

城際鐵路場站容量評估模式¹

STATION CAPACITY ANALYSIS MODEL FOR INTERCITY RAILWAYS

黃笙玳 Sheng-Hsuan Huang²
鍾志成 Jyh-Cherng Jong³
施千華 Chien-Hua Shih⁴
賴勇成 Yung-Cheng Lai⁵
張舜淵 Shuen-Yuan Chang⁶
劉昭榮 Jau-Rong Liou⁷

(113 年 1 月 10 日收稿，113 年 6 月 4 日接受)

摘 要

在政府推動各項鐵道系統建設之際，為了避免過度設計導致浪費或設計不足不敷需求，容量分析是必不可少的重要工作。對於城際鐵路而言，站內軌道與月臺配置複雜的場站可能成為容量瓶頸處，但也因其多樣的配置方式與多種的衝突進路，使得在容量分析上具有一定的難度。過去交通部運輸研究所發展傳統鐵路之容量分析模式，惟僅能針對幾種常見的車站配置進行分析，應用上有所侷限，因此本研究乃針對城際鐵路之場站，考量進路、行駛路徑、交通組成、站內停靠時間與號誌安全時距等因素，發

-
1. 本研究為交通部運輸研究所與財團法人中興工程顧問社合作研究計畫「城際鐵道容量分析暨應用研究 (1/2)－編組站及端末站之容量模式構建」(MOTC-IOT-112-PDB003) 的部份成果，已獲交通部運輸研究所授權刊出。
 2. 財團法人中興工程顧問社土木水利及軌道運輸研究中心研究員 (聯絡地址：11494 臺北市內湖區新湖二路 280 號，電話：02-87919198 分機 426，E-mail: shhuang@sinotech.org.tw)。
 3. 財團法人中興工程顧問社土木水利及軌道運輸研究中心主任。
 4. 財團法人中興工程顧問社土木水利及軌道運輸研究中心研究員。
 5. 國立臺灣大學土木工程學系教授。
 6. 交通部運輸研究所運輸計畫及陸運組組長。
 7. 交通部觀光署簡任技正。

展一套場站容量評估模式。最後以臺鐵基隆站進行案例分析，其場站容量為平均每小時約 6 列車，與臺鐵的認知相符，此外，本研究亦透過模式進一步探討造成容量瓶頸之主要因素，來提出可能的改善方向。

關鍵詞： 城際鐵路、場站容量、模擬模式

ABSTRACT

As the government promotes various railway system constructions, capacity analysis is indispensable to avoid over-design leading to wastage or under-design failing to meet demand. For intercity railways, stations with complex track and platform configurations may become capacity bottlenecks. However, the diverse configurations and multiple conflict routes make capacity analysis challenging. Previous capacity analysis models developed by the Institute of Transportation for conventional railways could only analyze a few common station configurations, limiting their applicability. Therefore, this study focuses on intercity railway stations and develops a station capacity assessment model considering factors such as routes, paths, traffic composition, dwell times, and signal safety intervals. Finally, employing Keelung Station as a case study revealed a capacity of approximately 6 trains per hour, aligning with Taiwan Railway's projections. Moreover, this research delves deeper into identifying the key factors contributing to capacity bottlenecks through the model, suggesting potential avenues for enhancement.

Key Words: *Intercity Railway ; Station Capacity ; Simulation-based Model*

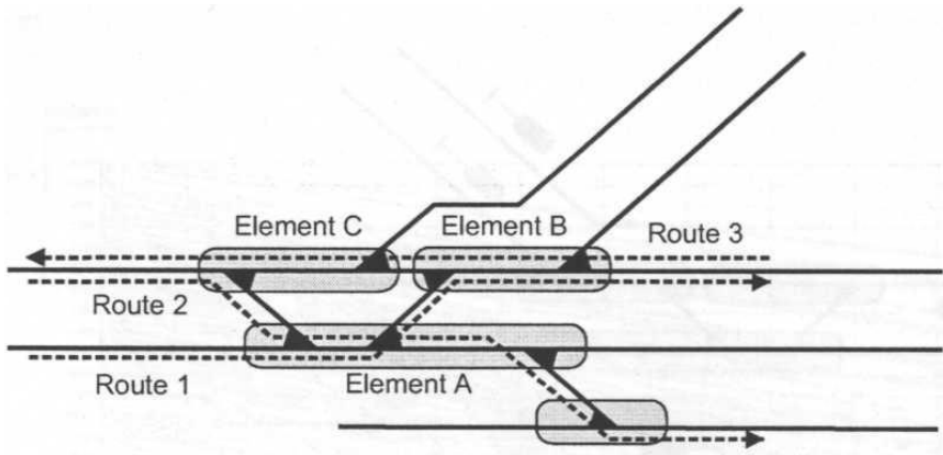
一、前言

鐵道建設是政府前瞻建設計畫的主軸之一，旨在提供國人友善、安全、便捷及可靠的鐵道運輸服務，但鐵道系統的運能，亦即容量，卻鮮少受到應有的關注與討論。實際上，鐵道建設所需投入之經費資源相當龐大，為了能夠有效地分配有限資源，來實現符合預期的運輸服務水準，無論在規劃、設計及營運階段，都需要充分掌握需求和供給兩方面的情況，其中需求面係透過運量預測來推估，而供給面則必須仰賴容量分析來求得。

容量是用來評估運輸能力的指標，具有一定的代表性，在鐵道容量研究中被廣泛使用^[1,2,3,4,5]。鐵道系統由路線 (Line) 與場站 (Station) 串接而成，因此在進行容量分析時，除了計算路線容量之外，場站容量也會被獨立進行計算與探討^[4,6]，尤其是針對端末站 (Terminal Station) 與編組站 (Classification Yard)，因為其站內軌道與月臺布置較複雜，且列車進出場站之進路 (Route) 可能發生相互衝突，是潛在的容量瓶頸所在^[7,8,9]，故場站容量是評估鐵道系統容量時不可或缺的課題之一。掌握場站容量對於鐵路營運與服務水準至關重要，除了在規劃設計階段，可計算出滿足運輸需求及預期服務水準的系統設施配置；在

營運階段，也有助於營運單位合理分配資源，以提高效率、提升穩定性和可靠性。

過去文獻中，要考量列車進出站之衝突進路來計算容量，會以「進路鎖定表 (Route Locking Table)」或「非衝突進路圖 (Diagram of Non-Conflicting Routes)」等兩種概念來發展解析模式。學者 Potthoff 提出的模式便是以進路鎖定表為基礎^[10,11]，該模式先根據場站的軌道配置情形建立進路關係矩陣 (Routes Matrix) 以及其對應的占用時間矩陣 (Occupation and Interdiction Time Matrix)，接著考量交通組成來計算平均列車數、平均占用時間與延滯時間，最後計算在指定時間範圍內的容量利用率。而學者 Corazza 則以非衝突進路圖之概念提出另一模式^[12,13]，係假設各列車以相同的機率在評估容量之時間範圍內的任何時刻到達，然後計算當有列車使用某一進路時，同時有其他列車使用無衝突進路之總機率，藉此求取平均列車數，最後獲得時間範圍內的容量利用率。然而，這類方法僅能考量任兩進路之關係，無法處理三條以上之進路相互關聯之複雜情況，例如圖 1 中進路 1 (Route 1) 與進路 2 (Route 2) 會互相鎖住對方的進路，但同時又會被進路 3 (Route 3) 鎖住，因此僅找出進路 1 與進路 2 的最小運轉時隔，將會忽視進路 3 的影響效應。



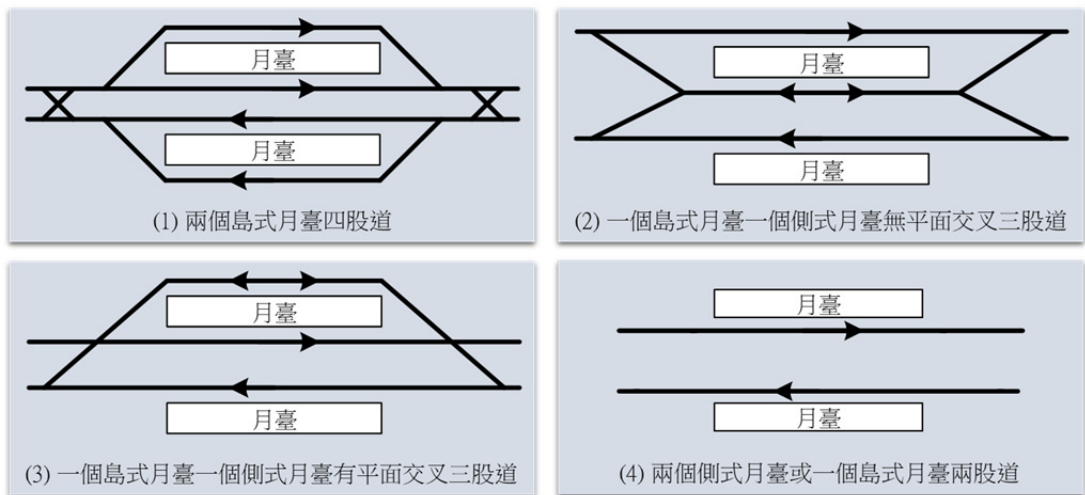
資料來源：[14]

圖 1 三條進路相互關聯的例子

面對多條進路相互關聯的情況，模擬模式可以比較容易考量各進路的使用狀況來評估容量，如過去黃筌玟等人曾針對臺鐵大肚溪南號誌站，發展了一套模擬流程來評估其容量^[15]，每回合依據交通組成隨機產生一列車，並確保該列車通過大肚溪南的時間，與系統中其他列車皆保持足夠號誌安全時距。而陳佑昇考量了列車進出站的衝突狀況、折返整備時間，以及車站內軌道數量等三個關鍵因素，並假設列車採一進一出二進的運轉方式下，建構模擬模式來探討高鐵系統末端站之容量^[3]。另外也有文獻採用套裝模擬軟體來探討場站容量^[16]，不過這類研究通常僅針對特定的場站與時刻表，來建立模型並探討特定的課題，而非發展一般性的場站容量評估模式，對於如何評估容量沒有多做介紹，此外，在鐵路建

設的規劃階段通常缺乏許多套裝模擬軟體所需的細節參數，導致難以運用。

目前「臺灣鐵道容量手冊」的傳統暨區域鐵路篇中所提供的容量計算方法^[1]，將車站依軌道與月臺配置方式分為如圖 2 所示之四種類型，雖已涵蓋營運單位大多數的車站，惟少數較複雜的場站難以歸類(例如基隆站)，導致容量分析時有所限制，因此，實需針對各式場站來發展相關的容量分析方法，以擴展過去模式的泛用性，完備國內鐵道容量分析之技術。



資料來源：[1]

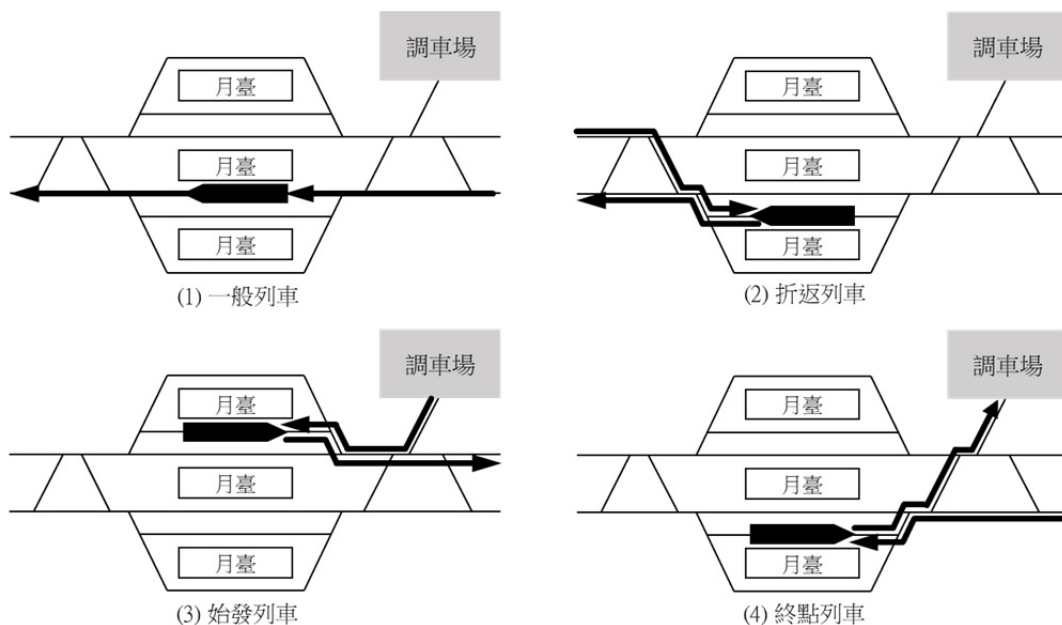
圖 2 傳統暨區域鐵路鐵道容量分析模式所考慮的車站類型

整體來說，從過去研究可知，若採用解析模式來評估容量，皆缺乏探討三條以上之進路相互關聯之情況，由於無法有效考量並處理多條進路間的關聯，因此必須採用模擬模式。而後來採用模擬模式的研究，通常有諸多限制，例如僅適用於特定系統、僅探討特定課題，或者有列車運轉方式等限制，即便是套裝模擬軟體，也因其需要大量細節參數，而不易應用於規劃階段的容量評估。有鑑於此，本研究藉由歸納列車於場站內的運轉特性，發展一套評估場站容量的模擬模式，可泛用於各種城際鐵路系統，且不受限於特定場站軌道配置狀況，能根據列車進出場站所行駛之進路的交織情形來評估其容量，同時為了能應用於鐵路建設規劃，將盡量簡化輸入參數，例如以交通組成來代替時刻表。最後，本研究以臺鐵基隆站為對象，進行案例分析來展示模式的成效，並提出結論與建議。

二、場站的列車運轉特性

為了發展一套泛用的場站容量分析模式，本研究整理了列車於場站內的運轉特性：

1. 一般列車於場站內最常見的運轉情形如圖 3 (1) 所示，列車從前一站行駛至車站後，停靠讓旅客上下車，然後繼續往下一站運行，若不載客，則是直接通過往下一站運行。
2. 此外有些列車會於車站內進行折返，如圖 3 (2) 所示，列車到站後即為該車次的終點，停靠於月臺並完成整備後，繼續服務下一趟車次，此情況主要發生在末端站，但也可能發生在中途車站。
3. 若是始發列車，如圖 3 (3) 所示，列車先從調車場行駛至車站內，並停靠於月臺，待整備完成讓旅客上車後，開始其運輸服務。
4. 而終點列車，如圖 3 (4) 所示，列車抵達停靠於月臺讓旅客下車，待完成清車後駛入調車場。



資料來源：本研究整理

圖 3 列車於場站的運轉情形

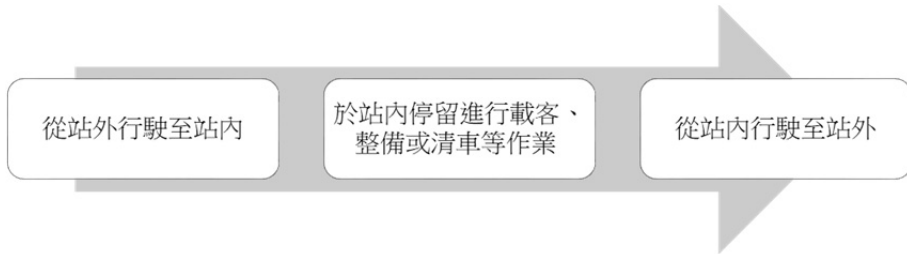
綜整上述，可進一步將列車於場站內的運轉特性歸納為如圖 4 所示之行為：列車從站外(前一車站或調車場)行駛至站內，接著於站內停留進行載客、整備或清車等作業，或是不停留直接通過，最後從站內行駛至站外(往下一車站或調車場)。

三、場站容量評估模式建構

本研究所探討的場站容量，係指在單位時間內有多少列車於場站內完成上節所述作

業，並進入正線提供運輸服務。圖 5 為本模式之基本概念，先讓列車緊密地抵達場站，而這些列車除了要在站內完成作業才能離開場站之外，進出場站時，彼此之間還要保持足夠的號誌安全時距，最後觀察從場站離開的列車流量來評估此場站的容量。

模式之架構如圖 6 所示，考量了場站的軌道佈置、列車的行駛路徑、交通組成、站內停靠時間與號誌安全時距等因素，依據列車運轉基本規則，透過模擬程序來決定每列車抵達與離開場站的時間，之後再考量運轉寬裕來計算平均運轉時隔與場站容量，其中對於輸入參數、模擬流程與容量計算等內容，詳細說明如下。



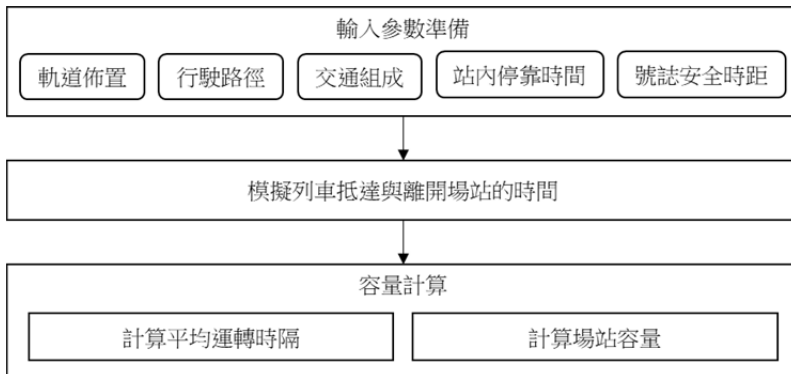
資料來源：本研究整理

圖 4 列車於場站內的運轉特性



資料來源：本研究整理

圖 5 場站容量分析模式之演算概念



資料來源：本研究整理

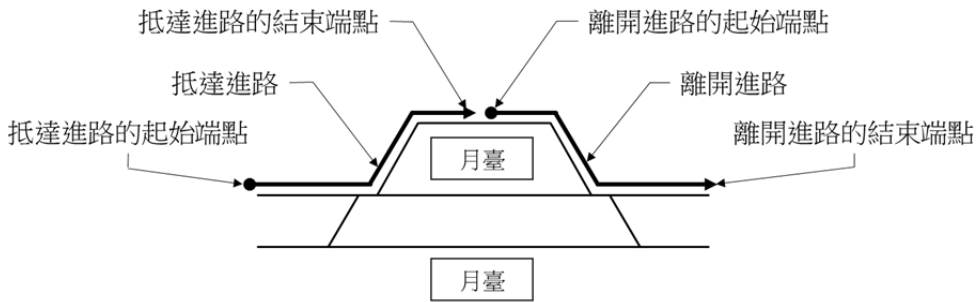
圖 6 場站容量分析模式架構

3.1 輸入參數

模式所需的主要輸入參數有進路、行駛路徑、交通組成、站內停靠時間以及號誌安全時距，此外，使用者尚需指定模擬列車數以決定模擬的規模，另外也要給定亂數種子，用來讓模式能依交通組成隨機決定列車車種，並在有多條可用行駛路徑時，隨機選擇一條供列車使用。

1. 進路

進路是指列車抵達或離開場站時，所運行的一系列軌道所構成的路徑，在本模式中用來反映場站內月臺與軌道佈置對容量的影響。進路有分為抵達進路與離開進路兩種，抵達進路的起始端點是場站外的軌道，結束端點則是場站內供列車停靠或通過的軌道；而離開進路則剛好相反，起始端點是場站內供列車停靠或通過的軌道，結束端點則是場站外的軌道，如圖 7 所示。

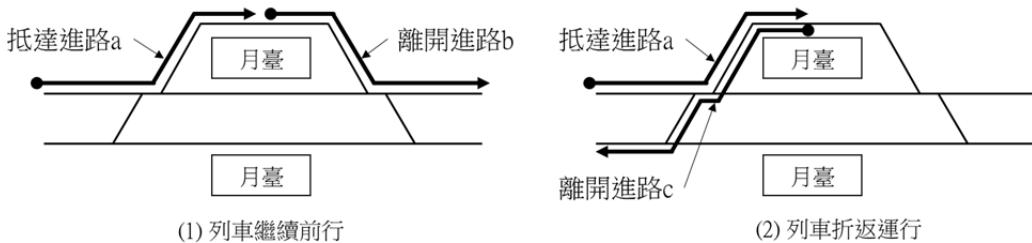


資料來源：本研究整理

圖 7 抵達進路與離開進路

2. 行駛路徑

行駛路徑用來表示列車進出場站所運行的路徑，由一條抵達進路與一條離開進路組合而成，其中抵達進路的結束端點必須和離開進路的起始端點相同，如圖 8 所示。



資料來源：本研究整理

圖 8 由進路組成行駛路徑

3. 交通組成

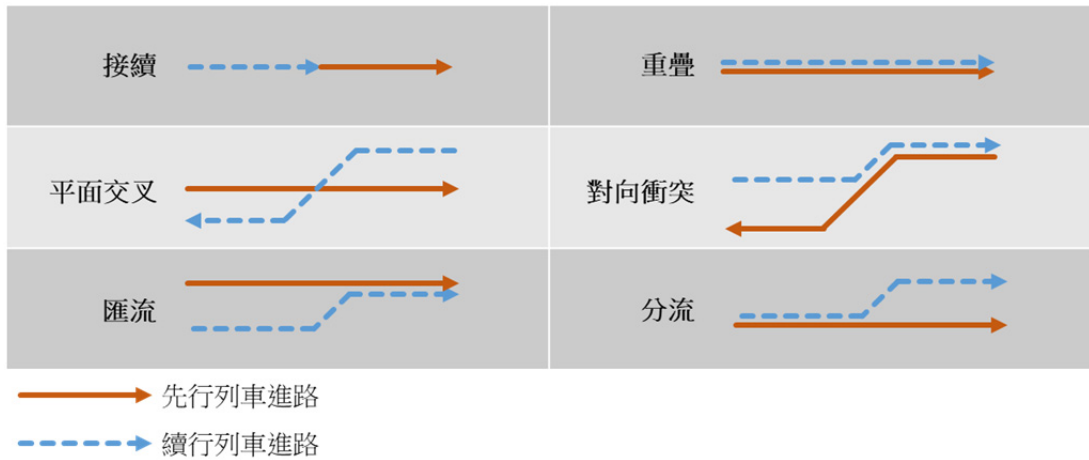
本模式不需輸入可行班表，取而代之的為交通組成 (Traffic Composition)。交通組成為各車種的組成比例，例如臺鐵有各級旅客列車，另外，即便是相同編組的列車，不同停站方式或營運型態的列車比例也是屬於交通組成因素，例如台灣高鐵都採用 700T 型電聯車，但停站方式有直達車、半直達車、每站皆停等型態。除了組成比例，對於每一車種，還必須指定一條以上之行駛路徑，在模式中才能用來決定列車如何進出場站。

4. 站內停靠時間

在本模式中，每一車種可設定其站內停靠時間，由於車種已依據營運型態進行區分，因此站內停靠時間即為該車種於場站內辦理載客、整備，或清車等作業所需的時間。至於不停靠的通過性列車，站內停靠時間可設為 0。

5. 號誌安全時距

任兩進路若是有接續、重疊、平面交叉、對向衝突、匯流與分流等關係，如圖 9 所示，則必須設定號誌安全時距，模式中會確保運行於此兩進路的列車有保持足夠的時距。



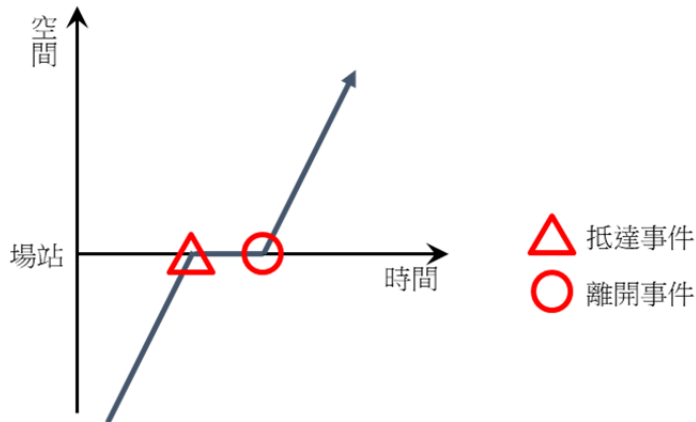
資料來源：本研究整理

圖 9 進路關係

3.2 模擬流程

系統模擬方法分為連續時間模擬 (Continuous Time Simulation) 與離散事件模擬 (Discrete Event Simulation)，若研究的重點在於要詳細掌握系統運作過程中的每個時間點之情境或狀態，較適合以前者來進行模擬；若研究僅需瞭解整個系統運作過程中幾個重要的系統狀態變化，則適合使用後者。以本研究而言，決定每列車抵達與離開場站的時間，以及號誌安全時距的限制，皆是以列車於場站的抵達與離開狀態為基礎，明顯適合採用離散事件模擬。

模式中將每列車抵達和離開場站皆視為一個事件，如圖 10 所示，隨著事件依序發生，系統的時間便會不斷往前推進，同時也會反映列車使用站內軌道與進路的情況。一條站內軌道一次只能讓一列車使用，不能同時存在兩列以上之列車，而進路也是同時只供一列車使用，且任兩衝突進路之列車必須保持足夠的號誌安全時距。



資料來源：本研究整理

圖 10 列車抵達和離開事件

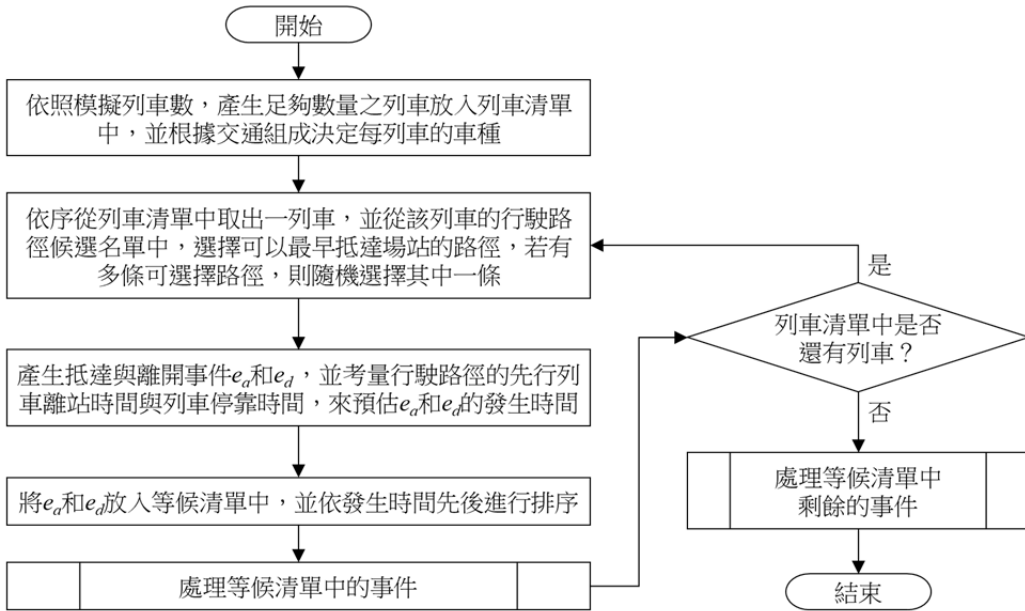
整體模擬流程如圖 11 所示，首先依模擬列車數產生足夠數量的列車建立列車清單，並依據交通組成所設定之各種列車出現機率，來決定清單中每一列車的車種。

接著以「逐列車」的方式來進行模擬，從列車清單中依序取出一列車來抵達場站，此時若該列車有多條行駛路徑，則根據這些行駛路徑被其他列車使用的狀況，選擇可讓列車最早抵達場站的路徑。假如同時有多條行駛路徑都可讓列車最早抵達，則隨機選擇其中一條路徑。

選定行駛路徑後，根據選定路徑之先行列車離站的時間，來預估列車抵達事件的時間，亦即讓列車緊接著先行列車離站後抵達場站。而列車離開事件的預估時間，則是將抵達事件的預估時間，加上列車的站內停靠時間來估算。

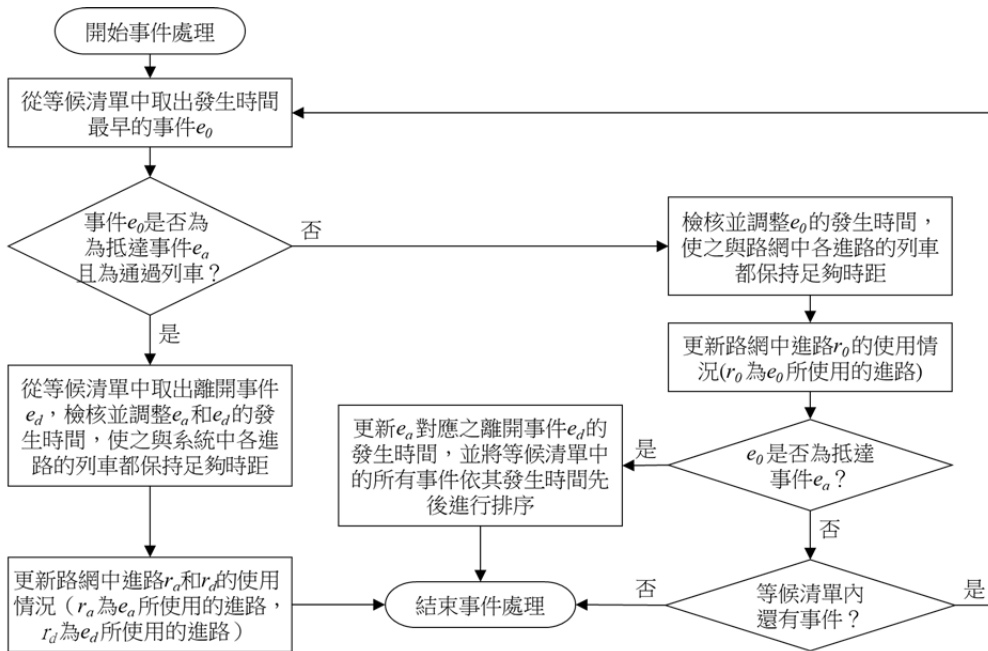
然後將列車的抵達事件和離開事件放入等候清單中，並將清單內的事件依照其預估時間的先後進行排序，接下來則依序處理清單內的事件，處理事件時才會確定事件的發生時間，並更新系統內的狀態。反覆進行此程序，直到列車清單中所有列車都被取出後，再處理完等候清單內剩餘的事件，便完成整個模擬流程。

上述過程中的事件處理流程如圖 12 所示，係依照事件的預估時間先後依序處理，針對每一事件，會根據目前系統內各進路被列車使用的狀況，來決定該事件的發生時間，使之與其他列車都保持足夠的號誌安全時距，當有時距不足的情形，則是透過延後事件的發生時間，來避免列車發生衝突。此外，若該事件為抵達事件，還必須從等候清單中找到其對應之離開事件，更新其預估時間，使列車有足夠的站內停靠時間，同時須重新排序清單



資料來源：本研究整理

圖 11 模擬列車抵達與離開場站之整體流程



資料來源：本研究整理

圖 12 事件處理流程

內的事件，以維持其時間先後順序。

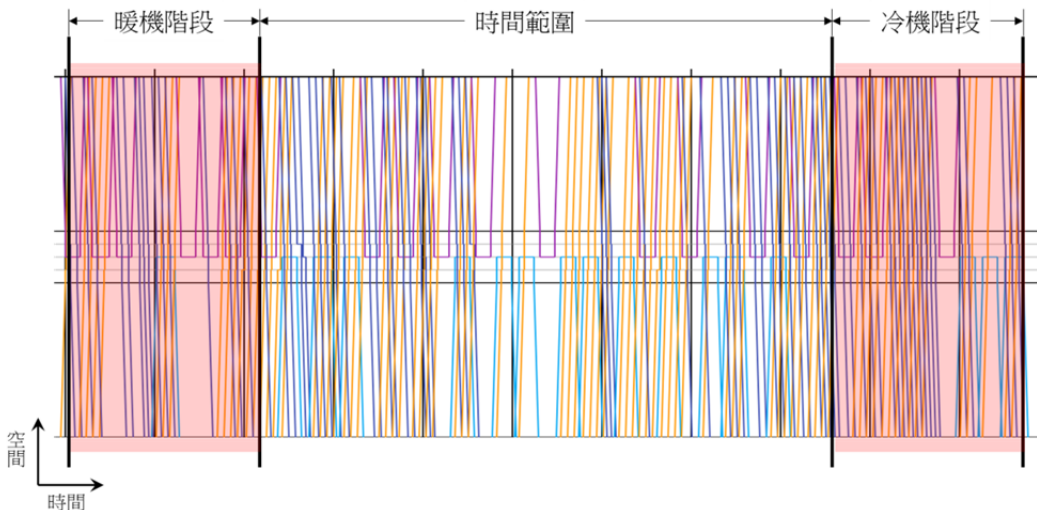
若是通過列車則有不同處理程序，因為通過列車於場站內沒有停靠時間，其抵達事件和離開事件的時間應相同，所以會從等候清單中將該列車的抵達和離開事件取出，一併決定其發生時間，使之與系統中各進路的其他列車都保持足夠的號誌安全時距。

最後，由於列車抵達場站後，依作業不同，例如載客、整備或清車等，會有不同停靠時間，但此時其他列車仍可持續進站，故事件處理流程會在處理完剛放入之列車的抵達事件後告一段落，回到圖 11 之整體流程讓下一列車抵達場站，而等候清單內剩下的事件，會在下次進入事件處理流程時繼續處理。

3.3 容量計算

由於在進行模擬之初，場站內完全無列車，隨著列車陸續抵達，場站內的軌道才開始分別被占用，此為暖機階段。直到接近飽和的情況時，列車幾乎是從場站內一股道離開後，下一列車就抵達並使用同一股道。而到了接近模擬結束之際，場站內的列車數量逐漸減少，直到所有列車皆離站為止，此為冷機階段。

顯而易見，在暖機與冷機階段時，列車密度較低，因此必須扣除這些情況，才不至於低估容量，所以本模式在完成模擬後，從第一列車進入場站，直到最後一列車離開場站的整段模擬時間中，會排除暖機與冷機階段的時間，僅以中間的時間範圍來評估容量，如圖 13 所示，根據時間範圍內的列車數量，以下列公式來求取平均運轉時隔與場站容量。其中運轉寬裕時間係數的設定，需視各營運單位之主、客觀條件而定，本研究係透過變動運轉寬裕時間係數，並進行反覆計算，從中獲得讓臺鐵認同的數值。



資料來源：本研究整理

圖 13 評估場站容量的時間範圍示意圖

$$\bar{h} = \frac{T}{n} \times (1 + \beta) \quad (1)$$

$$C_s = \frac{3600}{\bar{h}} \quad (2)$$

式中：

\bar{h} =平均運轉時隔 (s)

T =用來計算場站容量的時間範圍 (s)

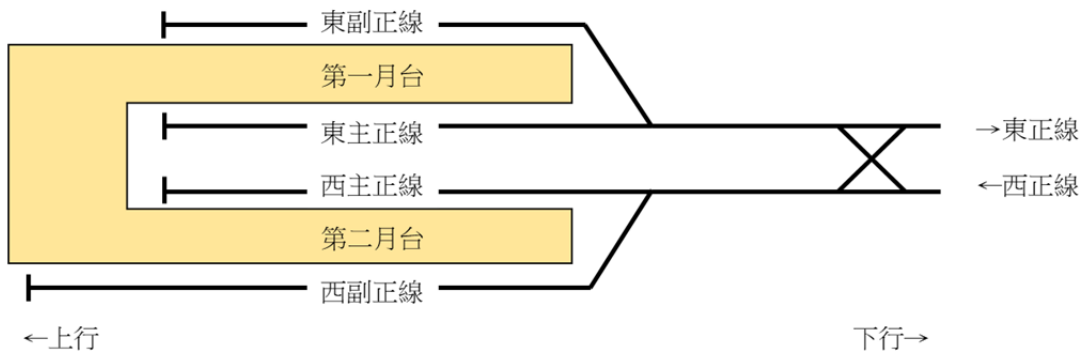
n =在時間範圍內離站的列車數量

β =運轉寬裕時間係數

C_s =場站容量 (TU/h)

四、案例分析

本研究以臺鐵基隆站為對象來進行案例分析，基隆站為一等站，位於縱貫線的起點，列車北上抵達本站後即轉為南下列車繼續服務，每日上下行共停靠 121 班次。本站配置端末式月臺，如圖 14 所示，共有四個月臺面，其中只有西副正線的軌道長度足以供推拉式自強號停靠，其餘軌道則供區間車停靠，而車站前方有配置剪式橫渡線供列車折返。



資料來源：本研究整理

圖 14 臺鐵基隆站之軌道佈置情形

4.1 輸入參數設定

本研究根據目前臺鐵基隆站的狀況，來設定各項輸入參數，說明如下：

1. 進路

根據圖 14 之軌道佈置，在常態運轉下，基隆站共有四條抵達進路與四條離開進路，

各進路的起始端點與結束端點整理如表 1。

表 1 進路設定

進路名稱	進路起始端點	進路結束端點
抵達進路 a	西正線	站內西副正線
抵達進路 b	西正線	站內西主正線
抵達進路 c	西正線	站內東主正線
抵達進路 d	西正線	站內東副正線
離開進路 a	站內西副正線	東正線
離開進路 b	站內西主正線	東正線
離開進路 c	站內東主正線	東正線
離開進路 d	站內東副正線	東正線

資料來源：本研究整理

2. 行駛路徑

從表 1 之進路設定，共可組合出四條行駛路徑，各行駛路徑的抵達進路與離開進路整理如表 2。

表 2 行駛路徑設定

行駛路徑名稱	抵達進路名稱	離開進路名稱
行駛路徑 A	抵達進路 a	離開進路 a
行駛路徑 B	抵達進路 b	離開進路 b
行駛路徑 C	抵達進路 c	離開進路 c
行駛路徑 D	抵達進路 d	離開進路 d

資料來源：本研究整理

3. 交通組成與站內停靠時間

根據臺鐵公告的時刻表，基隆站有自強號與區間車兩種營運列車，其尖峰時間的交通組成比例、行駛路徑，以及折返整備所需的站內停靠時間等設定如表 3 所示。

表 3 交通組成與站內停靠時間設定

車種名稱	組成比例	行駛路徑	站內停靠時間
自強號	20%	行駛路徑 A	15 分鐘 (900 秒)
區間車	80%	行駛路徑 B、C、D	12 分鐘 (720 秒)

資料來源：本研究整理

4. 號誌安全時距

表 4 為本案例的號誌安全時距參數，係依據下列臺鐵在營運規劃作業時所採用的數值來設定。

- (1) 不同股道進站(分流)的時距設為 360 秒
- (2) 不同股道離站(匯流)的時距設為 360 秒
- (3) 平面交叉先離站後進站的時距設為 480 秒
- (4) 平面交叉先進站後離站的時距設為 30 秒

其中任兩條不同的抵達進路，例如抵達進路 a 和抵達進路 b，採用不同股道進站的時距 360 秒；任兩條不同的離開進路，例如離開進路 a 和離開進路 b，採用不同股道離站的時距 360 秒；當先行為抵達進路、續行為離開進路時，若有兩進路有平面交叉，例如抵達進路 a 和離開進路 b，則採用平面交叉先進站後離站的時距 30 秒；當先行為離開進路、續行為抵達進路時，若有兩進路有平面交叉，例如離開進路 a 和抵達進路 b，則採用平面交叉先離站後進站的時距 480 秒。

至於兩條重疊進路的時距設定上，若兩重疊進路皆為抵達進路，則需考量先行列車停靠時間，並在先行列車離開場站後，續行列車才能進站，例如兩列自強號都行駛抵達進路 a，先後到達車站，其時距的計算為站內停靠時間 900 秒，加上平面交叉先離站後進站的時距 480 秒，共 1380 秒；而離開進路也是類似的情況，在先行列車離開場站後，續行列車才能進站，並且經過站內停靠時間後，續行列車才能離站，故時距的計算為平面交叉先離站後進站的時距，加上站內停靠時間，以區間車行駛離開進路 b 為例，為 480 秒加 720 秒，共 1200 秒。

表 4 號誌安全時距設定

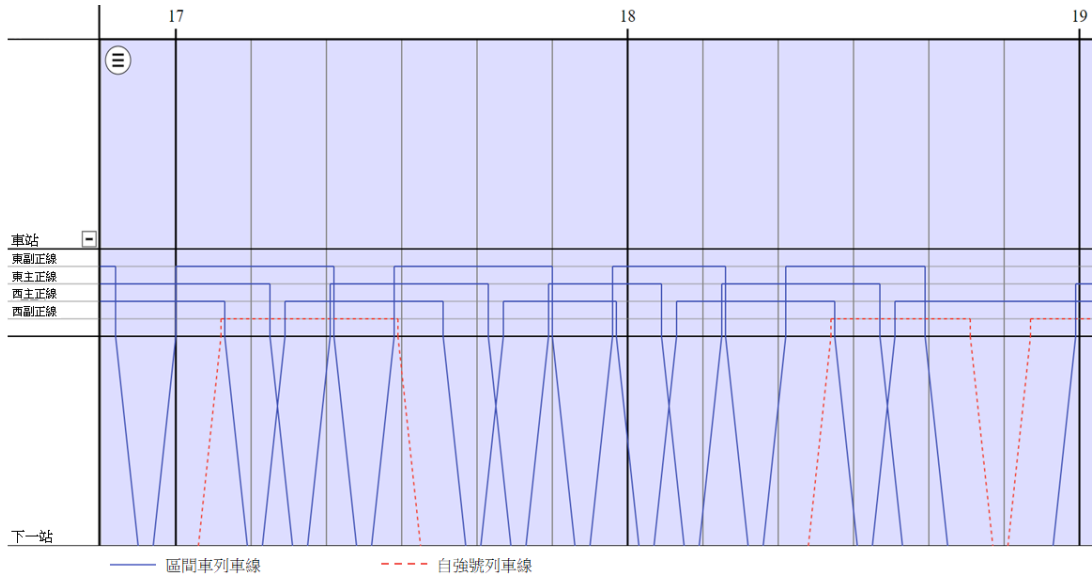
續行 先行	抵達 進路 a	抵達 進路 b	抵達 進路 c	抵達 進路 d	離開 進路 a	離開 進路 b	離開 進路 c	離開 進路 d
抵達進路 a	1380	360	360	360	-	30	-	-
抵達進路 b	360	1200	360	360	30	-	-	-
抵達進路 c	360	360	1200	360	30	30	-	30
抵達進路 d	360	360	360	1200	30	30	30	-
離開進路 a	480	480	480	480	1380	360	360	360
離開進路 b	480	480	480	480	360	1200	360	360
離開進路 c	-	-	480	480	360	360	1200	360
離開進路 d	-	-	480	480	360	360	360	1200

資料來源：本研究整理

4.2 場站容量分析結果

理論上，當模擬列車數足夠多時，系統會達到穩定狀態 (Steady State)，但也需要花費相當多的求解時間，因此，本研究設定 1000 列模擬列車數，使之能在合理的時間內獲得接近穩定狀態的結果，此外為了消除不同亂數種子的影響，使用 10 組不同的亂數種子進行 10 回合的分析之後，再取平均值，最後所求取的平均運轉時隔為 588.06 秒，場站容量為 6.12 列車/小時。

進一步將模式所模擬的列車抵達與離開場站之時間繪製成時空圖，如圖 15 所示，顯示本模式有根據輸入參數的設定來進行演算，自強號僅使用西副正線進出場站；而區間車則使用另外三股道進出場站，各列車於站內皆停靠了足夠的時間才離站，且列車之間沒有衝突，並保持足夠的號誌安全時距。



資料來源：本研究整理

圖 15 分析結果之時空圖片段

4.3 瓶頸原因與改善方向

為了探究造成本案例容量瓶頸之原因，本研究將模式中的各項參數作為自變數，以經濟學中的彈性 (Elasticity) 觀念進行初步探討，比較各項因素對場站容量的影響，其結果如圖 16 所示，其中 ε 之計算如下式，表示自變數由原值變動 $\pm 10\%$ 時，因變數變動的比率。

$$\varepsilon = \frac{\Delta y/y}{\Delta x/x} \quad (3)$$

式中：

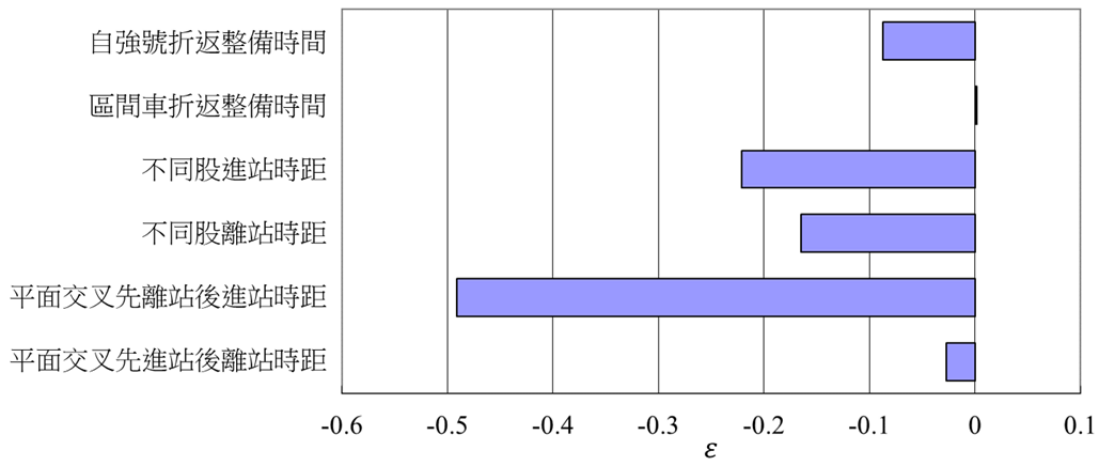
ε =彈性

x =自變數原值

Δx =自變數變化量

y =因變數原值

Δy =因變數變化量



資料來源：本研究整理

圖 16 影響因素比較圖

從圖 16 中可發現，對場站容量影響最大之因素為平面交叉先離站後進站的號誌安全時距，其次為不同股道進站和離站的號誌安全時距，再來則是自強號列車的折返整備時間，上述各項因素對場站容量的影響皆為負，故若要提高容量，可從減少號誌安全時距和折返整備時間著手。除上述因素之外，模式中影響容量的因素還有交通組成以及軌道佈置情形，故以下從號誌安全時距、折返整備時間、交通組成以及軌道佈置情形等方面分別進行討論。

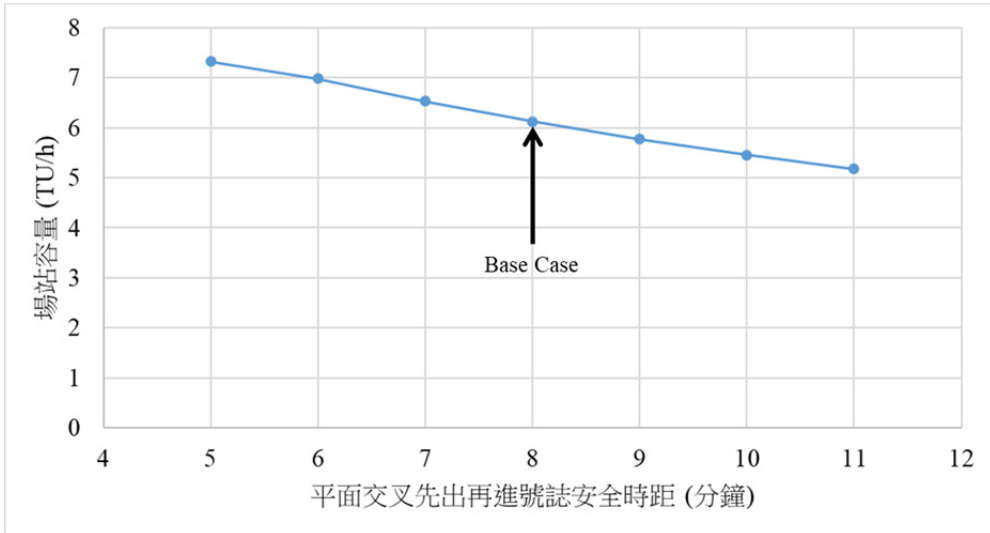
1. 號誌安全時距改善方面

根據臺鐵表示，基隆站因為站前橫渡線離車站較遠，且當三坑站下行方向有列車停靠時，也會影響基隆站列車出發，故號誌安全時距較長。若能調整橫渡線的設置位置，使其靠近基隆站；或者調整道岔號數，來提高列車過岔速限，這些作法都有有助於縮短號誌安全時距。根據敏感度分析的結果，如圖 17~圖 19 所示，顯示減少號誌安全時距可有效提升場站容量。

2. 折返整備時間改善方面

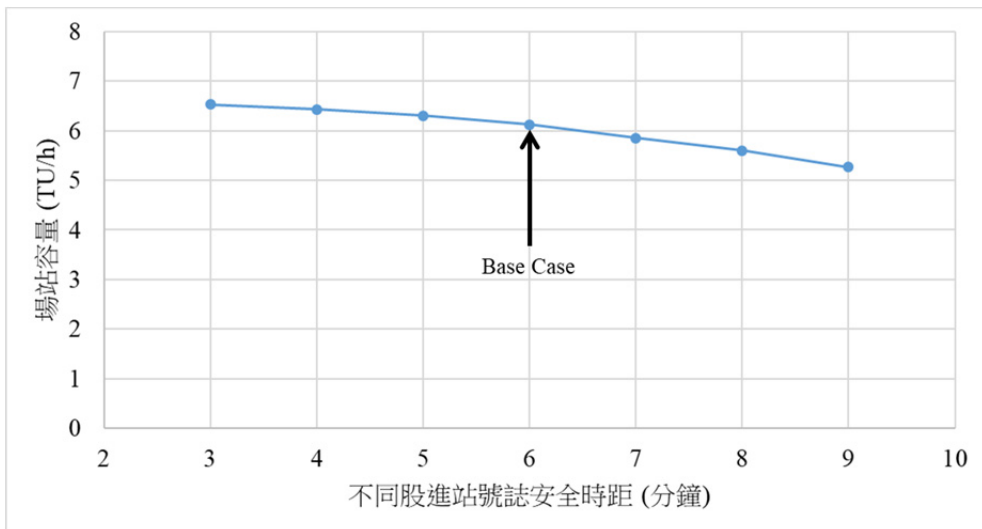
一般來說，列車折返整備包括車廂清潔、座位翻轉與垃圾運送等工作，這些工作皆可

藉由提高人員數量來縮短所需時間。本研究同樣以敏感度分析來計算自強號折返整備時間變化與場站容量之關係，其結果如圖 20 所示，圖中可看到減少自強號折返整備時間雖可改善容量，但效果並不顯著。



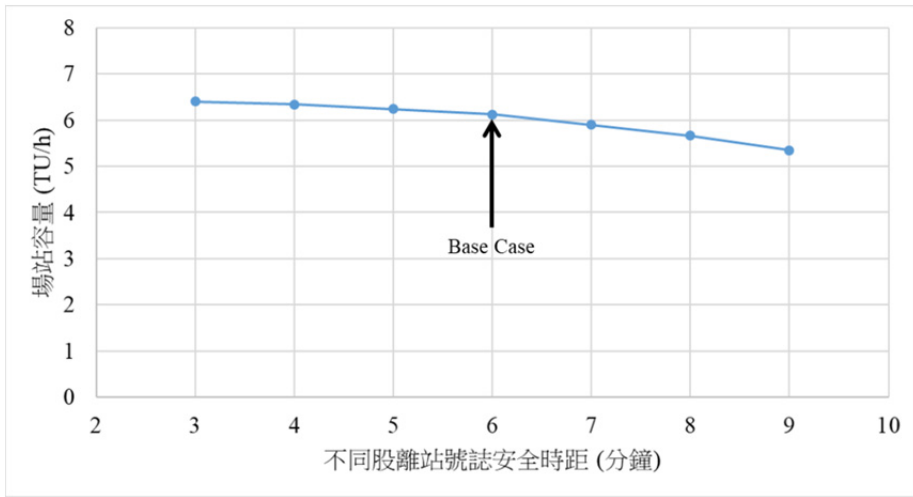
資料來源：本研究整理

圖 17 平面交叉先進站後離站時距對基隆站容量之影響



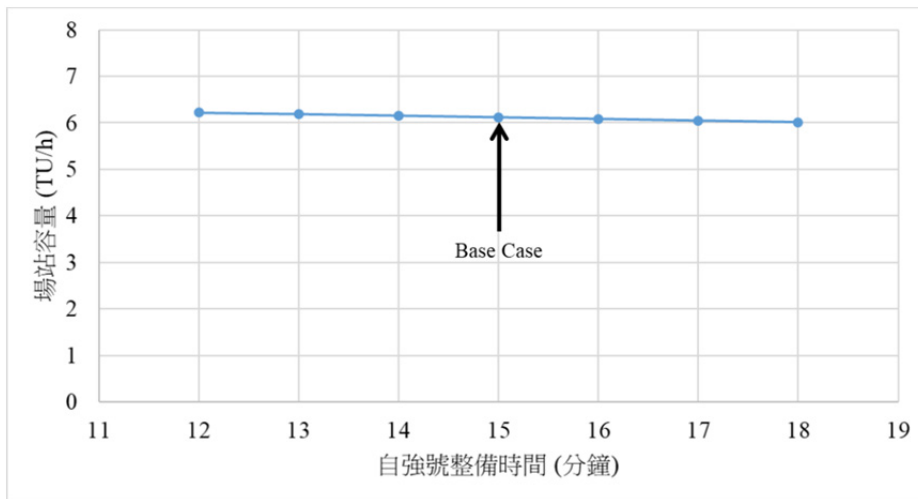
資料來源：本研究整理

圖 18 不同股道進站時距對基隆站容量之影響



資料來源：本研究整理

圖 19 不同股道離站時距對基隆站容量之影響

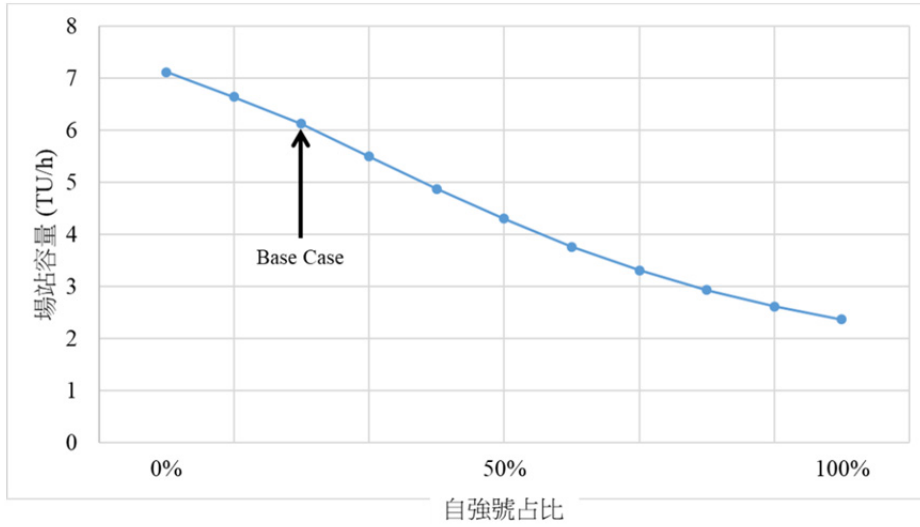


資料來源：本研究整理

圖 20 自強號整備時間對基隆站容量之影響

3. 交通組成改善方面

由於不同車種的速度不一、停站時間不同，對列車運轉造成干擾，因此交通組成較複雜時，通常容量會較低，反之則容量會較高。不過，本案例中，由於自強號的折返整備時間較長，且僅能使用一股道折返，故即便區間車占比為 0，亦即只有自強號時的容量較低，而隨著區間車的比例增加，容量有明顯的增加，如圖 21 所示。

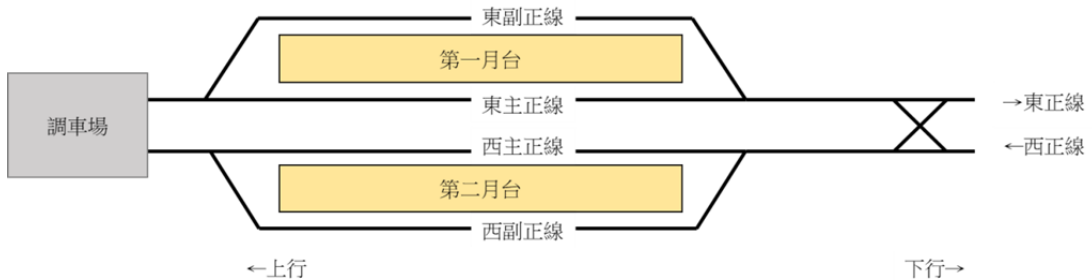


資料來源：本研究整理

圖 21 交通組成對基隆站容量之影響

4. 軌道佈置改善方面

倘若基隆站後方可設置調車場，如圖 22 所示，則能讓上行列車停靠西主、副正線後進入調車場；而下行列車可從調車場至東主、副正線始發，如此不僅可避免原先列車進出車站所產生的平面交叉，同時，列車可改為在調車場內進行整備，進而大幅減少站內停靠時間，能有效提升容量。為了分析如上所述之軌道佈置改善的情境，本模式各項參數均需要調整為如表 5~表 8 所示，在交通組成方面，維持自強號 20%與區間車 80%的比例，但分別改成一半列車以基隆為終點站，需停靠於站內 3 分鐘進行清車；另一半則以基隆為始發站，需停靠於站內 5 分鐘進行發車前準備。最後透過本模式求取此情境的平均運轉時隔為 396 秒，場站容量為 9.09 列車/小時，模擬結果的時空圖片段如圖 23 所示，與圖 15 相比可看到容量有顯著的改善。



資料來源：本研究整理

圖 22 基隆站軌道佈置改善

表 5 基隆站軌道佈置改善後的進路設定

進路名稱	進路起始端點	進路結束端點
抵達進路 a	西正線	站內西副正線
抵達進路 b	西正線	站內西主正線
抵達進路 c	調車場	站內東主正線
抵達進路 d	調車場	站內東副正線
離開進路 a	站內西副正線	調車場
離開進路 b	站內西主正線	調車場
離開進路 c	站內東主正線	東正線
離開進路 d	站內東副正線	東正線

資料來源：本研究整理

表 6 基隆站軌道佈置改善後的行駛路徑設定

行駛路徑名稱	抵達進路名稱	離開進路名稱
行駛路徑 A	抵達進路 a	離開進路 a
行駛路徑 B	抵達進路 b	離開進路 b
行駛路徑 C	抵達進路 c	離開進路 c
行駛路徑 D	抵達進路 d	離開進路 d

資料來源：本研究整理

表 7 基隆站軌道佈置改善後的交通組成與站內停靠時間設定

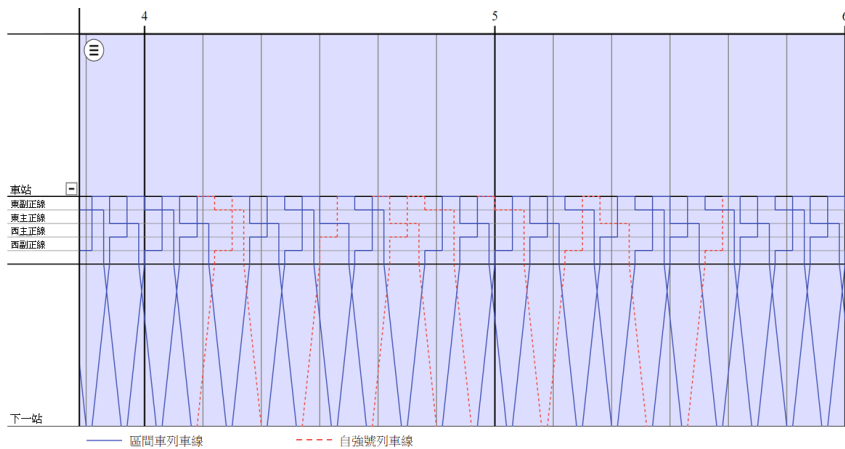
車種名稱	組成比例	行駛路徑	站內停靠時間
終點自強號	10%	行駛路徑 A、B	3 分鐘 (180 秒)
始發自強號	10%	行駛路徑 C、D	5 分鐘 (300 秒)
終點區間車	40%	行駛路徑 A、B	3 分鐘 (180 秒)
始發區間車	40%	行駛路徑 C、D	5 分鐘 (300 秒)

資料來源：本研究整理

表 8 基隆站軌道佈置改善後的號誌安全時距設定

續行 先行	抵達 進路 a	抵達 進路 b	抵達 進路 c	抵達 進路 d	離開 進路 a	離開 進路 b	離開 進路 c	離開 進路 d
抵達進路 a	540	360	-	-	-	-	-	-
抵達進路 b	360	540	-	-	-	-	-	-
抵達進路 c	-	-	660	360	-	-	-	-
抵達進路 d	-	-	360	660	-	-	-	-
離開進路 a	360	-	-	-	540	360	-	-
離開進路 b	-	360	-	-	360	540	-	-
離開進路 c	-	-	360	-	-	-	660	360
離開進路 d	-	-	-	360	-	-	360	660

資料來源：本研究整理



資料來源：本研究整理

圖 23 基隆站軌道佈置改善後的分析結果之時空圖片段

五、結論與建議

本研究發展了一套泛用的場站容量分析模式，除了能處理過去解析模式無法處理的多條衝突進路之複雜情況，也沒有過去模擬模式的前提假設，例如假設列車採一進一出一進的運轉方式，而且不像套裝模擬軟體需要諸多細節參數才能進行分析，例如在案例分析的 4.3 節中，本研究可快速根據新的軌道佈置來評估容量，而不需月臺長度、橫渡線位置等細節，便可分析比較場站的容量變化。

而根據臺鐵表示，以列車在號誌常綠下運轉為前提，基隆站每小時最多約可開行 6 列

車，而本模式評估出來的結果平均每小時 6.12 列車，顯示模式的計算結果與臺鐵的認知相符，具有一定的準確度，可供規劃或營運單位作為一個評估場站容量的工具。

除此之外，本研究所發展之模式還可用於研擬和評估容量改善方向。在基隆站案例中，透過彈性分析與敏感度分析可知若要改善容量，縮短號誌安全時距的效果最佳，其次為調整交通組成，最後為減少自強號折返整備時間。根據這些改善方向，可進一步探討其具體策略與效益，在縮短號誌安全時距方面，雖然以目前基隆站的路線條件，受到曲線與平交道的限制，實際上很難再讓站前的剪式橫渡線靠近基隆站，但未來可考慮調整路線線型，甚至是立體化，並且盡量使用 16 號道岔，來優化縮短號誌安全時距；而在減少自強號折返整備時間方面，除了投入人力之外，亦可精進整備作業流程，務求在不影響安全的前提下縮短整備所需時間，但其對容量提升效果有限，可能相對不具效益；至於調整交通組成方面，若排除區間車待避自強號的增停時間，實際上區間車與自強號運行時間差不多，因此增加區間車的比例，除了對於旅行時間的衝擊不大，區間車還比自強號能載運更多旅客，對運能的提升會有明顯幫助，短期來看，可能是較佳的做法。最後，為了展示本模式也能夠應用於有配置調車場之場站，在案例分析中假設了基隆站設有調車場的情境，顯示模式能夠針對軌道佈置變化來比較其容量差異，可供實務上在設計規劃時，須評估不同方案優劣之需求。

目前交通部運輸研究所開發的「傳統暨區域鐵路系統容量分析軟體」中，尚未有分析場站容量之功能，而以本研究所發展之模式為演算核心，將可開發相關功能，來協助專業人員能夠更有效率地進行容量評估，此外，容量分析軟體能計算號誌安全時距，是本模式的重要參數之一，兩者之間的整合是未來開發場站容量分析功能的重點。值得注意的是，現在用來計算時距的公式係以臺鐵三位式號誌系統為基礎，若要拓展應用範圍，需要發展能適用於各式號誌系統的號誌安全時距計算方法，建議可作為後續研究的方向之一。

過去可能因為缺乏適切的工具和方法，國內鐵道建設長期以來對於鐵道容量議題並不重視，但隨著交通部運輸研究所出版鐵道容量手冊與軟體，建議政府應在相關法規或制度中要求，在鐵道建設的可行性研究和綜合規劃階段，必須進行容量分析並經過審議，以避免在建設完成後無法提供預期之容量，有了足夠的容量，鐵道營運機構也才有空間透過各種管理機制，來善用其運能以創造收益。

參考文獻

1. 交通部運輸研究所，2019 年臺灣鐵道容量手冊，民國 109 年。
2. 朱泓宇，「傳統鐵路多軌化進出站時隔公式之研發與應用」，國立臺灣大學土木工程學系碩士論文，民國 103 年。
3. 陳佑昇，「以路徑組合為基礎之車站容量模式研發」，國立臺灣大學土木工程學系碩士論文，民國 111 年。
4. Kittelson & Associates, Inc., Parsons Brinckerhoff, KFH Group, Inc., Texas A&M

- Transportation Institute, Arup, *TCRP Report 165: Transit Capacity and Quality of Service Manual*, 3rd Ed., The National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, Washington, 2013.
5. Mussone, L. and Calvo, R. W., “An Analytical Approach to Calculate the Capacity of a Railway System”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 228, Iss. 1, 2013, pp.11-23.
 6. International Union of Railways (UIC), *UIC leaflet 406 Capacity*, 2nd Edition, UIC, Paris, 2013.
 7. Armstrong, J. and Preston, J., “Capacity Utilisation and Performance at Railway Stations”, *Journal of Rail Transport Planning and Management*, Vol. 7, Iss. 3, 2017, pp.187-205.
 8. Landex, A. and Jensen, L. W., “Measures for Track Complexity and Robustness of Operation at Stations”, *Journal of Rail Transport Planning and Management*, Vol. 3, Iss. 1-2, 2013, pp.22-35.
 9. Pascariu, B., Coviello, N. and D’Ariano, A., “Railway Freight Node Capacity Evaluation: a Timetable-Saturation Approach and its Application to the Novara Freight Terminal”, *Transportation Research Procedia*, Vol. 52, 2021, pp.155-162.
 10. Kianinejadoshah, A. and Ricci, S., “Comparative Application of Methods for the Combined Lines-nodes Capacity Assessment”, *International Journal of Transport Development and Integration*, Vol. 4, Iss. 3, 2020, pp.243-251.
 11. Potthoff G., *Verkehrsströmungslehre*, Transveb, Berlin, Germany, 1965.
 12. Corazza, G.R. and Musso, A., “La circolazione e gli impianti ferroviari. La verifica a lungo termine”, *Ingegneria Ferroviaria*, 1991, pp. 607–618.
 13. Malavasi, G., Molková, T., Ricci, S., Rotoli, F., “A Synthetic Approach to the Evaluation of the Carrying Capacity of Complex Railway Nodes”, *Journal of Rail Transport Planning and Management*, Vol. 4, Iss. 1-2, 2014, pp.28-42.
 14. Pahl, J., *Railway Operation and Control*, VTD Rail, USA, 2002.
 15. 黃笙玟、鍾志成、李崑育、賴勇成、張舜淵、劉昭榮，「複雜場站之容量分析模式」，中華民國運輸學會第 36 屆學術論文國際研討會論文集，第四冊，中華民國運輸學會，民國 110 年，頁 704-719。
 16. Pu, Y., *Capacity Analysis of the Union Station Rail Corridor using Integrated Rail and Pedestrian Simulation*, Thesis for the degree of Masters of Applied Science, Department of Civil Engineering, University of Toronto, 2017.

