:50	11:17:42	11:20:25	11:24:12
29	BAKER	RP1	RP2	D	AIRPORT
	11:09:29	11:15:34	11:20:54	11:22:38	11:26:59
39	ANNNA	RP1	RP2	D	AIRPORT
	12:20:51	12:26:19	12:30:49	12:32:17	12:36:04
40	BAKER	0	SEDUM	D	AIRPORT
	12:21:41	12:26:58	12:32:18	12:35:30	12:39:51

表格中灰色標記所示之時間，即為航機到達各定位點時未與他機到達鄰近定位點時保持安全隔離時間之各時點。航機 13 與航機 14 到達 RP1 與 0，與到達 RP2 與 SEDUM 時兩機時間差未達設定之安全隔離時間 120 秒；航機 24 與航機 25 到達 RP1 與 0，與到達 RP2 與 SEDUM 時兩機時間差未達設定之安全隔離時間 120 秒；航機 39 與航機 40 到達 RP1 與 0，與到達 RP2 與 SEDUM 時兩機時間差未達設定之安全隔離時間 120 秒；而航機 27 與航機 28 到達 RP1 與 RP3，到達 RP2 與 SEDUM 時兩機時間差皆未達設定之安全隔離時間 120 秒。因此為檢驗航機到達各定位點時與鄰近定位點上之他機無衝突之可能，計算各定位點之距離能否符合雷達管制之安全隔離距離 3 至 5 哩，將以上航機可能衝突之定位點分為三組進行討論。

1. RP1 與 0

由於 0 為程式中速度控制所設定之虛擬定位點，無該點之實際明確位置，因此無法經由兩點間距離公式求得 RP1 與 0 之距離，將利用點到直線之距離公式求算 RP1 距離路徑 2 之最短距離。由已知之 RP1 座標位置與 BAKER、SEDUM 座標位置所連結之線段方程式求得，RP1 與路徑 2 之最短距離為 3.1 哩，符合雷達管制中雷達天線範圍 40 哩內之安全隔離距離，因此可得知航機若同時到達 RP1 與 0 時最短能保持 3.1 哩之安全距離，而不會產生衝突。

2. RP2 與 SEDUM

RP2 與 SEDUM 之座標位置由文獻與飛航指南中可得知分別為，(402.30, 416.80)、(399.83, 421.84)，因此兩點之距離可以求得為 5.6 哩，超過雷達管制所設定之安全隔離距離範圍，因此若兩航機同時到達 RP2 與 SEDUM 定位點時，能有安全之隔離距離而避免發生衝突。

3. RP1 與 RP3

由 RP1 與 RP3 之座標位置顯示，兩點之坐標分別為(421.00, 431.90)、(420.63, 437.45)，計算兩點間之距離可得為 5.56 哩，符合雷達管制所設定之安全隔離距離範圍，因此若兩機同時到達 RP1 與 RP3 定位點時，可以保持最短 5.56 哩之距離而避免衝突發生。



第六章 結論與建議

以航機軌跡為基礎設計之彈性航路，建立台北終端管制區範圍內網路模擬模型，經由航機真實軌跡資料模擬彈性航路之應用，初步分析航機飛行距離與飛行時間所獲得之效益，茲就本研究所獲致之結論與建議說明如下。

6.1 結論

1. 彈性航路特性

針對台北終端管制區AU1A到場程序，規劃以使用者偏好軌跡為基礎之彈性航路。以B576航線與A1航線進場之航機，經由定位點BAKER與ANNNA進入終端管制區，分別規劃三條彈性航路，而組合後有七條彈性航路。經由統計實際航機軌跡，規劃符合安全隔離距離之各彈性航路。

彈性航路上之參數設定亦經由航管雷達資料與管制條資料比對，統計出各彈性航路適合的參數設定，限制航機在彈性航路上之速度以及安全隔離時間。

2. 網路模擬模型

在彈性航路基礎之下建構台北終端管制區網路模擬模型，此模型包含七條彈性航路，以及各參數限制，包括速度、隔離時間、盤旋基本時間等參數，以航機到達進場定位點BAKER與ANNNA時間作為輸入變數，以航機落地時間、盤旋時間、路徑選擇作為輸出變數。模擬模型之規則為先進先服務法則、最短路徑選擇、於定位點盤旋等限制進行模擬。

3. 彈性航路效益分析

應用自行建構之網路模擬模型，進行彈性航路之模擬並且評估彈性航路所獲之效益，由航機飛行距離與飛行時間兩構面進行探討。並進一步將減少之距離與時間轉換為油耗成本，比較此油耗之節省所能帶來之成本效益。

(1) 飛行距離

實際運量部份，模擬有彈性航路之飛行距離較實際資料飛行距離減少了8.5%，其中減少的原因可能為利用彈性航路的選擇，航機不再需要以航管人員雷達引導方式而無法以直線或順暢之路線航行。若有明確的路線航行，將可降低航管人員需時時刻刻監視的工作負荷，駕駛員能有效率依指定路徑進場降落。將運量增加20%後，雖模擬結果可能為低估的情形，但模擬二彈性航路仍較固定航路之飛行距離減少了5.9%。

以波音747機型為例，平均每公里16.2公升之油料損耗，若引用彈性航路，模擬一平均一架航機之飛行距離可減少7.2哩，約為13.3公里，因此可以節省約216公升之油耗損失。對於目前航空燃油價格每公升0.5615美元而言，每架航機可以減少121.3美元的油耗成本，而模擬二則可以節省84.2美元，因此可知若引用彈性航路後，每日所有航機加總可節省之油耗成本將非常可觀。

若將飛行距離作交叉分析，以模擬二彈性航路方案飛行距離與實際資料比較。模擬二飛行距離較實際資料飛行距離減少了7.5%。在運量增加之下，平均每架航機飛行距離卻能夠降低，更證明了彈性航路的效益。

在各速度程序模擬方面，速度程序的改變對於飛行距離的影響有限，其中以選擇速度程序C(高速度)之飛行距離最短。綜觀來說，各速度程序之飛行距離相差不到1哩，其中可能因為無考量到航機盤旋時所增加的飛行時間，或者在不同速度程序下，雖航機選擇之路徑不同，但就系統整體而言，其四種不同情境下之飛行距離差異不大。

(2) 飛行時間

實際運量中若有彈性航路的方案選擇，則可以節省12.1%的飛行時間。而增加20%運量後，由於航機較多，因此模擬結果中有航機盤旋產生，然有彈性航路較固定航路之盤旋時間減少了30%；而一日總航機飛行時間和，有彈性航路較固定航路減少約為一小時20分鐘，而平均每架航機飛行時間亦節省了101秒，因此有彈性航路可以節省8.5%的飛行時間。

將飛行時間交叉分析比較，以模擬二彈性航路方案飛行時間與實際資料飛行時間比較。模擬二資料為增加運量的模擬結果，其飛行距離較實際資料飛行時間減少了9.8%。在運量增加下，有彈性航路選擇之方案下，平均每架航機飛行時間仍可降低，再次證明了彈性航路的效益。

各速度程序模擬結果中，對於飛行時間之影響，由速度程序A(正常速度)與速度程序C(高速度)所需盤旋等待之航機數最多；而以速度程序B(低速度)所花費之飛行時間為最長；結果顯示，利用混合速度策略，航機不但不需要盤旋等候，其飛行時間也能因此降低，是較符合現實狀況且效益較大之流量管理方式。

同樣以波音747機型為例，平均每小時油耗約為3200加侖，轉換成每分鐘則有200公升之油料損耗，因此以模擬一為例，若有彈性航路，平均每架航機飛行時間比無彈性航路時減少了145.41秒，所以平均每架航機可以節省484.7公升，對於目前航空燃油價格每公升0.5615美元而言，每架航機可以減少約272.2美元的油耗成本，而模擬二則可以節省

189.5美元。速度程序方面，若將混合速度與正常速度比較，混合速度之平均每架航機飛行時間較正常速度之飛行時間減少了150.77秒，更可節省將近282.2美元，因此可知若引用彈性航路後，配合速度程序的調整，每日所有航機之總油耗成本將能巨幅減少。

6.2 建議

以下分別對網路模擬模型參數設定與本研究尚未探討之內容提出數點建議。

1. 網路模擬模型參數設定

- (1) 本研究將盤旋基本時間設定為 150 秒之定值，建議後續研究可以將盤旋基本時間設定為可變動之區間值，其基本時間可依照航機不同高度、速度作調整，增加模型之彈性。
 - (2) 建議可將航機速度設為一變數，在一定之速度限制範圍內，航機可以依不同情形動態調整其速度避免衝突，若航機與前機之隔離時間大於限制之安全隔離時間時，航機可在速度限制範圍內增加其速度；反之，若航機與前機之隔離時間小於限制之安全隔離時間時，航機可在速度限制範圍內降低其速度，以避免與前機衝突。改善目前僅能在交管點控制速度之缺點，使模型可以更彈性應用。
 - (3) 本研究之模擬模型將航機間安全隔離時間設定為 120 秒之定值，因此無考慮不同機型之間隔差異，建議後續可依機型差異，改變航機間安全隔離時間，使模型能夠彈性運用。
2. 本研究由於模擬資料數不足，因此模擬二利用亂數抽樣增加 20% 運量方式，模擬彈性航路在運量較高時所獲得的效益。若未來可蒐集運量較高之資料，建議可依運量作不同情境之分析，使結果更加完整。
 3. 模型中僅針對 AU1A 到場程序進場之航機進行模擬，而未考慮離場航機及過境航機可能對彈性航路上航行之航機造成影響，因此若能加入離場航機與過境航機於模型中，將能使模擬更趨近現實狀況。
 4. 本研究未能將高度變數納入探討，因此無考慮航機在不同高度空層之變化，建議後續研究可加入高度變數，分析不同空層下之管理方式，可使得模擬模型更有彈性與應用價值。

参考文献

1. Anderatta, G., Brunetta, L. Guastalla, G., “From Ground Holding to Free Flight: An Exact Approach”, *Transportation Science*, Vol. 34, No. 4, 2000, pp. 394-401.
2. Andersson, K., Hall, W., Atkins, S., Feron, E., “Optimization-Based Analysis of Collaborative Airport Arrival Planning”, *Transportation Science*, Vol. 37, No. 4, 2003, pp. 422-433.
3. Andrews, J. W. and Robinson III, J. E., “Radar-Based Analysis of the Efficiency of Runway Use”, AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit 6-9, 2001.
4. Australian Strategic Air Traffic Management Group (ASTRA), Australian ATM Strategic Plan, Vol. 1-3, 2003.
5. Bertsimas, D. and Patterson, S. S., “The Air Traffic Flow Management Problem with Enroute Capacities”, *Transportation Science*, Vol. 46, No. 3, 1998, pp. 406-422.
6. Bertsimas, D. and Patterson, S. S., “The Traffic Flow Management Rerouting Problem in Air Traffic Control: A Dynamic Network Flow Approach”, *Transportation Science*, Vol. 34, No. 3, 2000, pp. 239-255.
7. Carr, G. C., Erzberger, H., Neuman, F., “Airline Arrival Prioritization in Sequencing and Scheduling”, USA/EUROPE Air Traffic Management R&D Seminar, 2nd, 1998.
8. Christodoulou, M. A. and Kodaxakis, S. G., “Automatic Commercial Aircraft-Collision Avoidance in Free Flight: The Three-Dimensional Problem”, *Transactions on Intelligent Transportation Systems*, VOL. 7, No. 2, 2006.
9. Dell’ Olmo, P. and Lulli, G., “A New Hierarchical Architecture for Air Traffic Management: Optimisation of Airway Capacity in a Free Flight Scenario”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 144, 2003, pp. 179-193.
10. Hill, A., “The Flying Object: A Flight Data Management Concept”, *A&E Systems Magazine*, 2004, pp. 11-16.
11. Hu, X. B., Wu, S. F., Jiang, J., “On-Line Free-Flight Path Optimization Based on Improved Genetic Algorithms”, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Vol. 17, 2004, pp. 897-907.
12. Kirk, D. B., Heagy, W. S., Yablonski, M. J., “Problem Resolution Support for Free Flight Operations”, *Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 2, No. 2, 2001.
13. Leal de Matos, P. and Ormerod, R., “The application of operational research to European air traffic flow management – understanding the context”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 123, 2000, pp. 125-144.
14. Ma, Z., Cui, D., Cheng, P., “Dynamic Network Flow Model for Short-Term Air

- Traffic Flow Management”, *Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-part A: Systems and Humans*, VOL. 34, 2004.
15. McNally, D. and Gong, C., “Concept and Laboratory Analysis of Trajectory-Based Automation for Separation Assurance”, AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit 21-24, 2006.
 16. Mohleji, S. C., “A Route-Oriented Planning and Control Concept for Efficient Flight Operations at Busy Airport”, *Control Eng. Practice*, Vol. 4, No. 8, 1996, pp. 1143-1151.
 17. Nogami, J. Nakasuka, S. Tanabe, T., “Real-time decision support for air traffic management, utilizing machine learning”, *Control Engineering Practice*, Vol. 4, 1996, pp. 1129-1141.
 18. Robinson III, J. E. and Isaacson, D. R., “A Concurrent Sequencing and Deconfliction Algorithm for Terminal Area Air Traffic Control”, AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit 14-17, 2000.
 19. Rossi, F. and Smriglio, S., “A Set Packing Model for the Ground Holding Problem in Congested Networks”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 131, 2001, pp. 400-416.
 20. Terrab, M. and Odoni, A.R., “Strategic Flow Management for Air Traffic Control”, *Operations Research*, Vol. 41, No. 1, 1993, pp. 139-153.
 21. Tomlin, C., Pappas, G. J., Sastry, S., “Conflict Resolution for Air Traffic Management: A Study in Multiagent Hybrid Systems”, *Transactions on Automatic Control*, Vol. 43, No. 4, 1998.
 22. Velazco, E. E., “Air Traffic Management: High-Low Traffic Intensity Analysis”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 80, 1995, pp. 45-58.
 23. Zellweger, A., “Simulation in CNS/ATM Research with Examples from the United States”, *Simulation Modelling Practice and Theory*, Vol. 11, 2003, pp. 173-185.
 24. Zhang, Z., Wang, L., Gao, W., “Short-Term Flow Management Based on Dynamic Flow Programming Network”, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 6, 2005, pp. 640-647.
 25. 工業技術研究院，我國新一代航管系統建置策略綱領 2/3，民國九十四年。
 26. 中華民國交通部民用航空局，臺北飛航情報區飛航指南，民國九十三年三月十八日。
 27. 中華民國模擬機師協會首頁(<http://www.sparoc.org/>)。
 28. 交通部民用航空局，CNS/ATM，民航局首頁(<http://www.caa.gov.tw/>)。
 29. 李昫諭，「空邊模擬模式之研究」，國立成功大學交通管理科學系，碩士論文，民國九十年。
 30. 周立偉，「平行獨立跑道機場模擬模式之構建」，國立成功大學交通管理科

- 學系，碩士論文，民國八十九年。
31. 俞瑞華，「飛航管制策略在空域模擬模式上之應用」，國立成功大學交通管理科學系，碩士論文，民國九十二年。
 32. 修天浩，「航機軌跡於到場管制之應用分析」，國立交通大學交通運輸研究所，碩士論文，民國九十六年。
 33. 財團法人資訊工業策進會，整合技術實驗室首頁(<http://www.iii.org.tw/adc/>)。
 34. 張仁達，「台北飛航情報區空域模擬模式之建立」，國立成功大學交通管理科學系，碩士論文，民國九十年。
 35. 董吉利，「台北終端管制區國際線離/到場航空器垂直飛航軌跡之探討」，國立交通大學碩士在職專班運輸物流組，碩士論文，民國九十五年。
 36. 劉仲祥，「即時飛航流量管理系統之建立與管理策略研擬」，國立成功大學交通管理科學系，博士論文，民國九十三年。

