

整合終端空域與機場空側之模擬模式¹

AN INTEGRATED SIMULATION MODEL FOR THE TERMINAL AREA AND AIRPORT AIRSIDE

許書耕 Shu-Keng Hsu²
賴威伸 Wei-Shen Lai³
胡智超 Chih-Chao Hu⁴
陳春益 Chuen-Yih Chen⁵
林東盈 Dung-Ying Lin⁶
楊鈞杰 Jun-Jai Yang⁷
陳佑麟 Ju-Lin Chen⁸
袁永偉 Yune-Wei Yuan⁹
許乃云 Nai-Yun Hsu¹⁰
李宇欣 Yusin Lee¹¹

(107 年 12 月 24 日收稿，108 年 5 月 30 日第 1 次修改，108 年 8 月 13 日第 2 次修改，
108 年 10 月 30 日第 3 次修改，108 年 12 月 7 日第 4 次修改，108 年 12 月 25 日定稿)

-
1. 本研究部分為交通部運輸研究所「MOTC-IOT-107-EDB002 空域模擬模式功能擴充之研究」之成果。
 2. 交通部運輸研究所運輸工程組組長 (E-mail: keng@iot.gov.tw)。
 3. 交通部運輸研究所運輸工程組副組長 (E-mail: lewis@iot.gov.tw)。
 4. 交通部運輸研究所運輸工程組研究員 (E-mail: newgeor@iot.gov.tw)。
 5. 長榮大學航運管理學系教授 (E-mail: cychen@mail.cjcu.edu.tw)。
 6. 成功大學交通管理科學系教授 (E-mail: dylin@mail.ncku.edu.tw)。
 7. 成功大學軌道運輸中心研究員 (E-mail: jamyang838@icloud.com)。
 8. 成功大學軌道運輸中心研究員 (E-mail: john20030220@msn.com)。
 9. 成功大學軌道運輸中心研究員 (E-mail: brian.joys@gmail.com)。
 10. 成功大學軌道運輸中心研究員 (E-mail: naiyun@ckmail.ncku.edu.tw)。
 11. 成功大學土木工程學系教授，本文通訊作者 (聯絡地址：701 臺南市大學路 1 號 成功大學土木工程學系；電話：(06)2757575 轉 63118；E-mail: yusin@mail.ncku.edu.tw)。

摘要

本研究以我國臺北終端管制區域以及桃園國際機場為標的，構建整合終端管制空域與機場空側之模擬模式。其範圍涵蓋了空域及空側，及於航管及航務之領域。該模擬模式以管制員以及停機位指派人員為模擬對象，依循其決策邏輯，建立離散事件模擬模式以呈現航空器於時間、空間中移動之歷程。本研究並依循模擬模式而設計、實作模擬軟體。該軟體除可供使用者設定參數、進行模擬外，並可經自動插補後以動畫方式呈現模擬結果。而模擬軟體架構儘量區隔邏輯與數據，使得軟體能夠以數據表現機場場面布設、各種參數、甚至多個機場，在不修改程式碼之狀況下進行各種不同情境之模擬。經以桃園國際機場現況以及未來擴建後之情境進行模擬，均得到合理之結果。

關鍵詞： 航空；模擬；機場空側；終端管制區域；決策輔助

ABSTRACT

This work developed an integrated simulation model for the terminal area and airport airside, using the Taipei Terminal Area and Taiwan Taoyuan International Airport as the model. The scope covers air space and air side, which includes air traffic control and airport service. The discrete event simulation model targets the controllers and bay dispatchers, using their decision logic to simulate the movement of aircraft in time and space. Following the simulation model, we design and implement a simulation software, which is able to let users set parameters, perform simulation, and animate simulation results after automated interpolation. The structure of the software separates logic and data, enabling it to simulate a wide variety of parameter settings, airport layout, or even multiple airports, all without software modification. Testing with current and future Taiwan Taoyuan International Airport data yields reasonable results.

Key Words: *Aviation; Simulation; Airport air side; Terminal area; Decision Support*

一、緒論

不論在客運或貨運領域，國際航空交通量持續成長均為近年來之全球趨勢，而我國國際航空交通需求量亦隨之大幅成長。以 105 年桃園國際機場為例，當年度起降架次即超過 20 萬架次。如何在受到限制、難以擴充的空域以及機場空側中，增加空域利用之效率以滿足空中交通的需求，是值得深入研究之議題。而我國正在積極推動桃園國際機場之擴建，未來規模更大、更為複雜的新機場，亦需要良好的工具以進行有系統的運轉策略研究與評估。

利用資訊技術進行系統模擬為此類研究與評估的有效、且廣為採用的方法。國際上亦有商用軟體，然而我國掌握自有技術至為重要。本研究即為建立相關技術自主能力的先期探討，先以臺北終端管制區域以及桃園國際機場空側為範圍開發模擬模式，並實作成為軟體。其成果將可作為未來完整模擬系統之關鍵技術。

本模擬模式之範圍一併涵蓋了空域及空側，及於航管及航務之領域。前者包括航空器於空中及地面之活動，而後者則為桃園國際機場對航空器地停階段所提供之停機服務，但不包括加油、加餐、清潔、旅客服務、裝卸貨、靠退橋等勤務。納入模擬之主要地面設施則有跑道、滑行道、與停機位。而所模擬之活動則以航空器之各項操作為主，並不包含人員、勤務車輛等資源之調度。

本論文於緒論之後將先簡要回顧相關文獻，並於第三節說明臺北終端管制區域與桃園國際機場空側之實務狀況；第四節則將就航管與航務中與本主題相關之部分作摘要說明；第五節說明本研究所開發之模擬模式；第六節則說明依循該模式所建置之軟體；第七節則為使用本軟體進行初步模擬之結果；最後第八節為結論與建議。

二、文獻回顧

利用資訊技術以進行系統模擬，為目前常用以分析、了解複雜系統之方法。所謂模擬，指為某目的而模仿某個真實系統或程序之一部分，在一段時間內之運作狀況。不同之模擬各有其目的，因此於建立模擬模式時，常須先釐清模擬之目的，再經由抽象化之過程，識別欲達到該目的時，所應捕捉模擬對象之屬性，據以建立模擬模型。模擬模式並無一定之分類方式，通常可依細緻程度 (level of detail)、方法 (methodology) 與範圍 (coverage) 等來分類。依細緻程度，通常可分為微觀 (microscopic)、中觀 (mesoscopic)、巨觀 (macroscopic) 等，然而三者之間並無明確而公認之劃分標準。

學術文獻中針對模擬模式，或實用空域模擬系統設計方法之探討並不多。其中 SIMAIR (simulation of airline operations)^[1] 之目的，在模擬航空公司之航空器及飛航組員之調度，可在發生擾動時用以評估因應策略。該模式採用離散事件模擬，依據所讀取之班表以及各種操作所費時間之機率分布進行模擬，航空器之維修亦包含在其中。此模擬模式以航空公司之營運資源調度為主軸，與本研究之方向並不相同。此外，美國航空太空總署 (National Aeronautics and Space Administration, NASA) 亦曾致力於開發空域模擬相關技術，所開發的 ACES (airspace concept evaluation system)^[2] 為雛型軟體，用以評估各種航空管理模式之成效。大約在同時，NASA 亦開發 VAST (virtual airspace simulation technologies)^[3] 系統，目的在使用空域模擬技術評估各種空域管制策略。由於管制員及其他人員在航空管理中扮演至為重要之角色，因此該系統亦允許專業人員參與，成為模擬之一部分。此外，NASA 亦探討如何將模擬過程分散到不同的電腦上同時執行，以達到更佳之成效^[4]。

在商用軟體方面，目前在此領域之主要國際模擬系統有 Total Airspace & Airport

Modeller (TAAM) 與 Airport and Airspace Simulation Model (SIMMOD)，二者均較偏微觀之模擬。這些已成熟之商用軟體並不公開其軟體架構、資料結構、模擬模式、演算法等關鍵技術。其中 TAAM 為 Jeppesen 公司與澳洲民用航空局 (Australian Civil Aviation Authority, CAA) 合作開發之軟體產品。其主要功能在進行航空相關之模擬，所涵蓋之範圍包括航空器開車後自停機坪後推，經起飛、抵達下一機場、再進入停機坪之過程^[5]。本系統可用以評估^[6]機場停機坪、滑行道、跑道之容量、規劃機場改善方案、除冰方式、噪音評估、不良天候影響評估、終端管制區域飛航程序設計輔助、管制範圍劃分設計、管制席位工作負荷評估、延滯評估、管制規則設計評估、本益比評估等。而軟體之目的在作為決策、規劃、與分析之輔助工具。此軟體可作為航管策略之規劃工具，亦可用於分析及可行性研究。主要之輸出項目則有：系統延滯、衝突狀況、機場場面的活動、延滯、跑道與滑行道的使用狀況、航空器使用航路、航點等之狀況、噪音、油耗、管制員工作負荷、個別航空器的飛航紀錄、決策形成分析、模擬系統的錯誤訊息。此外亦可輸出圖形畫面，並可開啟多視窗同時觀察不同畫面。各畫面的範圍為 30 公尺至 4 萬公里。

另一重要商用軟體為 SIMMOD，為美國聯邦航空總署 (Federal Aviation Administration, FAA) 所開發之模擬系統。該軟體之發展始於 1970 年代，並於近年持續更新而成為 SIMMOD PLUS！軟體，專供美國與加拿大境外使用，以及 SIMMOD PRO！軟體專供美國與加拿大境內空域及機場模擬之用。SIMMOD 可涵蓋機場的跑道、滑行道、停機坪。空域以及終端管制區域、同一區域多處機場。能力涵蓋完整的空域與空側系統，可用以模擬航空器在機場與機場間飛行之過程，以及在機場之各種操作，可運用於機場規劃以及運轉管理策略之分析。具有相當廣大的使用者群^[6]。本軟體採用事件模擬，以離散之事件呈現航空器在網路中之推進狀況。而所謂「事件」，則定義為在瞬間發生，足以改變某種狀態之現象。例如有一架航空器加入等待起飛之佇列，即為一個事件。模擬過程中發生這個事件時，系統便依據既定之規則計算此一事件所帶來之影響，據以更新系統狀態。執行模擬時亦可經由參數之設定，達到模擬空中超越、變更起飛順序、以及其他航管作為之效果^[7]。在模擬之過程中，SIMMOD 依所設定之空側配置、空域程序、隔離標準等資訊，運算模擬航空器在空中飛行、降落、滑行、進入停機坪、後推、滑行、起飛等全部過程，並可對每一階段進行追蹤與解析。

除了上述國際機構所開發之系統外，我國過去亦曾開發飛航模擬系統^[8-11]，該模擬模式採事件模擬方式進行，系統在模擬的部分建有 7 個模組：航機產生模組、起飛等候模組、跑道管理模組、脫離跑道模組、離到場模組、進場模組與接續班機模組。系統之運作係採事件模擬，為微觀之模擬模式。於執行模擬時，系統維持一「事件排程表」，據以管理過程中所使用之各事件，該系統有能力模擬由航空器之起飛機場停機坪，直至降落機場停機坪間之飛航過程。模式以節點與節線所構成之網路模型為基礎，以節點代表交管點、最後進場點、跑道、停機坪等機場元件。模擬進行時，進場航空器由網路中之「進場點」移動至「跑道出口點」，再由預先設定之時間分佈中取一隨機滑行時間，並依此時間長度移動

至「停機坪節點」。而離場航空器亦以類似之方式，依預先設定之時間分布中取一隨機滑行時間後，依此時間長度由「停機坪節點」將航空器移動至「跑道入口點」，同時使用二條跑道時，則以隨機方式決定航空器所使用之跑道。

在空側部分，前述研究成果之網路模型將所有停機位合併成為單一節點，因此模擬系統並未處理停機位指派之課題，亦因而未考慮各停機位在機場中之地理位置差異，以及與跑道距離差異所衍生之各種課題。同時模型亦無滑行道系統，因此模擬中不考慮滑行或拖機中之航空器相互干擾之課題，亦不考慮排隊等候起飛之航空器阻擋其他航空器滑行路線之課題。而在空域部分，這些成果之模型中到場航空器均由交管點直接抵達最後進場點，其過程中之高度控制、速率控制、雷達引導等管制員重要作為均不在其中，因此該模擬模式並不考慮水平隔離、垂直隔離、對正跑道、爬升率、飛行速率、航空器滑行中橫越跑道等課題。

三、臺北終端管制區域與桃園國際機場空側

航空器於空域與機場空側活動狀況之模擬具有相當之複雜性，以實用為目標開發模擬技術時，必須深入掌握實際狀況。然而航空器之實際活動狀況又具有因地而異之地域性，因此本研究並不直接構建通用於所有空域與空側之廣用模擬模式，而是以我國臺北終端管制區域與桃園國際機場空側，作為開發模擬模式之對象。本節將由建立模擬模式為著眼，簡要說明此二主要區域。

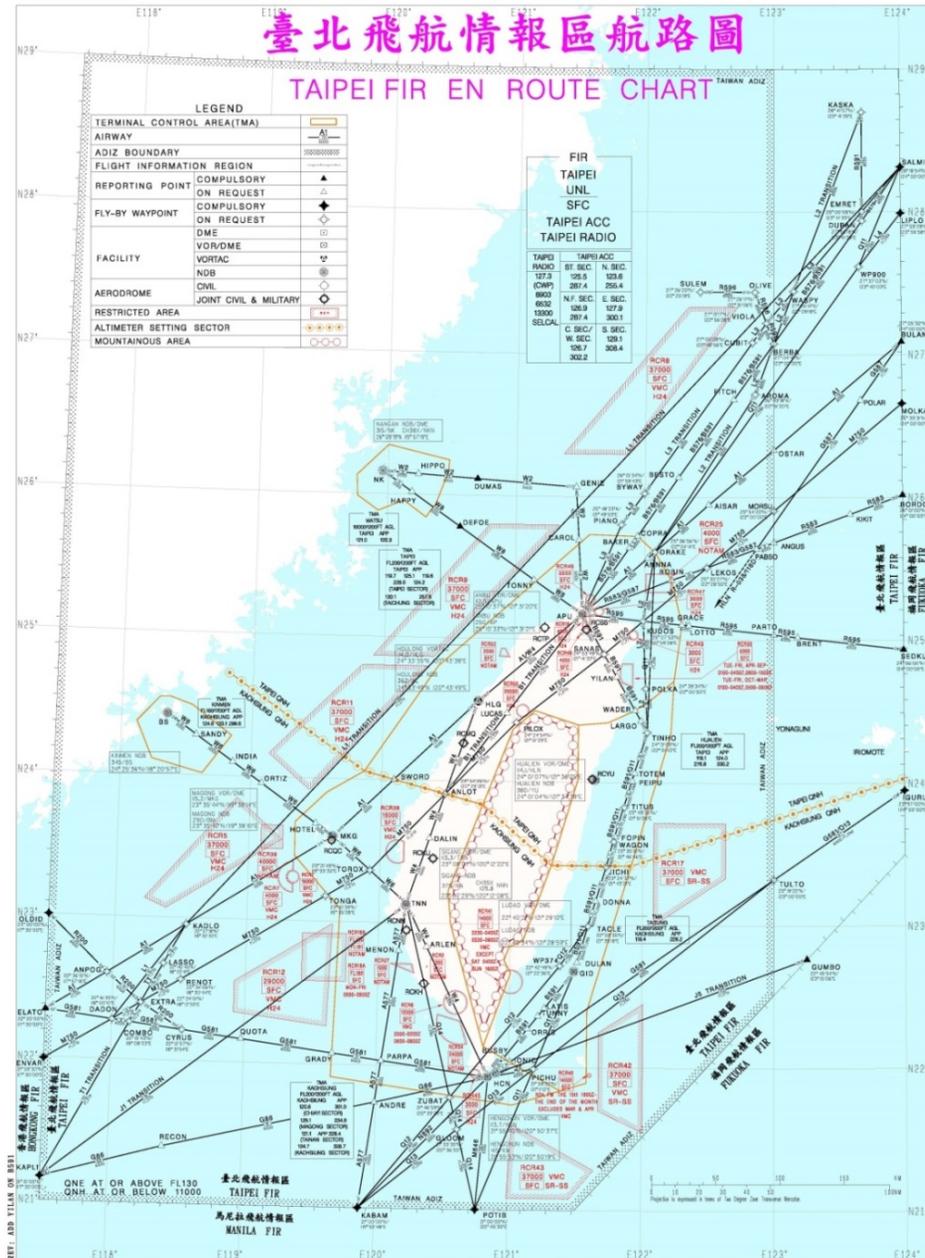
3.1 臺北飛航情報區

飛航情報區 (flight information region, FIR) 係由國際民航組織所劃分，而其中臺北飛航情報區即為我國提供情報服務及守助業務之空域，亦為我國惟一的飛航情報區，如圖 1 所示。臺北飛航情報區內之航路，在國內航路方面有 W2、W4、W6 與 W8，而屬國際航路 (包括 3 條兩岸航路及 4 條區內過境航路) 者則分別為 A1、A577、B576、G86、G581、G587、R595、R583、M646、M750、N892、B591、R200、R596、Q11、Q12、Q13、Q14 等。

3.2 臺北終端管制區域

臺北終端管制區域為本研究之範圍，本終端管制區域東方連接花蓮終端管制區域，南方連接高雄終端管制區域。除上述各終端管制區域外，臺北飛航情報區尚有臺東、馬祖、與金門等終端管制區域。臺北終端管制區域位在臺灣北部之空域^[12]，由臺北近場管制塔臺負責管制作業，其高度上限為飛航空層 FL200 (約略為平均海平面以上 20,000 呎之高度)，下限為自地面以上 1200 呎，本研究範圍之桃園國際機場，即位在臺北終端管制區域內。

此外，區域內尚有松山機場及花蓮機場、清泉崗機場，及新竹機場等 3 處軍機場，除軍機場之機場管制作業，其餘機場及近場管制作業均由臺北近場管制塔臺負責管制作業，早期之桃園軍機場則已停止使用。

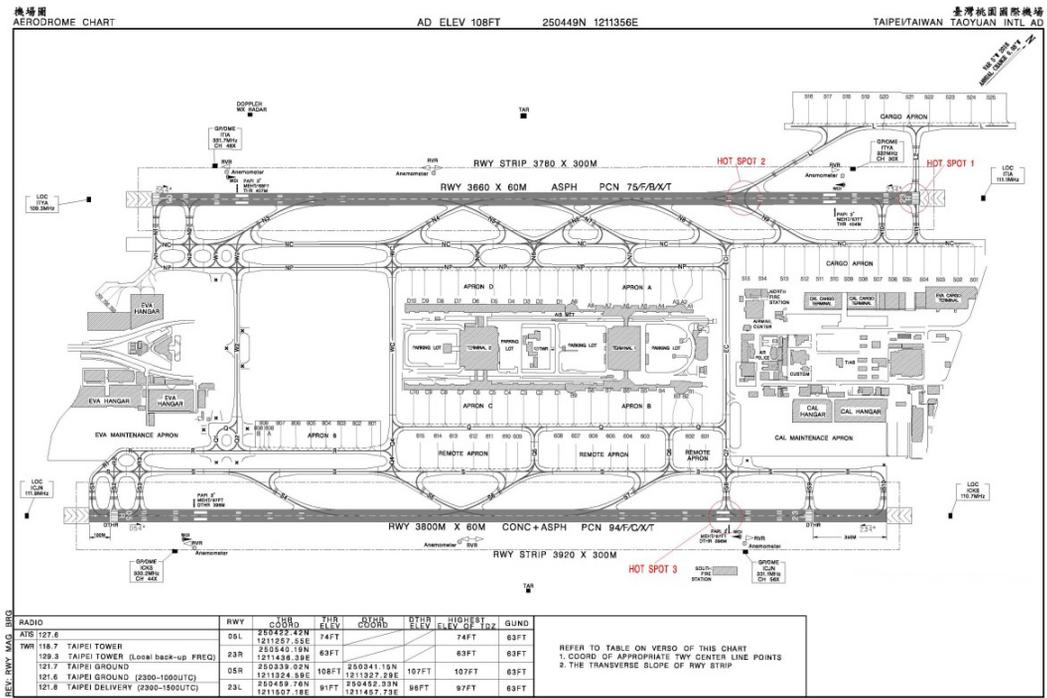


資料來源：[12]。

圖 1 臺北飛航情報區航路圖含臺北終端管制區域

3.3 桃園國際機場空側

桃園國際機場之機場圖示於圖 2，此機場為我國最主要，也是最繁忙之機場，其 IATA 代碼為 TPE，而 ICAO 代碼則為 RCTP。該機場位在臺北市西方約 16.7 浬 (30.9 公里) 之位置，標高為 108 呎 (32.9 公尺)，機場之參考點位置為 250449N、1211356E，機場內擁有 05L/23R、05R/23L 等兩條實體跑道，其中前二者為同一實體設施，長 3,660 公尺、寬 60 公尺；後二者則為另一實體設施，長 3,800 公尺、寬 60 公尺。機場目前設有 53 處停機位，其中 A 至 D 各機坪設有空橋，停機位以及滑行道系統，與跑道共同形成航空器之主要操作區域。



資料來源：[12]。

圖 2 桃園國際機場機場圖

四、航管與航務

本研究所開發之模擬模式，其中之運轉邏輯主要係依循航管與航務之實務規定；航管與航務均具有相當之複雜性，本節將簡要說明其中與本研究相關之部分，而這些規則與規定亦構成本模擬模式之運轉邏輯。

4.1 飛航管制服務簡述

飛航管制服務簡稱航管服務，指為防止航空器間及在操作區內航空器與障礙物間之碰撞，加速並保持有序、暢通之飛航所提供之服務^[13]。而飛航規則^[14]亦有類似之定義：「飛航管制服務：簡稱航管服務，指為防止航空器間、航空器與障礙物間於航空站跑、滑道滑行之碰撞及加速飛航流量並保持有序飛航所提供之服務」。

空中交通之安全、有序、暢通所提供之各種管制服務，目前國際上通用之飛航管制服務架構係分為 3 層，依其空層高度，由高至低為區域管制服務 (area control service)、近場管制服務 (approach control service)，以及機場管制服務 (aerodrome control service) 3 類，其中近場管制服務與機場管制服務與本模擬模式直接相關。

所謂區域管制服務，指對管制區域內之管制飛航提供之飛航管制服務^[14]，由區域管制中心 (area control centre, ACC 或 upper area control centre, UAC) 所提供，其管制範圍為臺北飛航情報區空層 FL201 以上之航路，以及航路附加空域 (航路左右各 10 浬範圍)。而航路附加空域範圍之外，除少數區域外，大部分空域基本上由軍方管制，航空器進入臺北飛航情報區即由區域管制中心提供管制服務。此外亦有部分國內線航路，實務上授權近場管制臺進行管制。

飛航管制所提供之近場管制服務，則是指對離場或到場之管制飛航提供之飛航管制服務^[14]，由近場管制臺 (approach control unit, APP) 所提供，其管制範圍原則上為空層 FL200 以下至距地面 1,200 呎 (約 366 公尺) 之間。惟實務上此一劃分之高度並非一成不變，為了配合航空器順利降落所需，近場管制臺與區域管制中心會就部分空域，訂定異於 FL200 之使用協議及交接管高度。一般而言，到場航空器於抵達交管點時，其管制權由區域管制中心移交 (handoff) 至近場管制臺。

至於機場管制服務，則為對機場交通提供之飛航管制服務^[14]，由機場管制塔臺 (airport traffic control tower) 所提供。一般而言，到場航空器於最後進場定位點 (final approach fix, FAF)，進入最後進場程序 (final approach) 時，其管制權由近場管制塔臺移交至塔臺。而離場之航空器則於目視消失，或起飛後距跑道 0.5 浬時，其管制權由塔臺移交至近場管制塔臺。

維持航空器之間適當之隔離，為飛航管制服務最重要的任務之一。航空器間之隔離可分為垂直隔離與水平隔離兩項，分別略述如下：

1. 垂直隔離

儀器飛航航空器垂直隔離之最低標準，在飛航空層 410 以下採 1,000 呎隔離，飛航空層 410 以上採 2,000 呎隔離。但飛航空層 290 以上，非 RVSM (reduced vertical separation minima) 核准之航空器與其他航空品間採 2,000 呎垂直隔離。另於飛航空層 600 以上，於軍用航空器之間採 5,000 呎垂直隔離^[13]。

2. 水平隔離

在航空器位置非來自雷達資料時，應以時間為準 (time separation) 時，同高度應有 10 分鐘之隔離；以距離為準時則同高度應有 20 浬之隔離。但當航空器位置資料來自雷達時，可採雷達隔離^[13]，其標準為 5 浬之水平隔離。但雷達天線 40 浬內，由航管單位提報，並經民航局核准後得個案應用^[13]採 3 浬之隔離。

4.2 近場管制服務

所謂近場管制服務，為近場管制單位對終端管制區域內航空器之離場爬昇、到場下降時之提供進場隔離與管制之服務。我國設有臺北近場管制塔臺以及高雄近場管制塔臺，其中前者為本研究之範圍。

民航局於空域設有航點 (waypoint)，以精準導引航空器之飛行。航點為預劃之地理位置，供界定航線、航空器到場、航空器進場或位置報告使用，與桃園國際機場相關之航點計有 64 個^[12]。以航點為定位基準，臺北終端管制區域設有各種到場、進場、與離場儀器飛航程序。所謂「儀器飛航程序」，指一系列預設且有順序性之飛航程序與航線，以供航空器自起飛機場飛航至目的地機場^[15]。基本上儀器飛航程序依飛行階段區分，可分為標準儀器離場、航路、標準儀器到場與儀器進場程序 4 類，分別對應飛行過程之起飛、航路、到場與進場落地 4 個主要的階段。其中除航路用於航空器巡航階段外，其餘 3 類均與機場之離場與到場密切相關。

4.3 機場管制服務

機場管制服務，主要係由塔臺所提供，在機場附近空域以及機場操作區 (airport maneuvering area) 內，除停機坪外，所有航空器之各種操作均受到塔臺之管制，這些操作包括了降落、滑行、開車、後推、起飛、拖機等均屬之。除此之外，機場活動區內非航空器之活動，例如勤務車輛之移動等，亦受塔臺之管制。塔臺除了維持在空機之適當隔離外，並管制航空器在跑道與滑行道之滑行與拖機等操作。而航機在滑行道滑行之路線，係由塔臺所指派，管制員在指派滑行路線時，通常依循以下原則為之：(1) 安全原則，確保滑行道航空器之間無路徑衝突，能保持適當之隔離；(2) 目的原則，所指派之路徑可供航空器由其所在位置移動至目的地；以及 (3) 效率原則，滑行之時間最節省。

4.4 停機位指派

停機位為機場之必備設施，航空器地停過程中之各項操作，以及地面停留，均於停機位進行。而停機位之指派工作，係指依各航空器之需求，分配航空器可使用之停機位以及可使用之時段。桃園國際機場之停機位指派係由桃園國際機場公司航務處負責，這項工作又可區分為指派次日停機位，以及指派當日停機位兩大項，分別說明如下：

1. 指派次日停機位

次日停機位之指派，其目的是為次日有使用停機位需求之航空器適當指派可用停機位。航空公司或其代理須於每日下午 14 時之前完成次日需求之登錄，之後由專業人員於 20 時之前完成停機位預排，預排結果傳送到各航空公司複核並提出變更申請，再由工作人員進行調整，於 23:59 之前必須全部定案發布。

指派次日停機位之分配方式需要考慮很多複雜因素，主要為：每一停機位均有可容納之最大機型限制、部分停機位動線受限，航空器進入時必須關機拖入、大型航空器不可併排停放於相鄰停機位、無接飛航班（下客後拖離或由過夜機坪拖入）之特殊處理、最大型之 A380 需占用 2 個相鄰停機位及 2 個機門 2 小時、前後航空器間之寬裕時間、每晚約 130 架長時間停留（或過夜）機之安排、航空器所需地停時間長度（60 至 90 分鐘視機型大小而定）、主要航空公司使用機坪之偏好、同一航空公司所使用之停機位儘量相近、接飛旅客之移動距離等。空橋之有無，亦影響停機位之使用偏好，在桃園國際機場所擁有之 53 處停機位中，僅有 38 處設有空橋，其餘 15 處遠距停機位（編號 601 至 615）則無空橋。實務指派停機位時，設有空橋之停機位其偏好程度優於無空橋之停機位。

2. 指派當日停機位

指派當日停機位之工作主要是為配合航空器之提早與延後，或本場、鄰場之流量管制。依經驗，航空器實際使用之停機位與前一日指派之停機位不同之機率相當高，有時甚至可能達到半數。

指派當日停機位時所需遵守之限制與指派次日停機位時相同，但考慮因素不同，主要之考慮因素為：儘量減少變動、需變動時原停機位與新停機位之所在位置儘量接近、儘量提早決定停機位變動以利航空公司配合等。

五、模擬模式

5.1 模擬之整合

本研究之目的在開發完整、整合而有彈性之空域模擬模式，以涵蓋臺北終端管制區域以及桃園國際機場之航空器運轉過程。由第三節與第四節之說明可以發現，航空器在此範圍內活動時，主要相關單元為空域、跑道、滑行道與停機位；因此這些亦為本模擬模式所須納入之主要單元。在模擬模式中，需要各以適當之數位模型描述各單元所擁有之空間或設施，以及航空器在各單元中活動時所應有之行為。其中前者已說明於第三節，後者已說明於第四節，在此不再贅述。

模擬模式除需能個別表現各單元之屬性外，亦需要將所有單元充份整合於同一架構中。然而各單元之性質各不相同，模擬所須之演算法亦各不相同，因此需要適當整合，才

能在模擬進行的過程中，在各單元之間達到理想的協調性。模擬之整合，可分模擬模式與模擬軟體兩個層面探討之，前者為進行模擬之抽象邏輯，著重於配合模擬之目的，適當捕捉真實系統之相關屬性，並將運轉原則設計成為演算法；而後者則為實作模擬模式之軟體。雖然本論文側重於模擬模式之探討，但二者實密切相關，因此後續亦將對模擬軟體作適當描述。以下將對此二者簡要介紹其整合性之設計構想，再於後續小節詳細說明功能設計。

在模擬模式方面，本模式以網路模型貫穿所有單元，用以描述航空器在模擬範圍內之移動，在此一網路模型架構下，再依管制人員之職責劃分方式，分別設計航空器在空域、跑滑道與停機位各單元之不同模擬演算法。

在模擬軟體方面，則設計視覺呈現模擬結果之功能以達到整合之目的，雖然模擬軟體是否有視覺化呈現之能力，與模擬進行之能力並無直接之必然關聯，但軟體之視覺化呈現功能，可使研究人員以及未來之軟體使用者能夠觀察模擬之全貌，以方便而易理解之方式解讀模擬所產生之大量數據，對模擬模式之開發、各模擬單元間之整合性，以及未來之驗證與調校至為重要。國際軟體 TAAM 亦具有視覺化呈現之能力。

5.2 管制員之模擬

現代航空器雖然已具備高度之自動化能力，但在空中之飛行，或在地面之滑行、滾行、拖機移動等作業，均完全在航空器或拖車駕駛員掌控下為之。然而航空器或拖車駕駛員，在執行所有航空器有關時間空間之移動作業時，亦均在管制員引導下進行；航空器所使用之停機位，亦為指派人員所決定，而非由航空器之操作人員自主決定。因此，由模擬模式立場觀之，管制員與停機位指派人員實為系統之實際主導者，而駕駛員則為管制員與停機位指派人員意志之執行者。至於非屬管制員與停機位指派人員管制範圍之操作，例如上撤輪擋、加油、靠退橋等，則均不在本模擬模式範圍內。

管制員及停機位指派人員於執行任務時，均須在各種規章之規範下，依其專業能力作出決策。例如：法規並未強制規定到場航空器必須以何種順序降落，而是由近場管制臺之管制員在法規所容許之範圍內，考量航情而決定之。又如法規亦未強制規定航空器滑行時應採行何種路線，而是由機場管制臺之管制員在法規所容許之範圍內，依當時航情決定之。停機位指派人員執行任務亦有類似之狀況，因此管制員與停機位指派人員之決策，對整個系統之運作具有重要之影響力。

基於以上考量，本模擬模式之設計主軸，以管制員之決策思考為實際模擬之對象，並在模擬系統中，以航空器之移動作為表現管制員與停機位指派人員意志之方法，此種設計具有較易貼近實況之優點。真實管制員於執行管制航空器之任務時，除了必須遵守法規之規定外，最主要考量為安全與效率，以提供高品質服務，亦即在安全之前提下，以最快速之方式引導航空器達到其該階段之目的地。在此原則下，本模擬模式中，模擬之管制員設計有 4 項最主要之任務，以下將分別說明任務之內容；至於模式計算時所使用之演算法，則將於後續各節再分別說明之。

1. 到場航空器航路及降落順序之決定

本模擬模式以臺北終端管制區域為空域範圍；真實系統中，到場航空器於飛航情報區脫離航路後，經交管點而進入終端管制區域，再由近場管制臺之管制員接手，引導航空器依其規劃之方式降落。在模擬模式中，航空器則依預設之時間，出現在預設之交管點。此時模擬系統即以所設計之演算法，決定良好之航路、指派跑道，以及降落順序。

2. 離到場航空器地面滑行路線之決定

真實系統中，降落之航空器於完成進場、脫離跑道之後，塔臺管制員考量航情決定滑行路徑，並引導前往其停機位，而起飛之航空器於後推之後，亦依塔臺管制員所決定之路徑引導前往跑道頭執行起飛。在這過程中，航空器駕駛員與塔臺管制員相互配合；航空器降落後由駕駛員決定脫離跑道之出口，而管制員則依其決策思考，決定滑行路線。其原因在於駕駛員掌握航空器之速率等狀態，而管制員則掌握機場空側整體航情。於本模擬模式中，二者之角色亦作類似之分開設計。

3. 離場航空器起飛順序之決定

在桃園國際機場，航空器之起飛順序受到許多因素之影響，其中對最終之真正起飛順序最具影響力之二大因素為：許可後推時間以及滑行路線。因此本模擬模式亦將依此原則，當模擬系統中航空器地停程序準備就緒 (aircraft ready) 時，即如前述決定其滑行路線，再依航空器抵達跑道頭之順序起飛。

4. 安全隔離

維持航空器與航空器、航空器與人車、航空器與地障間之隔離為管制員與駕駛員之共同重要任務；對此，模擬模式亦納入考慮。

5.3 停機位之指派

停機位之分配作業，為本模式所模擬之各種角色中，最可掌握未來資訊者。於真實系統中，於前一日預排次日停機位分配時，機場公司航務處即可同時全面掌握各航空公司所有提出之需求，據以擬定次日之停機位分配方式。工作人員在思考、決定停機位分配方式時，除了須遵守各種規定之外，尚須考慮所有航空器預定進入及離開停機位之時間，以及調整其中少數航空器之停機位時所可能引發之連鎖效應。

配合此種真實狀況，本模擬模式使用混合整數規劃模式，在模擬系統開始時間推進之前，即先行求解停機位之分配。模式說明如下：

集合與常數

AC 所有航空器之集合

- A_i 航空器 i 預定開始占用停機位之時間
 D_i 航空器 i 預定結束占用停機位之時間
 T_i 航空器 i 需占用停機位之最小時間
 W_{ik} 航空器 i 指派使用停機位 k 之偏好權重，值愈小愈偏好
 α_i 航空器 i 可開始占用停機位之時間延遲量懲罰權重
 P 所有停機位之集合
 H_{km}^{ij} (i,j,k,m) 所成之集合，其中 i 與 j 為不可同時分別停靠於 k 、 m 停機位之航空器，而 k 與 m 可能相同，亦可能不同
 M 很大的正值常數
- 連續決策變數
- a_i 航空器 i 開始占用停機位之時間
 d_i 航空器 i 結束占用停機位之時間
 y_i 航空器 i 可開始占用停機位之時間延遲量
- 雙元決策變數
- p_{ik} 等於 1 表示航空器 i 指派使用停機位 k ，等於 0 表示航空器 i 不指派使用停機位 k
 x_{ij} 當航空器 i 結束占用停機位之時間晚於航空器 j 開始占用停機位之時間時，本變數之值為 1
- 模式說明如下。

$$\text{Minimize } \sum_{i \in AC, k \in P} W_{ik} p_{ik} + \sum_{i \in AC} \alpha_i y_i \quad (1)$$

$$a_i = A_i + y_i \quad \forall i \in AC \quad (2)$$

$$d_i \geq a_i + T_i \quad \forall i \in AC \quad (3)$$

$$d_i - a_j \leq M x_{ij} \quad \forall i, j \in AC \quad (4)$$

$$x_{ij} + x_{ji} + p_{ik} + p_{jm} \leq 3 \quad \forall (i, j, k, m) \in H_{km}^{ij} \quad (5)$$

$$p_{ik} = 0 \quad \forall i \text{ not allowed to use } k \quad (6)$$

$$\sum_{k \in P} p_{ik} = 1 \quad \forall i \in AC \quad (7)$$

$$a_i \geq 0 \quad \forall i \in AC \quad (8)$$

$$d_i \geq 0 \quad \forall i \in AC \quad (9)$$

$$y_i \geq 0 \quad \forall i \in AC \quad (10)$$

$$p_{ik} \in \{0,1\} \quad \forall i \in AC \quad \forall k \in P \quad (11)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in AC \quad (12)$$

在本模式中，式 (1) 為目標函數，追求延滯時間與停機位偏好權重總和最小；式 (2) 建立各航空器實際開始占用停機位時間、預定開始占用時間與延滯時間三者之關係；式 (3) 確保各航空器能分配到足夠的占用停機位時間；式 (4) 之目的在建立二航空器之時間先後關係。當航空器 i 結束占用停機位之時間晚於航空器 j 開始占用停機位之時間時，此限制式使得變數 x_{ij} 之值必須為 1。需要注意的是，航空器 i 結束占用停機位之時間不晚於航空器 j 開始占用停機位之時間時，本限制式並不控制變數 x_{ij} 之值；式 (5) 之作用在對於 H_{km}^{ij} 所列舉之組合，當航空器 i 與航空器 j 之占用時間有重疊時，禁止將航空器 i 安排於停機位 k ，同時又將航空器 j 安排於停機位 m 。式 (6) 則為某些航空器禁止停放於某些停機位之禁制條件；式 (7) 要求每一航空器均被分配到恰好一個停機位；最後之式 (8) 至式 (10) 為非整數決策變數之非負限制式，而式 (11) 與式 (12) 則為雙元整數決策變數之雙元限制式。

由於隨機因素之影響，不論是真實機場或是模擬系統，均會發生航空器因為抵達到後推時間與預估時間不同，而無法依前一日之分配方式使用停機位之狀況。上述模式除了可應用於次日停機位之指派外，於模擬進行過程亦可用以指派當日停機位，方法是將當時已發生之事件設定為常數，再重新求解該模式。

5.4 網路模型

本模擬模式使用兩組網路模型，分別呈現航空器在空中以及地面之所有可能動線。網路為節點與節線之集合，於各種數學及模擬均有廣泛應用。以下將分空域與地面，分別說明本模擬模式之網路模型。

1. 空域網路模型

本模式以節點與節線呈現終端管制區域中所有到場與離場航路，而模擬模式中之網路，將同時涵蓋標準儀器飛航航路以及雷達引導之航路。這些網路均為四維空間網路，亦即各節點帶有經度、緯度、高度與速率之屬性。

航空器在飛行過程中不可能停等，因此於跑道擁擠時，管制員必須以適當方式調整到場航空器抵達跑道之時間，使之順利降落，同時又維持跑道運用之良好效率。為此，真實管制員以儀降程序為基準，考量航情採用雷達引導與速度控制之方法引導航空器之飛行路線，以控制航空器抵達跑道之時間，若有必要，亦可令航空器進行空中等候。採用雷達引導時，所引導之飛行路線即非完全依循儀降程序之路線，而是有可能繞行略遠之距離，亦有可能截短其飛行距離。本模擬模式亦仿管制員之思考，於產生到場航路所對應之空域網路時，將雷達引導之各種可能性納入網路中。至於進場航路則將僅採儀器飛航航路。網路中之節點則將涵括航點以及執行模擬時所需之其他節點，所產生之空域網路，其結構示意於圖 3。本圖顯示了標準程序以及兩個可能的雷達引導等不同飛行路線，各構建成為一個

子網路。3 個子網路有共同的交管點節點作為起始節點，以及共同的跑道節點作為終點節點。

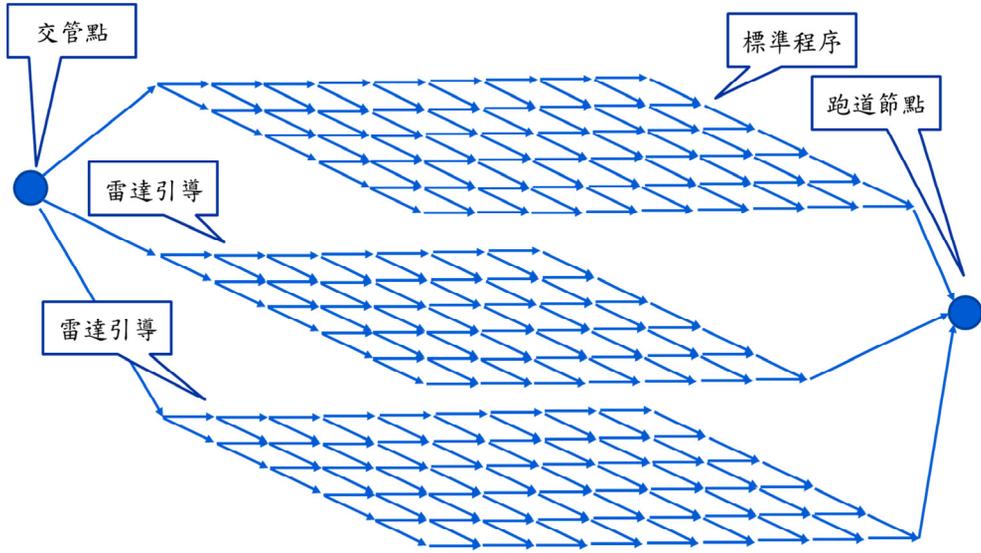


圖 3 空域網路結構示意圖

產生空域網路之後，即可檢視網路中所有節線，以判斷該節線是否與其他在空機發生隔離不足等衝突狀況。在刪除所有發生衝突之節線後，網路中所有由交管點節點至跑道節點之路徑，即均為安全之飛行路徑。圖 4 所示為圖 3 之其中一個子網路，在以上述方式刪除其中部分節線之後的示意圖。

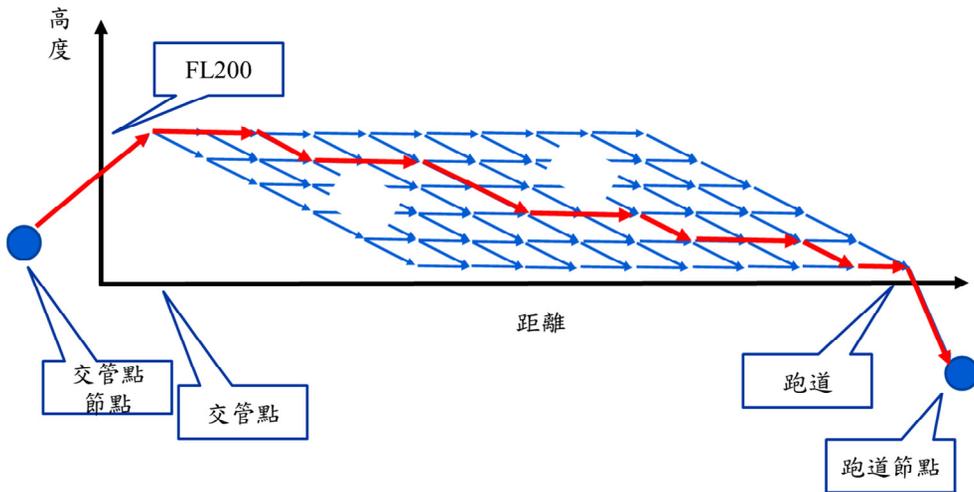


圖 4 空域網路結構示意圖

2. 地面網路模型

本模擬模式之地面網路，主要呈現跑道、滑行道及各停機位所形成之系統。由於在同一時間僅容許一架航空器使用跑道，因此模擬模式在邏輯上將跑道視為單一節點；而跑道節點亦為前述空域網路與地面網路之連接點。這種以單一節點代表跑道之方式與文獻[8]及文獻^[9]相同。於地面網路中所有停機位以及滑行道之連接、交叉處均為節點，其間依機場滑行道之實際布設狀況以節線連接之。模擬時航空器依其移動與停留方式，循序占用其移動路徑上之各節點，而占用時間即依模擬時之需要而設定。例如：航空器對跑道節點之占用時間，為其起飛或降落時占用跑道之時間長度；對停機位節點之占用時間，為其使用該停機位之時間長度等等。

地面網路之結構可以圖 5 之示意圖說明之，至於模擬系統依此結構與桃園國際機場設施狀況而布設之地面網路，則於後續再說明。於圖 5 之示意圖中，最上端與最下端為跑道節點，每一節點對應一條實體跑道，為每一跑道節點，分別以若干個節點對應跑道之各出口，用以供模擬過程中呈現航機脫離跑道進入滑行道時之不同選擇。與跑道出口節點相連者為節點與節線所構成之網路，對應於滑行道系統，此滑行道系統在網路結構中之功能為連接跑道出口與停機位。

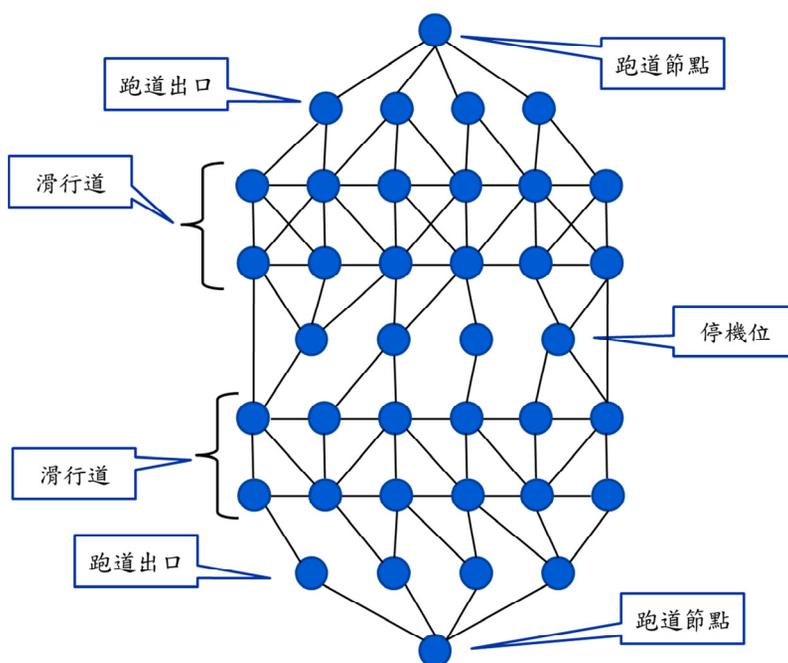


圖 5 地面網路結構示意圖

在上述結構下所構建之桃園國際機場地面網路圖示如圖 6，該圖僅顯示機場北側 A 與 D 停機坪至北跑道間之部分區域。

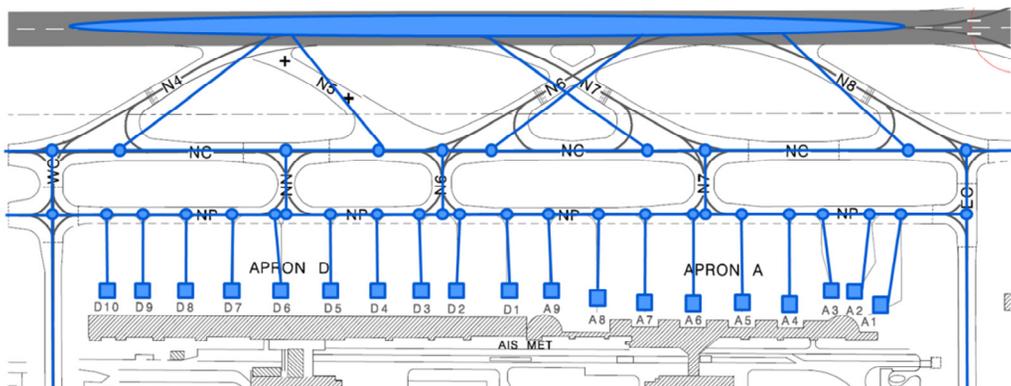


圖 6 桃園國際機場地面網路圖(僅示部分)

5.5 事件模擬模式

本軟體採用離散事件模擬，亦即時間之推進以離散事件之發生時間點為基準。所謂「事件」，定義為模擬過程中在瞬間發生，足以改變某種狀態之現象。例如：有一架航空器抵達跑道頭加入等待起飛之佇列，此時該航空器由「滑行中」之狀態，在抵達跑道頭之瞬間轉變為「等候起飛」之狀態，即為一個事件。每個事件除了有其種類、參數等屬性外，並均有預定發生時間之屬性。在模擬過程中，系統即將所有事件收納於一可插隊佇列中，並依預定發生時間排序。當時間推進至某事件的發生時間，系統便依據既定之規則執行該事件，並計算此一事件所帶來之影響，據以更新系統狀態。而大部分的事件在執行之過程中，會產生其他的新事件，並加入事件佇列中。在此種系統中，模擬時鐘之推進係以跳躍方式，由一事件之時間點跳到下一事件之時間點，在事件與事件之間，則系統不發生任何變化。

5.6 主要模擬事件

本模擬模式中設計了多種事件，其中最主要之事件有 7 種，其模擬邏輯說明如下：

1. 航空器進入模擬

此為航空器進入模擬範圍內後之第 1 個事件，於模擬起始之前，系統即依據各航空器之預定抵達交管點時間，為所有參與模擬之航空器各產生 1 個本類事件，並依其預定時間存入事件佇列中。模擬軟體執行本事件時，即模擬機場公司航務處人員檢視調整其停機位、模擬近場臺管制員與塔臺協調，並為該航空器規劃航路，最後產生進場事件。

2. 航空器進場

模擬系統執行進場事件時，以隨機方式決定該航空器之脫離跑道位置，再模擬塔臺管制員指派其前往停機位之滑行路線，最後產生滑行事件。

3. 降落後滑行

模擬系統執行某項滑行事件時，若判斷其係為降落後之滑行，則將在完成滑行之後使該航空器進入其停機位，並且依預設之地停時間產生請求後推事件。至於地停過程之加油、加水、清艙及其他所有操作，則均不在模擬範圍內。

4. 請求後推

模擬系統執行某航空器之請求後推事件時，模擬塔臺管制員指派其由停機位前往跑道頭之滑行路線，並依預計抵達跑道頭之時刻規劃其起飛順序，完成後即產生滑行事件。

5. 起飛前滑行

模擬系統執行某項滑行事件時，若判斷其係為起飛前之滑行，則將在開始滑行之時即釋出停機位，並依其滑行路線執行模擬。航空器完成滑行抵達跑道頭時，即產生等候起飛之事件。

6. 航空器起飛

航空器於執行本項事件時進入跑道並起飛，在此之前模擬系統即模擬近場臺管制員為航空器規劃航路。於完成所有起飛程序之模擬後，即產生航空器完成模擬之事件。

7. 航空器完成模擬

本事件為航空器所經歷之最後一個事件，模擬系統於存檔紀錄後即令該航空器消失，不再為其產生其他新事件。

5.7 重要基本假設

任何模擬模式均必有其假設，本研究之目的在構建臺北終端管制區域之空域模擬模式雛型，自然亦有其假設；以下整理本模擬模式之重要假設。

1. 模擬時間

本模擬模式假設模擬之時間為 1 天，共計 24 小時。

2. 勤務車輛

本模擬模式之著眼以航空器之活動為主，勤務車輛於機場內移動時所使用之勤務道路，與航空器活動之跑滑道並不相同，所遵循之管制標準亦不相同，且勤務車輛與航空器之活動有所衝突時，係以航空器為優先，因此本系統模擬時並不納入勤務車輛之活動。依此，系統納入拖機活動，但不納入空拖車之移動，亦不納入其他勤務車輛之活動。未來若須納入勤務車輛於模擬中，則應一併考量勤務車輛之調度方有意義。

3. 拖車供應

本模擬模式假設拖車供應充裕，亦即無待拖機之航空器等待拖車之狀況，本項假設之主要考量在排除拖車調度之因素，有助聚焦於航空器活動之模擬。

4. 停機位

停機位之分配，除了考慮基本之機型大小限制、相鄰航空器限制之外，並考慮各航次之目的機場、習慣等因素，且於模擬模式中保留參數設定之彈性。在模擬過程中，若發生航空器無法依規劃時間抵達、無法依規劃時間離開其停機位，或抵達時其停機位被占用等與規劃不同之狀況，則模式將配合當時狀況進行調整。

5. 跨越跑道

桃園國際機場長期以來存在航空器跨越跑道之問題，未來建置第 3 跑道之後，本問題將更形重要。本模式假設所有航空器於跨越跑道之前，即便跑道上並無起降之航空器，仍然一律先停等，而停等之時間長度則為可設定之參數，預設為 30 秒。

6. 機尾亂流

本模擬模式考慮機尾亂流所需之時間隔離，我國飛航管理程序^[13] 5-5-4 規定：「在一航空器之後，或在一航空器之後且空層在其下方不足 1,000 呎時，或跟隨實施儀器進場之航空器時，採下列隔離：(1) 重型跟隨重型－4 浬；(2) 中型跟隨重型－5 浬；(3) 輕型跟隨重型－6 浬；(4) 輕型跟隨中型－5 浬。」

7. 跑道選擇

模擬系統可為每一跑道個別設定為單起、單降或混合，且可設定在不同之時段採用不同之模式。到場航空器對降落跑道之指派，可設定為依停機位指派、依出現之交管點指派或隨機指派等 3 種模式其中之一。在模擬進行之過程中不允許變更模式，當機場有一條以上之跑道可供起飛時，各航空器起飛跑道之指派，固定為依停機位擇其近者。

8. 地面滑行

航空器在地面滑行速率為可設定之參數，預設為 26.7 節，相當於運行北跑道之長度費時 4.5 分鐘；拖機速率為可設定之參數，預設為 9 節；轉向操作損失時間為可設定之參數，預設為 30 秒。

模擬模式假設塔管制員引導滑行時，係給予可行、時間最節省之路徑，但同時亦考慮轉彎之不便性，轉彎不便對路徑選擇之重要性為可設定之參數。

9. 滑行道

模擬模式允許獨立設定各滑行道之關閉與開放時間。

10. 航空器進場

進場航空器最晚對正跑道點為跑道頭外 5 浬，高度為 1,500 呎處，航空器降落於跑道時，高度為可設定之參數，預設為海面以上 100 呎 (桃園國際機場高程為海面以上 108 呎)。航空器降落接觸跑道時之速率為可設定之參數，預設為 140 節。

11. 後推及起飛

航空器於後推之後，須先等待再開始滑行，等待時間為可設定之參數，預設為 4 分鐘，不同屬性之航空器可個別設定。航空器起飛時速率為可設定之參數，預設為 170 節。

12. 脫離跑道

進場航空器跑完跑道全長之 A 之後，以 $(1 - B)^{n-1}B$ 之機率於第 n 個出口脫離跑道，至於使用最後出口 k 以脫離跑道之機率則為 $(1 - B)^k$ 。 A 與 B 為可設定之參數，預設為 0.5 與 0.8，不同屬性之航空器可個別設定。

13. 機械性能

變換飛行速率時，假設為等加速率運動，其加速度絕對值之上限為可設定之參數，預設為不超過每秒每秒 1 公尺。航空器飛行高度變換率不超過每浬 300 呎，同時亦有不超過每分鐘 1,500 呎之限制。

14. 航空器到場

在此部分，本模式假設所有航空器均具有相同之性質，說明如下：所有到場航空器進入模擬範圍之位置均在交管點，但模擬模式假設管制員在此之前已能由雷達得到航空器資訊。模式假設近場臺管制員引導到場航空器時，大部分採用雷達引導之方式，同時亦假設管制員對到場航空器不給予爬升高度之引導，亦不給予加速之引導。

15. 空中等待

當桃園國際機場之到場航空器需要空中等待時，若使用 05 跑道進場，大部分以 JAMMY 為空中等待點，其次是使用 BRAVO；若使用 23 跑道進場，大部份以 SEPIA 為空中等待點，其次是用 AUGUR。然依來自南、北不同方向之航情，JAMMY、AUGUR、SEPIA 均可能同時使用。

六、模擬軟體

6.1 軟體架構

本模擬軟體係以 C++ 以及 C# 程式語言開發成，由操作控制模組、參數編輯模組、模擬模組、數學演算模組、統計模組、視覺呈現模組與資料中心模組所構成，模組分工之架

構如圖 7 所示，而主要模組之間，則以模擬結果檔傳遞資訊。以下將分別說明各模組之設計。

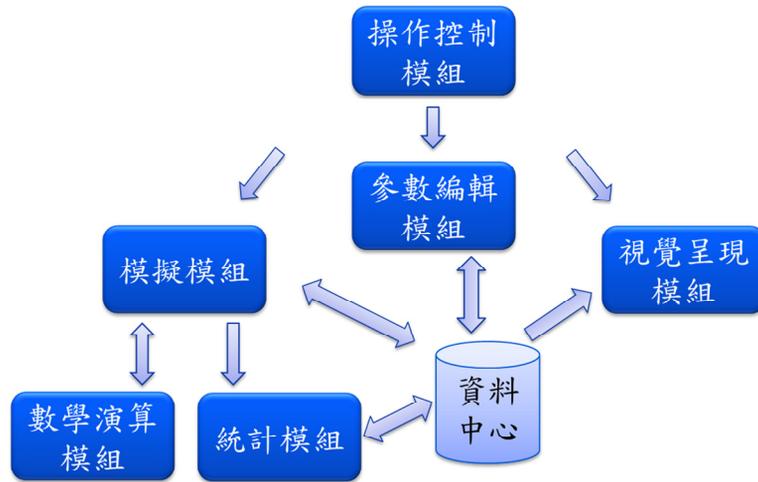


圖 7 模擬軟體架構

6.2 輸入參數

本模擬軟體所需之輸入資料，包括跨專案適用之環境參數、因模擬專案而異之專案參數，以及模擬進行時之運轉控制參數共計 3 類，分別說明如下：

1. 環境參數

此類參數主要在描述相關規章的基本限制、模擬系統的整體參數等執行模擬所需，較偏靜態之背景資料。其項目包括：風速、滑行速率、拖機速率、高度變換限制、落地速率、起飛速率、交管點速率、交管點高度、跨越跑道停等時間、水平隔離、垂直隔離、降落跑道指派方式、滑行轉向時間損失、滑行轉向權重、機場高程、輕／中／重型機後推等待時間、跑道快速出口速率、一般出口速率、降落飛機之間間隔時間。

2. 專案參數

此類資料以描述模擬專案為主，在數據與軟體儘量分離之原則下，空中、地面、航班等模擬時所需之專案資料儘量以資料檔描述之，而軟體則作為資料處理系統之用。本軟體所需要之專案資料類別包括：模擬邊界、班表、允各航機許使用機位、機位禁止相鄰列舉、停機位定義、脫離跑道點列表、地面網路節點節線、跑道設定、起降程序、航點清單等。若模擬範圍內有超過一座機場，亦可於這些檔案中定義之。

3. 控制參數

本類參數之功能在控制模擬進行過程中之設定變更，所包含之項目有滑行道開放與關閉時間，以及跑道運轉模式定義。

6.2 視覺顯示

視覺顯示模組之主要功能，在由資料中心取得使用者所指定之模擬結果，再以動畫方式呈現。此模組主要以 C#程式語言開發而成，此程式語言具有豐富之圖形元件，適合用以開發視覺顯示功能。視覺顯示模組讀取模擬結果資料之後，依其中之資訊顯示航空器在空中、地面之位置及狀態；同時並具有自動時間插補之功能，可避免因事件模擬而在視覺上產生不連續現象。

使用者選擇專案之後，視覺顯示模組即顯示動畫播放主畫面，如圖 8 所示。上方之控制區提供設定播放倍率、選定時間及其他各種功能。播放倍率可任意設定，亦可設定為負值，以反向播放動畫。使用者亦可於圖例區任意設定航空器於 5 種不同狀態時顯示之顏色。而統計查詢功能，則提供使用者查詢該模擬專案之平均飛行時間、平均飛行距離、平均滑行時間、平均滑行距離、平均等候機位時間、桃機北跑道小時起降數、桃機南跑道小時起降數、與桃機小時起降數等 8 種統計值，並可輸出成為可用 excel 開啟之檔案。若所模擬之機場具有 3 條跑道，則軟體亦可對各跑道進行統計。

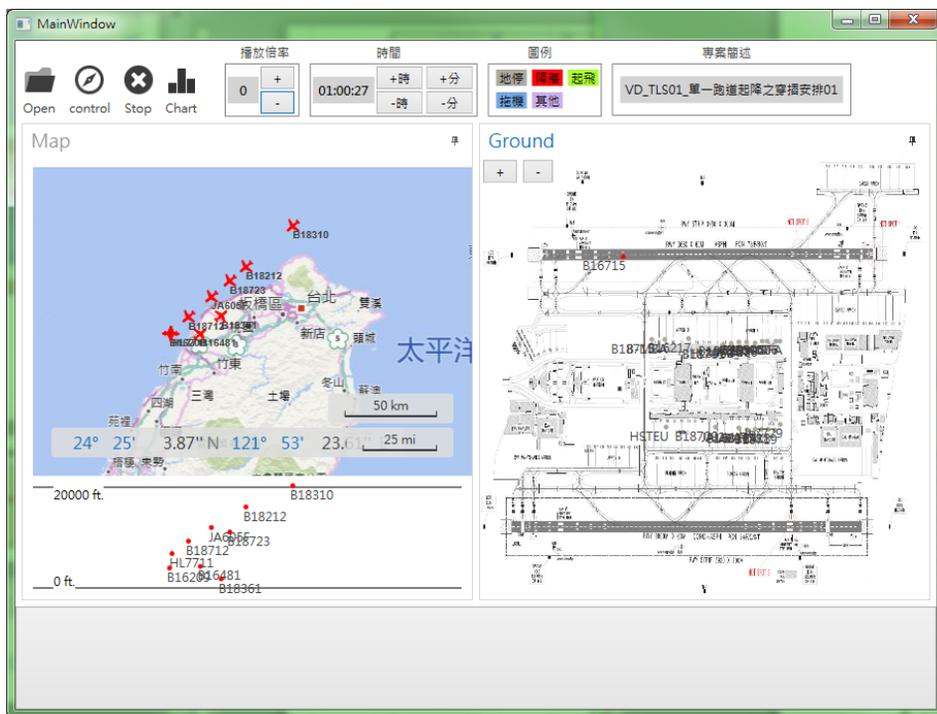


圖 8 動畫播放主畫面

七、模擬應用

本節舉例說明此模擬模式之可能應用方式，本研究以桃園國際機場 2017 年 6 月 30 日之航班班表之部分時段進行模擬，並設定以 05L 跑道降落、05R 跑道起飛之起降分流跑道運用模式，航空器於飛行過程中之最小水平隔離則設定為 3 浬。模擬結果，所能達到之最高小時起降架次數為每小時 44 架次，而當天真實紀錄之最高值為 43 架次，兩者接近。

以桃園國際機場現況為基礎，但變更其滑行道與停機位之設定，使得航空器於地面活動時均不相互干擾，即可測試在無地面活動影響下，機場之起降能力。本模擬測試使用虛擬班表，以等間距產生起飛與降落之需求。例如，若虛擬班表中間隔 120 秒有起飛與降落各一架次，則相當於每小時有 30 架次之起飛需求，以及相同數量之降落需求，兩者合計約相當於每小時 60 架次之起降需求。在此種虛擬班表之設定下，並將航空器於飛行過程中之最小水平隔離則設定為 3 浬時，模擬結果顯示當機場使用 05 右跑道起飛、05 左跑道降落時，機場可達到每小時 48 架之起降量，其分小時統計如圖 9 所示。而相同之設定，但改為兩條跑道均為起降混合時，所達到之最高起降量為每小時 45 架次。

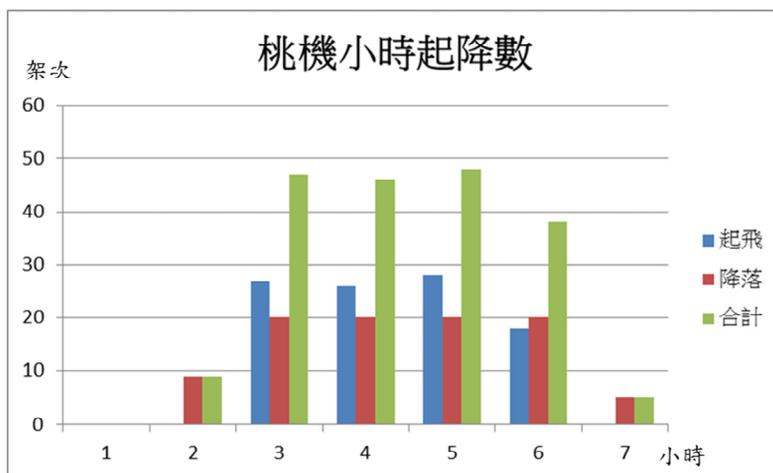


圖 9 桃園國際機場排除地面活動影響模擬統計

八、結論與後續研究

8.1 結論

本研究以臺北終端管制區域以及桃園國際機場空側為標的，構建整合空域與機場空側之模擬模式。本研究以管制員以及停機位指派人員為模擬對象，在釐清 3 種人員之決策對於航空器在時間、空間中移動歷之影響方式之後，建立成為模擬模式，之後再依模擬模式

之邏輯設計並實作模擬軟體。本軟體之架構設計盡量區隔了邏輯與數據，使得軟體能夠以數據表現機場之場面布設、各種參數，甚至多個機場。這種設計使得軟體具有足夠的彈性，能夠在不修改程式碼之狀況下進行各種不同情境之模擬，而初步模擬結果亦顯示該軟體有能力針對不同情境進行模擬。

8.2 後續研究

本研究已開發整合終端空域與機場空側模擬模式之關鍵技術，並且完成設計與實作此類模擬軟體之可行系統架構。然而任何軟體均需要累積應用經驗與開發經驗才能成熟。由此觀點，本軟體在整個生命週期中尚處於快速成長期，具有高度彈性較易量身訂做，為其重要優勢。建議我國利用此一優勢，開發適合我國使用之成熟商用模擬軟體。而在開發技術之同時，亦建議政府相關單位儘速訂定模擬可用性之檢驗方式及標準，將對未來之技術開發具有相當之助益。

這種以模擬為核心之軟體，將成為機場規劃及運轉管理之有力工具，機場維運單位以及其他相關單位，將可利用這種工具進行各種情境分析，例如停機位、滑行道各種不同布設方案之評估比較、停機位分配使用策略對機場運轉之影響等均屬之。

此外，本研究所開發之網路模型以及停機位分配模式，均可進一步發展成為決策輔助系統之核心演算法。未來桃園國際機場擴建之後，其運轉規模將更大，而內容則將更趨複雜。屆時若有適當之決策輔助系統，對於機場運轉之順暢性以及效率，應均有顯著之助益，本研究建議相關單位及早推動決策輔助系統之開發與建置。

參考文獻

1. Lee, L. H., Huang, H. C., Lee, C., Chew, E. P., Jaruphongs, W., Yong, Y. Y., Liang, Z., Leong, C. H., Tan, Y. P., Namburi, K., Johnson, E., and Banks, J., "Simulation of Airports/Aviation Systems: Discrete Event Simulation Model for Airline Operations: SIMAIR", Proceedings of the 35th conference on Winter simulation: driving innovation, 2003, pp.1656-1662.
2. Sweet, D. N., Manikonda, V., Aronson, J. S., Roth, K., and Blake, M., "Fast-Time Simulation System for Analysis of Advanced Air Transportation Concepts", AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference and Exhibit, 2002.
3. Sullivan, B. T. and Malsom, S. J., "Development of a Real-Time Virtual Airspace Simulation Capability for Air Traffic Management Research", AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference and Exhibit, 2002.
4. McDermott, W. J. and Maluf, D. A., "Airport Simulations Using Distributed Computational Resources", NASA Ames Research Center, 2002.
5. Jeppesen, "Total Airspace and Airport Modeller (TAAM), Product Profile", <https://ww2.jeppesen.com/wp-content/uploads/2019/02/TAAM-Product-Profile.pdf>, 2015.

6. Odoni, A. R., Bowman, J., Delahaye, D., Deyst, J. J., Feron, E., Hansman, R. J., Khan, K., Kuchar, J. K., Pujet, N., and Simpson, R. W., "Existing and Required Modeling Capabilities for Evaluating ATM Systems and Concepts", NASA's AATT Program under Grant No. NAG 2-997, 1997.
7. Eurocontrol, "TAAM Operational Evaluation", European Organisation for the Safety of Air Navigation, 2000.
8. 李昀諭, 「空邊模擬模式之研究」, 國立成功大學交通管理科學研究所碩士論文, 民國 90 年。
9. 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研究所碩士論文, 民國 89 年。
10. 張仁達, 「臺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研究所碩士論文, 民國 90 年。
11. 張淳智、戴佐敏, 臺北飛航情報區模擬模式之建立－各終端管制區域模擬架構之建立, 交通部科技顧問室, 臺北, 民國 89 年。
12. 交通部民用航空局, 臺北飛航情報區飛航指南, 民國 107 年。
13. 交通部民用航空局, 飛航管理程序, 民國 106 年。
14. 交通部民用航空局, 飛航規則, 民國 103 年。
15. 董吉利, 「臺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碩士論文, 民國 94 年。

