

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

鐵路終端車站內列車調度及路徑指派問題之研究

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC92-2211-E-002-090-

執行期間：92年08月01日至93年10月31日

執行單位：國立臺灣大學土木工程學系暨研究所

計畫主持人：周義華

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 94 年 5 月 17 日

# 鐵路終端車站內列車調度及路徑指派問題之研究

期限：92/8/1~93/7/31

計畫編號：NSC92-2211-E-002-090

主持人：周義華 臺灣大學土木系教授

**一、中文摘要**（關鍵詞：鐵路終端車站、列車運行計畫、列車調度、基因演算法）

要維持鐵路系統營運的水準須制定鐵路列車運行計畫，包括：時刻運行計畫、軌道使用計畫、車輛排程計畫、乘務員排程計畫。雖然時刻運行計畫可排除列車於車站間之運行衝突，但此階段並不考量車站的容量限制，為了確保列車能依據時刻表準時進出車站，須進一步透過系統之調度原則與方法，考慮車站內列車調度及路徑指派的情形，安排各列車於車站內之移動路徑與其停等佔用軌道之時間，其目的在於防止列車於車站內發生運行衝突及確保列車能依時刻運行計畫運行。

目前國外有關車站內列車調度問題之研究多侷限於一般通過車站，且不考慮列車在車站內的調度路徑指派，然而在終端車站中，列車之調度與車場作業密不可分，車站與車場間之列車移動頻繁，因此本研究擬同時考慮終端車站內通過列車與進出車場列車之調度與路徑指派問題，在避免運行衝突，減少列車總延誤時間及增加軌道使用效率的前提下，以數學規劃中之節點包裹（Node Packing）模式構建路徑指派問題，此模式經過適當簡化後亦適用於一般通過車站之路徑指派問題；在模式求解方面，由於使用傳統正確解法之求解手續繁複，且

求解時間隨問題規模呈不確定之多項式方式遞增，因此本研究擬透過啟發式演算法中尋優解能力極佳之基因演算法來求取最適解。希望透過模式求解的程序，減少人工試誤所需時間，提供一個明確且高效率的解決方案，以利鐵路事業單位進行相關作業時參考。

經過本研究利用台鐵松山車站與南港客車場之實際資料進行實證後，發現具多種啟發式運算子之基因演算法求解品質極佳，而求解時間亦在合理可接受之範圍內，且本模式可透過不同目標層級之參數設定架構反映各種調度人員規劃時考慮之因素，有效滿足實際需求。

**英文摘要**（Keywords: railway terminal station, train operation planning, train routing, genetic algorithms）

Train operation planning includes Time Tabling, Train Routing, Vehicle Scheduling, and Train Driver Scheduling. Time Tabling neglects the detailed layout of the railway network within the railway stations. Therefore, it may happen that a timetable is feasible with respect to the railway network between the railway stations but turn out to be infeasible if one also considers the detailed layout of the railway network within the railway station. The aim of

Train Routing is to assist the planners in checking whether a timetable generated by Time Tabling is feasible with respect to the routing of the trains through the railway station.

Most studies of Routing Trains through railway station considered only single station or yard. Since the routing of the trains within the railway yard influences the routing possibilities for the terminal station, a simultaneous determination for the routing of terminal station and yard may be desirable. At the prerequisite of minimum train delay and maximum track usage, we formulate the problem by “weighted node packing problem”. This formulation can also be used on intermediate station through modification. In order to solve the problem efficiently, we adopt the genetic algorithms rather than traditional optimization algorithm. By providing this problem-solving procedure, we seek to reduce the heavy burden of the planners.

Through the empirical study, it was found that the solutions solved by genetic algorithms with heuristic operators had good qualities. In addition, to adjust the parameters of the objective function can also reflect the practical constraint and demand.

## 二、研究動機及目的

軌道使用計畫的功用在確保列車能依據預定的時刻運行計畫運行，但相較於鐵路列車運行計畫中其他主題

，如：時刻運行計畫、乘務員排程計畫等，車站內列車調度及路徑指派問題的相關研究仍相當有限，且目前製作軌道使用計畫須依賴極富經驗的調度員經由長時間的試誤法才能完成，無法在有限時間內依據需求變化快速調整列車營運時刻，導致供需間無法密切配合，亦即不能將鐵路的運能有效運用。因此，構建一個同時處理車站內列車調度及路徑指派問題之模式及尋求高效率的求解方法，為本研究之核心。

基於以上說明，本研究之目的為透過構建車站內列車調度及路徑指派問題模式，提升製作軌道使用計畫的效率與品質，以供相關規劃營運單位參考。

目前的鐵路事業單位中，台北捷運之車站內軌道配置為雙向單線設計，僅能採單一車種且每站皆停的營運方式，正常情況下不會安排同向列車在同一車站內追越，因此製作軌道使用計畫較容易；而尚未營運的台灣高鐵，其一般通過站的軌道配置尚屬單純且亦僅有單一車種，但在終端車站內之軌道佈設及車輛運用關係均較捷運系統複雜，因此軌道使用計畫的製作不僅必要且較為費時；相對而言，台鐵車站的軌道配置變化及列車種類最多，採用試誤法製作終端車站之軌道使用計畫難度極高且亦無從評估計畫之優劣與效能，導致其僅能依據既有的使用計畫樣本進行小幅度的修改而無力進行全面性的改點計畫，因此本研究希望能藉由建立數學模式並採用適當的求解方法，使車站軌道使用計畫能在合理時間內完成，並達到提升整體鐵路列車運行效能的目標。

### 三、模式構建及求解演算法

#### 3.1 軌道指派數學模式

本研究利用數學規劃之節點包裹模式構建終端車站內列車調度問題，此問題中每一列車  $t$  與其所有可能路徑  $f$  的組合均產生一決策變數  $X_{t,f}$ ，此變數在節點包裹模式中以節點  $V$  表示。

本研究建立之數學模式如下：

$$\text{Maximize} \\ Z = \sum_{t \in T} \sum_{f \in F_t} \rho_{t,f} X_{t,f} \quad (1)$$

subject to

$$\sum_{f \in F_t^{si}} X_{t,f} \leq 1 \quad \forall t \in T \quad (2)$$

$$\sum_{f \in F_t^p} X_{t,f} \leq 1 \quad \forall t \in T \quad (3)$$

$$\sum_{f \in F_t^{so}} X_{t,f} \leq 1 \quad \forall t \in T \quad (4)$$

$$\sum_{f \in F_t^{yi}} X_{t,f} \leq 1 \quad \forall t \in T^s \quad (5)$$

$$\sum_{f \in F_t^{yo}} X_{t,f} \leq 1 \quad \forall t \in T^s \quad (6)$$

$$X_{t,f} + X_{t',f'} \leq 1 \\ \forall t, t' \in T; f \in F_t; f' \in F_{t'}; (f, f') \notin F_{t,t'} \quad (7)$$

$$X_{t,f} + X_{t,f'} \leq 1 \\ \forall t \in T; f \in F_t; f' \in F_t; (f, f') \notin F_{t,t} \quad (8)$$

$$X_{t,f} \in \{0,1\} \quad \forall t \in T; f \in F_t \quad (9)$$

此一模式的目標式 (1) 為求取可能路徑與其路徑權重乘積的總和最大，也可說是要選出總權重值最高的路徑組合。限制式 (2) 代表每一列車僅能選擇一條可能進入車站路徑，(3) 式代表每一列車僅能選擇一條可能停靠月台路徑，(4) 式代表每一列車僅能選擇一條可能離開車站路徑，(5) 式代表每一列車僅能選擇一條離開車站進入車場的可能路徑，(6) 式代表每一列車僅能選擇一條離開車場進入車站的可能路徑。(7) 式則代表兩不同列車之兩可能路徑相衝突，最多僅能選取一個可能路徑。(8) 式表示同一列車之可能路徑必須遵守完整路徑條件，如列車選擇停靠 A 月台之進站路徑，則不得選取其他停靠月台的可能路徑，可將限制表為

$$X_{t,f} + \sum_{f'} X_{t,f'} \leq 1, \quad f \in F_t^{si}, f' \in F_t^p,$$

以滿足此一要求。最後，(9) 式表示列車  $t$  是否行駛可能路徑  $f$ ，若是，其值為 1，否則為 0。

#### 3.2 求解演算法設計

基因演算法屬於近似演算法，由 Holland 於 1975 年所提出，一般而言，傳統的演算法由一個點開始，然後慢慢逼近最佳解，而基因演算法把問題的解表成類似基因的型態，且從很多點出發，藉著這些點的互相競爭，好的解會留下來並且可以重組產生後代，壞的點則被淘汰，演算過程各步驟依序說明如下：

##### 1. 編碼方式

本研究採取的染色體編碼方式為二元編碼法，一個染色體  $P_k$  中有  $n$  個基因，表示節點包裹圖形共有  $n$  個節點，亦即  $P_k = (P_{k,1}, P_{k,2}, P_{k,3}, \dots, P_{k,n})$

,  $k$  表示染色體的數目, 若節點  $j$  為第  $k$  個染色體  $P_k$  之解, 則  $P_{k,j} = 1$ , 否則為 0。

## 2. 適合度

在基因演算法中, 適合度表示每一個體之優劣。在節點包裹問題中, 個體  $k$  之適合度即為目標函數之值, 亦即

$$f_k^f = \sum_{j=1}^n c_j P_{k,j} \quad (10)$$

其中  $c_j$  為節點  $P_{k,j}$  之權重。

## 3. 群體選擇 (複製)

本步驟依據適合度之計算而得出群體被複製進入下一代的機率。主要常用的方法包括競賽法 (Tournament) 與輪盤法 (Roulette Wheel), 輪盤法又可分為權重法與排序法兩種, 本研究採用輪盤法, 亦即適合度越高的個體被選入下一代的機會越高, 若以適合度之差為權重, 則其第  $k$  個個體被選擇機率表示為

$$p_k = \frac{f_k - f_{\min}}{\sum_{i=1}^{\mu} (f_i - f_{\min})} \quad (11)$$

其中  $f_k$  表示第  $k$  個個體在數目為  $\mu$  之群體中之絕對適合度,  $f_{\min}$  為群體中適合度最小之值。

若以個體適合度排序位置之差為權重, 則第  $k$  個個體被選擇機率表示為

$$p_k = \frac{N_k - N_{\min}}{\sum_{i=1}^{\mu} (N_i - N_{\min})} \quad (12)$$

其中  $N_k$  表示第  $k$  個個體之排序位置,  $N_{\min}$  為適合度最小個體之排序位置。

第三種選擇方式依據個體排序位

置之差的平方為權重

$$p_k = \frac{(N_k - N_{\min})^2}{\sum_{i=1}^{\mu} (N_i - N_{\min})^2} \quad (13)$$

## 4. 交配

本研究採用 Beasley 與 Chu[17] 提出之融合運算子為交配之方法, 此法同時考慮染色體之結構與適合度, 並可一次產生兩個子代, 第  $t$  個子代以向量  $C_t = (C_{j,t})$  表示, 其中  $C_{j,t}$  為 0—1 整數,  $j=1, \Lambda, n$ , 交配過程如下:

(1) 若  $P_{j,1} = P_{j,2}$  則  $C_{j,1} = C_{j,2} = P_{j,1}$

(2) 若  $P_{j,1} \neq P_{j,2}$ , 則

a. 隨機產生  $k$  與  $k'$  之值, 其值為 1 或 2, 且  $k \neq k'$

b. 有  $p_k = \frac{f_k^f}{f_k^f + f_{k'}^f}$  的機率

$C_{j,1} = P_{j,k}$ , 而有  $1 - p_k$  的機率

$C_{j,1} = P_{j,k'}$

c. 有  $p_{k'} = \frac{f_{k'}^f}{f_k^f + f_{k'}^f}$  的機率

$C_{j,2} = P_{j,k'}$ , 而有  $1 - p_{k'}$  的機率

$C_{j,2} = P_{j,k}$

## 5. 啟發可行運算子 (heuristic-feasibility operation)

在求解節點包裹問題時, 經過染色體交配的步驟後可能已經產生許多非可行解個體, 若再執行傳統之突變則與交配所產生之效用類似, 因此本步驟採用啟發可行運算子的概念來替代傳統之基因突變, 主要理由即為使

交配後之染色體在經過修復後仍為可行解，避免無效的搜尋，此一演算機制之步驟如下：

(1) 將求解變數（基因）依權重大而小依序排列後，選擇交配後產生之子代  $C_{j,t}, j=1,\Lambda,n$ 。

(2) 設定集合

$$S = \{j \mid C_{j,t} = 1, j=1,\Lambda,n\}.$$

(3) 此子代之解分別代入每一限制條件（列），若  $\sum_{j \in S} a_{ij} > 1$ ，將第  $j$  個基因刪除，其中

$$j = \max\{j \mid a_{ij} = 1, j=1,\Lambda,n\} \text{ 且 } j \in S,$$

直到滿足所有限制條件為止。

(4) 對不在集合  $S$  中之  $j$ ，將其依序由大至小逐一檢視，若將其納入集合  $S$  中而仍為可行解，即納入集合後不違反所有限制條件，則集合  $S = S \cup \{j\}$ 。

(5) 計算此子代之適合度，並改寫子代染色體，若  $j \in S$  則  $C_{j,t} = 1$ ，否則  $C_{j,t} = 0$ 。

## 6. 取代

新的子代產生後，本研究採用漸進式替代法（steady-state replacement），將子代中適合度較高的個體取代前一代中適合度較低的個體，此法之優點在於演化的過程當中，優良的個體不會隨著自然演化的過程而消失，提高搜尋可能最佳解之機率。選出子代中適合度高的個體後仍須注意是否有重複的個體出現，因為群體中過多重複的個體將導致提早收斂的情況發生

，因此在取代前須檢視染色體排列是否相同，若為重複個體則不予取代。

## 7. 產生起始解

本研究採用啟發運算子產生起始解，其理由與突變時所採用之啟發可行運算子相同，起始群體集合以符號

$S^p$  表示，起始個體表示為  $S_t$ ，每一

起始個體產生之主要步驟如下：

(1) 設定起始解  $S_t = \emptyset$ ，集合

$UJ = \{1,\Lambda,n\}$ ，集合  $UI = \{1,\Lambda,m\}$ 。

(2) 隨機選取第  $k$  欄， $k \in UJ$ ，將解  $S_t$  之第  $k$  欄之值設定為 1，並將第  $k$  欄加入  $S_t$  之集合中， $S_t = S_t \cup \{k\}$ 。

(3) 分別計算次集合

$$\varepsilon_1 = \{i \mid a_{ik} = 1, i \in UI\} \text{ 及}$$

$$\varepsilon_2 = \{j \mid a_{jk} = 1, j \in UJ \setminus \{k\}\}.$$

(4) 改寫集合  $UI = UI \setminus \varepsilon_1$  及

$UJ = UJ \setminus \varepsilon_2 \setminus \{k\}$ ，回到步驟二，直到  $UJ = \emptyset$ 。

當每個新的起始個體產生後，須與已產生之個體相比較，若已重複則重新產生新起始個體，直到起始個體數達到群體數目為止。

## 四、模式實證與分析

### 4.1 模式輸入資料

本研究以台鐵松山車站為研究對象，其範圍為基隆端起 21 公里 239 公尺處至 22 公里 700 公尺處為止，由於非尖峰時刻之通過列車數目較少，指派規模較小，因此本研究採用尖峰日尖峰小時上午八點至九點之時段內通過之列車為樣本，此一時段內，經由松山車站之上下行列車總計為 22 個車次。

### 4.2 基因演算法參數敏改度測試

本研究設計之基因演算法考慮的參數包括個體選擇型態、交配機率、群體大小三類，選擇型態與交配機率各有三種預設參數、群體大小有兩種預設參數。若逐一測試不同參數之組合，則測試之實驗組合將達  $3 \times 2 \times 3$  種，為了節省測試時間，本研究所採用之方法為設定一測試基準，在此基準下逐一測試每種待測參數設定值的優劣，為避免測試之偏誤，每種參數設定實驗均執行 10 次後取其結果之平均值。在參數決定的先後次序方面，首先決定影響演算效率較大之交配機率，接著依序決定與演算品質關係較大之群體大小與個體選擇方式型態。適合度函數以 (10) 式為計算標準，每個變數的權重均假設為 5。

綜合以上測試結果，本研究之基因演算法參數設定如下：

- 群體大小：200
- 演化代數：100
- 選擇型態：Roulette wheel by rank
- 交配型態：Fusion operator
- 交配機率：1.0
- 世代替換法則：Steady-state approach

#### 4.3 決策變數權重選擇與分析

模式決策變數權重之安排依據求解之目標層級架構而定，本研究設定之目標層級依序為：

1. 依據預定之時刻運行計畫能指派最多的列車運行路徑。
2. 若無法按照預計時刻表安排所有列車之可行運行路徑則允許調整部分列車之抵達或出發時間，且儘量縮減與預定時刻計畫的差距。
3. 在指派最大數目列車之運行路徑下，選擇列車較偏好之路徑。

為驗證本模式及演算法在前述目標架構下之求解效率，設定實證之情境如表 1，並得實證結果如下：

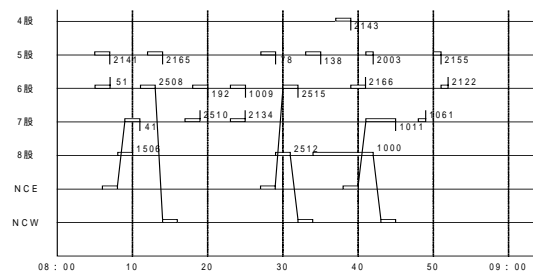
表 1 實證情境設定

情境	權重設定依據		
	路徑偏好	列車等級	延誤時間
情境1	✓	×	×
情境2	✓	✓	×
情境3	✓	✓	✓

##### 4.3.1 情境 1

此情境僅賦予每一路徑不同之權重，亦即每一列車選擇路徑之權重不因列車等級而有差異，本情境中可行解並非唯一，為便於呈現結果，挑選其中一個列車路徑指派之可行解繪製為表 2 之軌道佔用表。

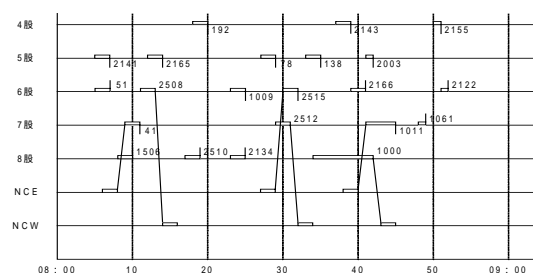
表 2 情境 1 之軌道佔用表



##### 4.3.2 情境 2

此情境之路徑偏好權重依據列車等級而有不同，在實際進行列車調度作業與路徑指派作業時，等級較高之列車與等級較低列車同時運行時具有優先指派較佳路徑之權。本情境所得之可行解亦非唯一，挑選可行解其中之一繪製軌道佔用表如表 3。

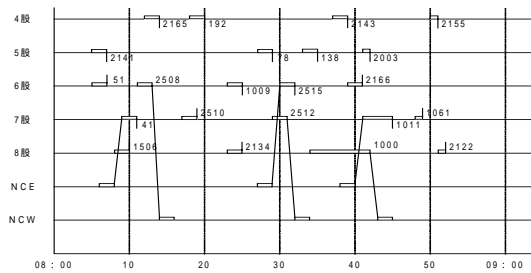
表 3 情境 2 之軌道佔用表



### 4.3.3 情境 3

本情境除包含前兩情境考慮之因素外，尚加入列車延誤時間之考量，在此情境下，允許調整抵達、駛離時間之列車對無延誤時間路徑之偏好值須較有延誤時間路徑之偏好值大。在採用改良式貪婪修補運算子所得之可行解中，任意挑選其中一個可行解繪製軌道佔用表 4。

表 4 情境 3 之軌道佔用表



### 4.3.4 現況分析

在情境分析結果與現況比較方面，由於情境 3 之設定僅對具延誤時間之列車進站、月台、離站路徑折減其權重值，此部分列車路徑權重改變僅為權重比例上之縮放而無相對權重之改變，因此僅須針對情境 1 與情境 2 所得之結果與實際觀察資料進行分析，觀察之資料為 92 年 4 月 26 日松山車站之軌道使用情況。將每種情境與實際情況之每小時月台軌道列車停靠數以百分比表示，繪製成圖 1，由圖

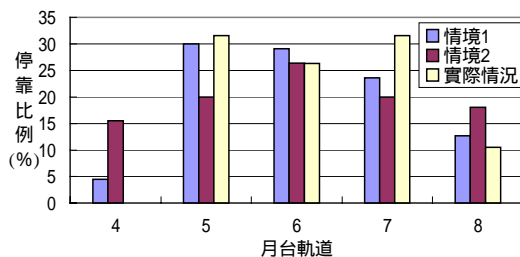


圖 1 月台軌道使用狀況比較

可知，目前的實際調度情況與情境 1 假設之偏好條件所得較類似，主要列

車停靠的月台集中在月台軌道 5、6、7，因此可知台鐵目前的調度原則為在不妨礙列車運行安全的前提下，依據路徑須橫渡之路徑多寡安排列車在車站內之運行路徑。

## 五、結論與建議

### 5.1 結論

1. 在終端車站內軌道佈設較一般通過車站複雜，且列車調度情形頻繁，任一不當指派結果可能產生連鎖效應而影響其他列車之運行，人工試誤方法極難在短時間得到最佳之軌道使用計畫，因而降低車站內月台軌道之使用效率。
2. 衡量本研究之規劃層級定位與不同方法之優劣，本研究選定數學規劃中之節點包裹模式定式，此模式屬於組合最佳化問題，可適切反映問題之限制與目標，有效滿足實務需求。
3. 本研究之模式除包含通過列車之路徑指派之外，尚考慮終端車站之到開列車進出車場之路徑指派，以使終端車站內之列車路徑指派更貼近實際情況。
4. 本研究將模式延伸為除可依據列車預定時刻表產生列車的可能路徑外，尚允許列車在不改變列車到站離站先後次序之前提下調整列車進站、離站時間以產生有延誤時間之列車運行路徑，亦即本模式可求得在允許之延誤時間範圍內之最大列車路徑指派數目。
5. 在求解階段，考慮此類問題具 NP-hard 特性，本研究利用基因演算法求解，經由實例驗證後可知演算結



- 果表現良好，可在短時間內求得最適解。
6. 經測試後可知在本問題中基因演算法之參數設定值對演算效果之影響如下：
    - (1) 交配機率：交配機率越大則演算效率越高，求解之穩定度亦較佳。
    - (2) 選擇型態：群體選擇型態之演算表現以相對排序位置選擇權重最佳。主要原因為此一選擇型態可兼顧群體中之個體選擇機率又不至於使搜尋過早收斂於區域最佳解。
    - (3) 群體大小與演化代數：群體數目越大則演算品質較佳，但群體數目若太大則將增加演算及收斂時間，且無法凸顯搜尋機制之優劣，因此必須經由測試取得合理的設定值。
  7. 比較台鐵松山車站內之實際列車路徑指派結果與本研究所假設之情境條件所得，目前台鐵松山車站之路徑指派原則為在不造成列車運行衝突之前提下，不考慮列車等級，僅依靠運行路徑之偏好程度而定。
  8. 在實務上本模式可透過不同之目標架構調整合理之參數設定值大小，使路徑指派之結果能有效反映實際調度需求，此外，透過小幅度的修改後本模式亦可運用於一般之中間車站之路徑指派問題。
- ### 5.2 建議
1. 使用基因演算法求解組合最佳化問題仍有許多值得嘗試之技巧，而透過更精密的參數設定組合測試亦有機會使求解之效率與品質再提升。
  2. 在啟發式演算法當中尚有其他多種演算法則，後續研究可發展其他演算法則以比較不同啟發式演算法對節點包裹模式之求解情形。
  3. 本研究現階段僅考慮營運單位在操作層面之需求，因此尚可進一步考慮服務層面之因素，諸如納入旅客步行距離，或者乘客轉乘時間等因素來評估列車路徑指派結果之優劣。

## 六、參考文獻

1. 周義華，運輸工程，第五版，鼎漢工程顧問公司，民國 90 年。
2. 張有恆，運輸學，華泰書局，民國 82 年。
3. Assad, A.A., "Modelling of Rail Networks: Toward a Routing/Make up Model," *Transportation Research* 14B (1980a), PP.101-114.
4. Odijk, M. A., "Sensitivity Analysis of a Railway Station Track Layout with respect to a Given Timetable," *European Journal of Operational Research* 112 (1999), PP.517-530.
5. Powell, S., and Wong, H. Y., "A Deterministic Approach to Evaluating Transport Infrastructure at a Terminus," *Transportation Research* 34A (2000), PP.287-302.
6. Szpigel, B., "Optimal Train Scheduling on a Single Track Railway," *Operational Research* 72 (1972), PP.343-352.
7. Jovanovic, D., and Harker, P. T. "Tactical Scheduling of Rail Operations: the SCANI System,"

- Transportation Science 25-1 ( 1991 ) ,  
PP.46-64.
8. Kraay, D., Harker, P. T. and Chen, B.  
“ Optimal Pacing of Trains in Freight  
Railroads : Model Formulation and  
Solution, ” Decision Sciences  
Working Paper 88-03-03, Decision  
Sciences Department, The Wharton  
School, University of Pennsylvania,  
Philadelphia, ( 1988 ) .
  9. Carey, M., “ A Model and Strategy  
for Train Pathing with Choice of  
Lines, Platforms, and Routes, ”  
Transportation Research 28B ( 1994  
 ) , PP.333-353.
  10. Larroche, Y., Moulin, R., and  
Gauyacq, D., “ SEPIA : A Real-  
Time Expert System That Automates  
Train Route Management, ” Control  
Engineering Practice 4/1 ( 1996 )  
,PP.27-34.
  11. Roanes-Lozano, E., Roanes-  
Macias, E., and Laita, L. M., “ A  
Computer Algebra Approach to the  
Design of Routes and the Study of  
their Compatibility in a Railway  
Interlocking, ” Mathematics and  
Computers in Simulation 58 ( 2002 )  
,PP.203-214.
  12. Zwaneveld, P. J., Kroon, L. G., and  
Hoesel, S. P. M., “ Routing Trains  
through a Railway Station Based on a  
Node Packing Model, ” European  
Journal of Operational Research 128  
( 2000 ) ,PP.14-33.
  13. Kroon, L. G., Romeijn, H. E., and  
Zwaneveld, P. J., “ Routing Trains  
through Railway Stations :  
Complexity Issues, ” European  
Journal of Operational Research 98 ( 1997 ) ,PP.485-498.
  14. Tomii, N., Zhou, L. J., and  
Fukumura, N., “ An Automatic  
Station Shunting Scheduling, ”  
Paper presented at World Congress on  
Rail Research, ( 1999 ) .
  15. Arkin, E. M., and Silverberg, E. B.,  
“ Scheduling Jobs with Fixed Start  
and End Times, ” Discrete Applied  
Mathematics 18 ( 1987 ) ,PP.1-8.
  16. Hifi, M., “ A Genetic Algorithms-  
Based Heuristic for Solving the  
Weighted Maximum Set and Some  
Equivalent Problems, ” Journal of the  
Operational Research Society 48 ( 1997 ) ,PP.612-622.
  17. Beasley, J. E., and Chu, P. C., “ A  
Genetic Algorithm for the Set  
Covering Problem, ” European  
Journal of Operational Research 94 ( 1996 ) ,PP.392-404.
  18. Erick, C., “ Efficient and Accurate  
Parallel Genetic Algorithms, ”  
Kluwer Academic Publishers, ( 2000  
 ) .
  19. Lawrence, D., “ Handbook of  
Genetic Algorithms, ” Van Nostrand  
Reinhold, ( 1991 ) .