

路線貨運業內部營運規劃之研究

LINE-HUAL OPERATIONAL PLANNING OF TIME-DEFINITE COMMON CARRIERS

林正章 Cheng-Chang Lin¹

吳俊霖 Jin-Lin Wu²

(90 年 8 月 15 日收稿，90 年 11 月 8 日第一次修改，90 年 12 月 5 日

第二次修改，91 年 8 月 8 日定稿)

摘 要

國內路線貨運業者公告費率，收攬零擔貨物，於時效內由托運者送達收貨者。業者內部營運計畫，在托運者時效性要求與業者內部營運作業限制下，規劃貨物路徑、均衡的貨櫃指派，以及班車路線與班表，以達到總營運成本的最小化。實務界以層級式分別規劃求解三個相互影響的子問題。在單一貨櫃型態條件下，本研究構建一營運規劃模式整合貨物排程與均衡貨櫃之班車排程排班問題。同時，提出一分解但逐步回饋之啟發式演算法，以「單一路徑限制之貨物排程模組」求解貨物排程子問題，再以「班車路線調整模組」求解貨櫃均衡之班車排程排班子問題，相互回饋擬定區域性最適營運計畫。最後，以國內第三大路線貨物業者的現行班車路線為起始解，進行實證測試。結果顯示逐步回饋啟發式較層級分解啟發式演算法，能獲取較小的班車車隊規模。同時，以司機「工作時間」為班車選擇策略，較「承載率」之策略，更具營運成本效益。

關鍵詞：路線貨運業；軸輻式網路；貨物排程問題；班車排程排班問題

-
1. 國立成功大學交通管理科學系教授(聯絡地址為 701 台南市大學路 1 號成功大學交通管理科學系；電話：06-2757575 分機 53240)。
 2. 國立成功大學交通管理科學研究所碩士班。

ABSTRACT

Time-definite common carriers announce tariff and provide time-guaranteed delivery service for small shipment shippers. The line-haul operational planning determines freight routes, balanced trailer movements, and feeder routes and schedules. Even though they are mutually interactive, in practice, they are solved sequentially. In this research, we proposed an integrated model for the line-haul operational planning problem. It simultaneously determines freight paths, balanced trailer network, and feeder routes and schedules while meeting the service commitment and operational restrictions, so that the total operating cost keeps to the minimum. We decomposed the problem into two sub-problems, freight routing and trailer-balanced feeder routing and scheduling, with a built-in iterative scheme to realize their mutual impacts. We used the third largest common carrier in Taiwan for numerical testing. The result shows that the integrated model results a small feeder fleet rather than solving two sub-problems sequentially. Furthermore, the on-duty strategy outperforms the load utilization strategy in the selection of feeder schedules.

Key Words: *Time-definite common carrier; Hub-and-spoke network; Freight routing; Feeder routing and scheduling*

一、前 言

路線貨運業者以密集的集配營業所與地理區位中樞的轉運中繼站(國內又稱大型營業所)，再配合大規模的長程運輸(國內稱班車)與短程集配車隊，提供戶對戶時效性小件零擔貨物服務。站所與車隊構建成業者整體運輸網路，按功能又細分為屬內部站所間貨物分類、轉運與運輸之內部營運網路(line-haul operations network)；以及至顧客處收、送貨的外部服務網路(service network)。歐美因地廣人稀，營業站所密度低、相距遠，因此內部營運網路採純軸輻式網路結構(pure hub-and-spoke network)。軸輻式網路透過中繼站組裝轉運，一方面減少空車的里程數^[1]；另一方面，減少未滿整車的直達運輸，以減少轉運成本的增加，獲取運輸成本以至總營運成本的降低^[2]。

業者內部營運計畫(operational planning)是在起迄貨量確定下，於運送時效承諾內，規劃貨物運送路徑，指派進出各站所均衡的適宜貨櫃(國內實務界稱車廂)，以及安排適量的班車路線及時刻表，達到總營運總成本的最小化。因而形成三個營運規劃子問題。(1)貨物排程子問題(freight routing problem)是在站所容量，以及各站所任一迄點的所有貨件，皆必須運送至至多一個站所進行處理等限制下，以貨物處理與運輸成本的最小化，規劃所有起迄對各自的單一貨物路徑^[3]。(2)貨櫃型態選擇與均衡子問題

(trailer assignment and balancing problem)則是以貨櫃固定成本與空櫃運輸成本最小化，指派適宜且進出各站所均衡的各式貨櫃，運送站所間指派的貨量^[4]。(3)班車排程排班子問題(feeder routing and scheduling problem)是在司機工作法令規範下，擬定最適的班車路線與班表，達到班車固定成本與運輸成本的最小化^[5,6]。

為簡化規劃困難度，業者通常以層級式，依次求解內部營運規劃之三個子問題。然而貨物排程以及站所貨櫃型態與均衡兩子問題相互影響，相互整合形成載運規劃(load planning)。Leung 等^[7]將載運規劃問題，分解成無相互回饋的：(1)營業所起迄對指派至中繼站起迄對之指派問題，以及(2)中繼站起迄對間的多元商品流量問題。Lin^[8]則提出 ϵ 差距的隱約窮舉法(implicit enumeration with ϵ -optimality)考慮各模組間相互之影響，整合求解，且當 ϵ 設為零時，更可求解獲得最佳之營運計畫。

反觀國內地小人稠，營業所密集，站所間距離短；同時，為降低非機械化高成本的轉運作業，業者除南北或東西距離較長遠的貨件，規劃經由中繼站所轉運外，多規劃營業站所間貨件直達。但為兼顧直達班車的承載率，業者要求長程班車沿途停靠營業所進行貨物裝卸，如此形成國內獨特的沿途裝卸軸輻式網路(hub-and-spoke network with stopovers and center directs)^[9-11]。所謂沿途裝卸作業是當班車到達站所時，必須卸下到著或轉運貨件，留置其餘貨件在班車內，並一併裝上發送貨件。因此必須同時規劃貨物站所(freight path)與貨物被載運(freight carrying path)兩種路徑(見第二節的範例)。然而純軸輻式網路的作業方式，班車只能行駛於營業所與中繼站間、或中繼站與中繼站間，且當班車到達任一站所時，所有承運貨件皆必須卸下，如此貨物站所路徑亦即是貨物被載運路徑。

國內內部營運規劃的相關研究，多著重於貨物排程子問題。沿途裝卸營運作業之貨物排程子問題^[11]被定義為在站所容量，及各站所任一迄點的所有貨件，至多只能被運送至一個單一站所進行處理等限制下，以貨物處理與運輸成本最小化，規劃所有起迄對的單一貨物站所路徑。然而任一起迄對的貨量，得在單一貨物站所路徑上，任兩站所間，指派至至多兩部的班車路線，稱之為貨物被載運路徑。林正章^[11]設計一個具站所容量限制的沿途裝卸軸輻式網路，能兼具沿途裝載與中繼轉運作業特性，並提出分解啟發式演算法進行求解。作者列舉最具經濟效益的貨物站所路徑，得以形成一局部性可行解區間，並以窮舉法演算法(complete enumeration)，決定任一起迄對之單一貨物站所路徑，接著以懲罰函數法(penalty function)，將所有起迄對的需求量，分派至單一貨物站所路徑上至多兩條的貨物被載運路徑。

本研究以國內沿途裝載軸輻式網路為架構，整合貨物排程與貨櫃均衡之班車排程排班子問題，形成一完整之短期內部營運規劃模式。亦即在路線貨運業者之中繼站與

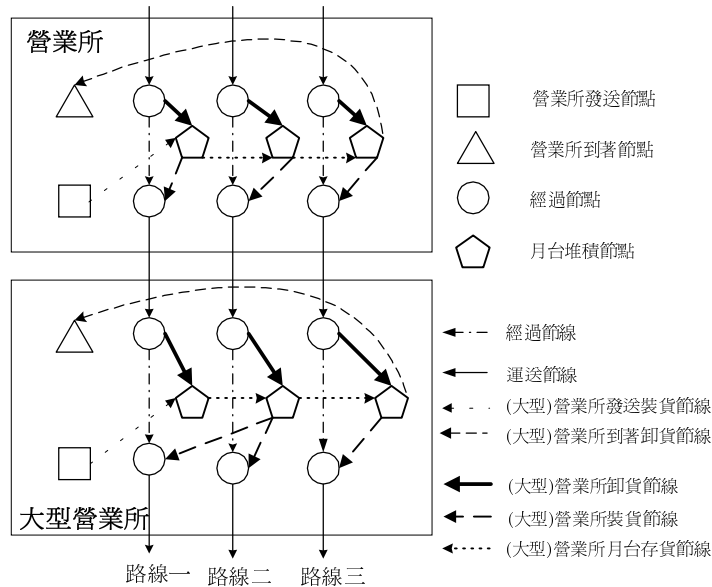
營業所區位已知下，同時考量貨物排程、貨櫃選擇與均衡，以及班車排程排班等子問題，達到業者營運成本的最佳化。本文結構計分六節。除第一節簡述研究動機與目的外，第二節描述內部營運規劃內容，以及具站所容量限制之沿途裝卸營運網路。第三節構建以貨物路徑與班車路線為決策變數的內部營運規劃數學模式。第四節則提出一分解但逐步回饋的啟發式演算法。演算法以「單一路徑限制之貨物排程模組」求解貨物排程子問題，再以「班車路線調整模組」求解貨櫃均衡之班車排程排班子問題，相互回饋求取區域性最適營運計畫。第五節依國內 C 路線貨運公司的現行班車路線為起始解，進行實證測試與分析。同時分析「工作時間」與「承載率」等兩種不同班車選擇策略的求解績效。結論與未來研究方向則列於第六節。

二、內部營運規劃網路架構

路線貨運業者的內部營運計畫，同時規劃貨物站所路徑、貨物被載運路徑、均衡貨櫃數以及班車路線與班表，達到最有效益的營運績效。以 C 公司為例說明，首先，對所有貨物起迄對(如台中→埤頭)，在各站所僅能運送任一迄點貨量至多單一站所限制下(台中將所有埤頭為迄點的貨件，皆運送至員林轉運)，規劃單一的貨物站所路徑(如台中(起點)→員林(轉運)→埤頭(迄點))，但貨量於任兩站所間，可指派於至多兩部班車路線(多重貨物被載運路徑)上，如指派至表 10 編號 1118(台中(21:45)→豐原(22:29)→員林(00:00)→永康(02:32)→嘉義(04:06)→豐原(05:30)→台中(06:23))，或／且編號 5838(台中(22:36)→豐原(23:37)→忠孝(00:35)→大里(00:11)→員林(02:11)→鹿港(04:59)→和美(04:38)→豐原(06:03)→台中(07:02)) 之兩部班車路線上。如此起迄對，台中→埤頭的貨件，將同時於員林轉運至編號 2185(基隆(20:14)→台北(20:51)→彰化(03:07)→員林(03:44)→埤頭(05:27))的班車，到達迄點埤頭。業者同時必須在各站所進出貨櫃均衡下，規劃班車路線與時刻表(如上述編號 1118 與 5838 之班車路線)。

國內路線貨運業內部營運網路，具沿途裝載與中繼轉運作業之特性，依此特性，林正章^[11]提出一個具站所容量限制之沿途裝卸軸輻式網路結構，如圖 1 所示。各類節點與節線的屬性包括功能、成本、時間與容量則列於表 1。

設業者所有站所所形成之集合為 $G = \{..., g, h, ...\}$ 。集配或大型(中繼站)營業站所皆有兩個節點，到著(卸貨)與發送(裝貨)節點，發送節點亦是貨物的起點，而到著則為貨物的迄點。因此設業者有 $M = \{..., m, ...\}$ 起迄對， (o_m, d_m) 為起迄對 m 的起、迄節點，其貨物需求量與承諾時效各為 \hat{U}^m 與 \hat{T}^m ，則所有起迄對貨物起(迄)節點所成之集合，為 $O = \{..., o_m, ...\}$ ($D = \{..., d_m, ...\}$)。每一班車停滯任一站所，除兩個經過節點外，尚有



資料來源：林正章^[11]。

圖 1 具站所容量的允許沿途裝卸軸輻式網路結構示意圖

月台堆積節點。月台堆積節點數與經過班車車輛數相同，亦即一班車相對一個月台堆積節點。集配營業所的月台堆積節點，堆積尚未發送與已到達的總貨物量；而具轉運功能的大型營業所，則堆積尚未發送、已到達與尚待轉運的總貨物量。為區分各站所的各節點，因此站所 g (站所 h) 的各節點以 $g_i(h_j)$ 表示之，而形成的集合為 $N = \{..., g_i, ..., h_j, ...\}$ 。所有節點上皆無成本屬性。節點容量設為 \hat{W}_{g_i} ，唯有月台堆積節點有容量限制，其餘類別節點無容量限制。

網路節線以 $g_i h_j$ 表示，形成集合 $A = \{..., g_i h_j, ...\}$ 。設節線的單位成本、時窗與容量，各為 $C_{g_i h_j}$ 、 $T_{g_i h_j}$ 與 $\hat{W}_{g_i h_j}$ ， $\forall g_i h_j \in A$ 。不具節線成本或容量的(到著)卸貨節線，乃由最後的月台堆積節點流入到到著節點，時間屬性則為最晚班車進站至到著作業開始的時間差。不具節線成本或容量的(發送)裝貨節線，則由發送節點流出到最早的月台堆積節點，時間屬性則為發送作業開始至最早班車進站間的時間差。相連兩月台堆積節點間的月台存貨節線不具節線成本或容量，時間屬性則為兩相鄰班車進站的時間差。無時間屬性的班車卸貨節線由班車經過節點流至月台堆積節點(月台堆積節點時間等於進站班車進站時間)，具有卸貨處理成本。班車裝貨節線則由月台堆積節點流至班車經過節點，亦具有處理裝貨成本，時間屬性則是月台堆積節點至離站班車間的時間差，唯有班車進站與離站之時間差，提供足夠的處理與裝貨的時間，才能形成裝貨節

線。班車經過節線聯繫該班車進站與離站，無成本或容量屬性，進離站時間差即為其時間屬性。最後聯繫兩不同站所間的運送節線，則具有運輸單位成本、班車拖引之貨櫃容量(法定設計載重量)，以及班車行駛於兩站所間的時間差。

表 1 具站所容量限制之沿途裝卸軸輻式網路節點與節線屬性

節點類型	功能	成本	時間	容量限制
發送	發送貨堆放	無	無	無
到著	到著貨堆放	無	無	無
經過	長途車輛進出	無	無	無
月台堆貨	月台貨物堆放	無	無	月台容量
節線類型	功能	成本	時間	容量限制
發送裝貨	發送貨處理	無	發送作業開始至最早車輛進站	無
到著卸貨	到著貨處理	無	最晚車輛進站至到著作業開始	無
運送	(長途車)運輸	運輸成本	班車行駛	貨車/貨櫃容量
經過	班車載運經過貨物	無	班車停留	無
月台存貨	到著發送與轉運貨堆放	無	兩相鄰車輛進站	無
班車裝貨	班車(處理與)裝貨	處理與裝貨成本	進站班車進站至離站班車離站	無
班車卸貨	班車卸貨(與處理)	卸貨與處理成本	無	無

資料來源：林正章^[11]。

三、短期內部營運規劃模式

國內路線貨運業者的班車車隊中，以拖引單一貨櫃之普通班車車型為最多。本研究假設普通班車是唯一可增加($u+$)或縮減($u-$)之班車路線，形成的集合為 $U = \{..., u+, ..., u-, ...\}$ ，其容量設為 \hat{W} ，固定成本為 C ，而其空車運輸成本各設為 C_{u+} (C_{u-})。最後，每日行駛增加或縮減班車路線的班車司機最長工作時間設為 \hat{T} 。設起迄對 m 之所有貨物站所路徑與所有貨物被載運路徑的集合，各為 $P^m = \{..., p, ...\}$ 與 $Q^m = \{..., q, ...\}$ ，則整合貨物排程以及貨櫃均衡之班車排程排班的短期內部營運規劃模式，如下：

目標函數： $\min_{\{f, x, y, z\}} Z = K_v + K_{u+} + K_{u-}$

$$\sum_{g_i h_j} C_{g_i h_j} \delta_{q, g_i h_j} x_q^m + \sum_{u+} (C + C_{u+}) f_{u+} - \sum_{u-} (C + C_{u-}) f_{u-} \quad (1)$$

限制式：

$$\sum_h z_{gh}^d \leq 1 \quad \forall g \in G; d \in D \quad (2)$$

$$\sum_{m_o} \delta_{p,gh} y_p^{m_o d} \leq B z_{gh}^d \quad \forall h \neq g \in G; d \in D \quad (3)$$

$$\sum_q \delta_{q,g_i h_j} w_q^m \leq \hat{Y} \delta_{p,gh} y_p^m \quad \forall g \neq h \in G; p \in P^m; m \in M \quad (4)$$

$$\sum_{g_i h_j} T_{g_i h_j} \delta_{q,g_i h_j} w_q^m \leq \hat{T}^m \quad \forall q \in Q^m; m \in M \quad (5)$$

$$x_q^m \leq B w_q^m \quad \forall q \in Q^m; m \in M \quad (6)$$

$$\sum_q x_q^m \geq \hat{U}^m \quad \forall q \in Q^m; m \in M \quad (7)$$

$$\sum_{g_i} \delta_{q,g_i h_j} x_q^m \leq \hat{W}_{h_j} \quad \forall h_j \in N \quad (8)$$

$$\sum_m \delta_{q,g_i h_j} x_q^m \leq \hat{W}_{g_i h_j} + \hat{W} (f_{u+} \delta_{g_i h_j}^{u+} - f_{u-} \delta_{g_i h_j}^{u-}) \quad \forall g_i h_j \in A; m \in M \quad (9)$$

$$\sum_{g_i} \{ \sum_{u+} (f_{u+} \delta_{g_i h_j}^{u+} - f_{u+} \delta_{h_j g_i}^{u+}) \sum_{u-} (f_{u-} \delta_{h_j g_i}^{u-} - f_{u-} \delta_{g_i h_j}^{u-}) \} = 0 \quad \forall h_j \in N \quad (10)$$

$$\sum_{g_i h_j} T_{g_i h_j} f_{u+} \delta_{g_i h_j}^{u+} \leq \hat{T} \quad \forall u+ \in U \quad (11)$$

$$x_q^m \geq 0 \quad \forall q \in Q^m; m \in M \quad (12)$$

$$w_q^m, y_p^m, z_{gh}^d, f_{u+}, f_{u-} \in \{0,1\} \quad \forall g \neq h \in G, m \in M; u+, u- \in U \quad (13)$$

本研究設可行解區間為 Ω 。

其中參數符號定義為：

\hat{Y} ：任一條貨物站所路徑上，最多可使用的貨物被載運路徑，本研究設為 2；

$\delta_{p,gh}^m$ ：為 1 代表，起迄對 m 之貨物站所路徑 p 經過站所 g 與 h ；為 0 代表，其他；
 $\forall p \in P^m; m \in M$ ；

$\delta_{q,g_i h_j}^m$ ：為 1 代表，起迄對 m 之貨物被載運路徑 q 經過站所 g 之節點 i 與 h 之節點 j ；
 為 0 代表，其他； $\forall q \in Q^m; m \in M$ ；

$\delta_{g_i h_j}^u$ ：為 1 代表，調整班車 u 經過站所 g 之節點 i 與 h 之節點 j ；為 0 代表，其他；

$$\forall u \in U ;$$

其中決策變數符號定義為：

x_q^m ：起迄對 m 在貨物被載運路徑 q 之流量； $\forall p \in P^m; m \in M$ ；

y_p^m ：為 1 代表，起迄對 m 使用貨物站所路徑 p ；為 0 代表，其他； $\forall p \in P^m; m \in M$ ；

w_q^m ：為 1 代表，起迄對 m 使用貨物被載運路徑 q ；為 0 代表，其他； $\forall q \in Q^m; m \in M$ ；

z_{gh}^d ：為 1 代表，站所 g 之迄點站所 d 的貨物站所路徑經過 h ；為 0 代表，其他；
 $\forall g \neq h, g, h \in G$ ；

f_{u+} ：為 1 代表，增加班車路線 $u+$ ；為 0 代表，其他； $\forall u+ \in U$ ；

f_{u-} ：為 1 代表，裁減班車路線 $u-$ ；為 0 代表，其他； $\forall u- \in U$ 。

模式中之目標函數包括：第一項之所有起迄對貨物處理與運輸成本 K_v ，係指營業所(一般與大型)的裝與卸貨成本與大型營業所的轉運成本；第二項之增加班車的固定與空車行駛成本 K_{u+} ；及第三項之縮減班車的固定與空車行駛成本 K_{u-} 。

限制式部分包括：限制式(2)於任一站所，任一迄點貨物只能指派運送到至多一個站所(另一大型營業所或迄點站所)。此限制式指對任一迄點(站所)進入之貨物路徑，必須形成一進入的擴張樹(directed in-tree)。限制式(3)任一起迄對所指派的單一貨物站所路徑，必須在具進入方向性的擴張樹上。當然滿足限制式(2)與(3)的限制條件時，所有的起迄對皆只能有唯一的一條貨物站所路徑。限制式(4)說明任一起迄對，至多可在單一貨物站所路徑上之 \hat{Y} 條多重貨物被載運路徑所載運，亦即在單一貨物站所路徑上任何兩站所間，至多只能由經過兩站所間的 \hat{Y} 長途班車所載運。限制式(5)為服務時效限制，所有貨物必須於承諾的時效內，由托運者處送達至收貨者，亦即任一貨物被載運路徑的貨物組裝與運輸總時間不能大於服務時效。限制式(6)限制任一起迄對的貨量，只能在規劃的貨物被載運路徑上之站所與班車上流動。限制式(7)為任一起迄對所有貨物被載運路徑上的流量和必須不小於其需求量。所以任一起迄對，發送(卸貨)節點要將所收集的貨物運出，到著(裝貨)節點要收集到所有配送的貨物，而所有的月台堆積節點要將流入的每一件貨物轉運至另一節點，禁止貨物的囤積。因此亦稱為流量守恒限制式。此限制式排除所有決策變數皆為{0}之無意義最適解。限制式(8)與限制式(9)各為月台堆貨節點最大容量限制式，以及節線最大容量限制式。限制式(10)是站所新增或縮減班車守恒限制式，即當新增或縮減班車路線時，任一站所進入的班車數一定要等於離開的班車數，因此維持貨櫃進入與離開任一站所的均衡。限制式(11)是調整(增加與縮減)班車的最長工作時間限制，亦即班車路線的行駛與等候之總工作必須符合司機每日最長工作時間。限制式(12)限制節線流量為非負。限制式(13)則限制任一起

迄對的貨物站所路徑、貨物被載運路徑、進入迄點的擴張樹，以及是否使用某一調整班車等之決策變數皆為 $\{0,1\}$ 之整數。限制式(2)-(9)是屬貨物排程規劃之限制式；限制式(9)-(11)則屬貨櫃均衡之班車排程排班規劃之限制式。

四、演算法設計

短期內部營運規劃模式屬於一大型混合整數規劃問題，為能於可容忍時間內對全省網路(C公司的節點、節線與起迄對數見第五節)進行求解，本研究配合問題的特性，開發合理且有效率的啟發式演算法。本研究所設計之兩種啟發式演算法，分述如下：

1. 分解式演算法(decomposition heuristic)：演算法流程見圖 2。首先採用現有的班車路線為起始解，如此整合模式可簡化成「貨物排程子問題」，本研究採林正章^[11]所提出之分解式啟發式演算法，「單一路徑限制之貨物排程模組」進行求解。求解完成，列舉所有可能增加的班車路線，以增加最少的班車路線，滿足超過容量節線的貨量需求。接著，扣除零流量節線，列舉所有可能的剩餘班車路線，縮減最多的班車路線。班車的增加或減少，皆以商用軟體 Cplex 進行最適解的求算。
2. 逐步回饋之啟發式演算法(incremental heuristic)：演算法流程見圖 3。演算法依舊以現有班車路線為起始解，相同採用「單一路徑限制之貨物排程模組」求解貨物排程子問題。接著以「班車路線調整模組」求解貨櫃均衡之班車排程排班子問題。模組包含「加班車」與「縮減班車」兩子模組。「加班車模組」增加班車路線，滿足超過容量節線的運量。「縮減班車模組」則縮減班車路線，以剔除空櫃路段(零流量節線)。路線調整模組每次以最小的增量(一班最適班車路線)，改變內部營運網路，接著回饋重新求解貨物排程子問題。反覆進行，直到無流量超過節線容量或可刪除含空櫃路段的班車路線為止。

基本上，兩個演算法皆將整合問題分解成貨物排程與貨櫃均衡之班車排程排班子問題，最大的差異是後者採每次只增加一條新班車(或剩餘班車)路線的逐步增量，相互回饋進行求解，而前者則屬於不回饋之層級式求解法。

(1) 貨物排程子問題

「貨物排程子問題」是在班車路線固定下 $\{\bar{f}_{u+}, \bar{f}_{u-}\}$ ，決定貨物站所與貨物被載運路徑，達到貨物處理與運輸成本的最適化。子問題是內部營運規劃模式，但忽視增減班車路線所必須維持進出站所貨櫃數均衡(10)以及其最長工作時間(11)兩限制，以達到目標函數(1)之貨物處理與運輸成本最小化：

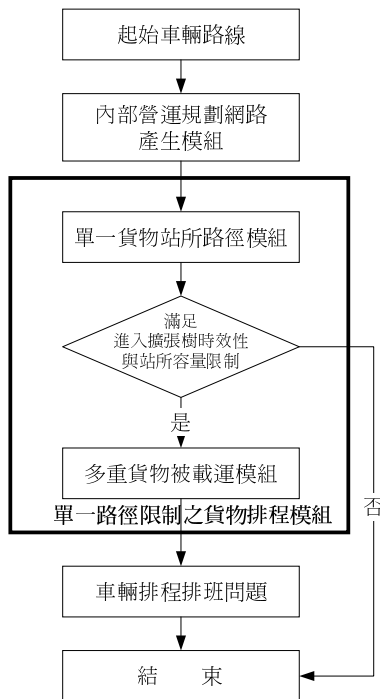


圖 2 層級分解式演算法流程圖

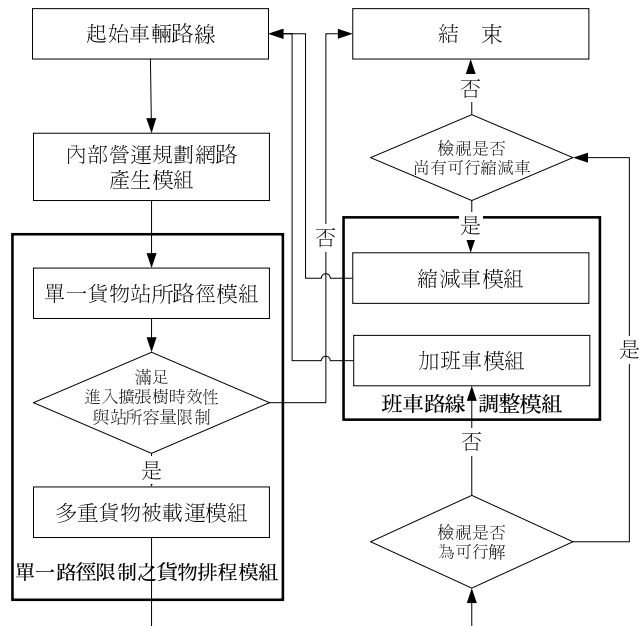


圖 3 逐步回饋分解式演算法流程圖

$$\text{目標函數：} \quad \text{Min } K_v = \sum_{\{x,y,z/\{\bar{f}_{u+}, \bar{f}_{u-}\}\}} \sum_{g_i h_j m} C_{g_i h_j} x_{g_i h_j}^m \quad (1')$$

限制式： (2)~(9)，(12)，及

$$w_q^m, y_p^m, z_{gh}^d \in \{0,1\} \quad \forall g \neq h \in G, m \in M \quad (13')$$

「單一路徑限制之貨物排程模組」為分解啟發式演算法，將貨物排程子問題分解成：(1)單一貨物站所路徑模組：以窮舉演算法，由滿足時效要求且最具經濟效益的局部性可行解區間(直達、一次或兩次轉運貨物站所路徑所形成的集合)內，決定所有起迄對的單一貨物站所路徑。(2)多重貨物被載運路徑模組：以懲罰函數法，將任一起迄對的貨量分派至單一貨物站所路徑上，任兩站所間至多兩條之貨物載運路徑^[11]。

啟發式演算法的優異與否，可由所求得的區域性與正確最適解的差距判定。對貨物排程子問題正確解的下限值，為不考慮站所(8)或班車容量(9)，以及時效性限制(5)下的最小貨物處理與運輸成本：

$$\text{目標函數：} \quad \text{Min } K_v = \sum_{\{x,y,z\}} \sum_{g_i h_j m} C_{g_i h_j} x_{g_i h_j}^m \quad (1')$$

限制式：(2)-(4)、(6)-(7)、(12)和(13')；

(2) 貨櫃均衡之班車排程排班子問題

貨物排程子問題將貨物指派至內部營運網路後，可能產生流量超過其容量之「容量不足」節線，或無節線流量之空櫃路段（「零流量」節線）。前者需增加班車路線，而後者則可縮減含空櫃路段的班車路線。因此，子問題是在節線容量(9)，貨櫃均衡(10)以及調整班車之工作時間(11)等限制下，達到目標式(1)中調整班車固定成本的最適化：

$$\text{目標函數：} \min_{\{f/\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}\}} (K_{u+} + K_{u-}) = \sum_{u+} (C + C_{u+}) f_{u+} - \sum_{u-} (C + C_{u-}) f_{u-} \quad (1'')$$

$$\text{限制式：} \sum_m \delta_{g_i h_j} (x_q^m)^* \leq \hat{W}_{g_i h_j} + f_{u+} \delta_{g_i h_j}^{u+} \hat{W} - f_{u-} \delta_{g_i h_j}^{u-} \hat{W} \quad (9'')$$

(10)~(11)，以及

$$f_{u+}, f_{u-} \in \{0,1\} \quad \forall u+, u- \in U \quad (13'')$$

本研究以「班車路線調整模組」求解貨櫃均衡之班車排程排班子問題(圖 4)。

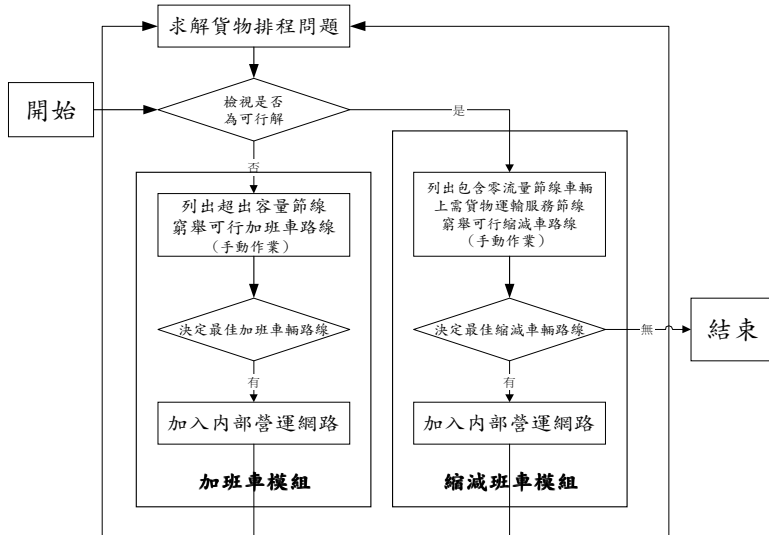


圖 4 班車路線調整模組流程圖

模組包括：①「加班車模組」，針對流量超過容量之節線，窮舉所有貨櫃均衡之可能加班班車路線，再按增班的績效，決定一條最適增班路線，加入內部營運網路，

回饋重新求解貨物排程子問題，反覆進行，直到無流量超過容量節線。②「縮減班車模組」，扣除空櫃路段，再窮舉所有可合併剩餘班車路段所形成之剩餘班車路線。與增班相同的績效原則，決定最適之一剩餘班車路線，加入內部營運網路，並剔除剩餘班車路線所涵蓋剩餘班車路段之原縮減班車路線，回饋重新求解貨物排程子問題，反覆進行，直到無法選取任何剩餘班車路線。

詳細演算步驟如下：

步驟 0：(起始解)設 $f_{\bar{u}+} = f_{\bar{u}-} = 0, \forall \bar{u}+, \bar{u}- \in U$ ，以現有班車路線為起始節線容量。同時令疊代次數 $t=1$ 。

步驟 1：(貨物排程子問題)第 t 次疊代次數，令 $A^t = \phi$ 。以分解啟發式演算法，將所有起迄對需求量指派至班車路線^[11]，獲得各節線流量 $(\sum_m x_{g_i h_j}^m)^t$ 。若 $\exists g_i h_j \in A \Rightarrow (\sum_m x_{g_i h_j}^m)^t > \hat{W}_{g_i h_j} + \delta_{g_i h_j}^{\bar{u}+} (f_{\bar{u}+})^t \hat{W} - \delta_{g_i h_j}^{\bar{u}-} (f_{\bar{u}-})^t \hat{W}$ ，節線 $g_i h_j$ 之流量大於其容量，則令 $A^t = A^t \cup \{g_i h_j\}$ ；若無，則進行步驟 4。

步驟 2：(窮舉加班車路線)依據司機工作時間與各站所進出貨櫃均衡等限制，建構所有可行之加班車路線，使至少有一加班車涵蓋所有流量大於容量的節線，

$$\forall g_i h_j \in A^t \Rightarrow \sum_{\bar{u}+ \in U^t} \delta_{g_i h_j}^{\bar{u}+} \geq 1, \text{ 結果所形成之集合為 } U^t。$$

步驟 3：(增加一班車路線)按績效策略，選擇績效最佳之加班車路線 $\bar{u}+ \in U$ ，加入並更新內部營運網路， $\hat{W}_{g_i h_j} = \hat{W}_{g_i h_j} + \delta_{g_i h_j}^{\bar{u}+} (f_{\bar{u}+})^t \hat{W}, \forall g_i h_j \in A$ ，回步驟 1。

步驟 4：(扣除零流量節線之剩餘班車路段)令 $L^t = \phi$ 。若 $(\sum_m x_{g_i h_j}^m)^t > 0, \forall g_i h_j \in A$ ，結束；不然 $\exists \overline{(g_i h_j)} \in A \Rightarrow (\sum_m x_{\overline{(g_i h_j)}}^m)^t = 0$ ，節線 $\overline{(g_i h_j)}$ 上之班車貨櫃為空櫃，集合扣除空櫃節線 $\overline{(g_i h_j)}$ 所剩餘但具流量之班車路段， $L^t = L^t \cup \{..., (g_i h_j)', (g_i h_j)'' \dots\}$ 。

步驟 5：(窮舉剩餘班車路線)根據司機工作時間與貨櫃均衡限制，合併(merge) L^t 之剩餘班車路段，形成多組可行剩餘班車路線，令為集合 \bar{U}^t 。

步驟 6：(區域性最佳縮減班車)。根據增班班車相同績效策略，由所有可行剩餘班車路線中，選擇最適之剩餘班車路線，加入內部營運網路，同時剔除所涵蓋剩餘班車路段的原班車路線，回饋步驟 1；若無任何縮減班車，則找到區域最適解，結束。

五、實證研究

本研究以國內前三大路線貨運業之 C 公司為實證對象。C 公司之全省班車路線共

175 條，61 輛普通車、52 輛半拖車與 62 輛全拖車(普通車加掛一子貨櫃)，普通車、全拖車、與半拖車等班車之容量分別為 14、22 與 24 噸。依據第二節網路設計原則，網路結構有 3,862 個節點、6,920 條節線與 2,370 個起迄對。參數的設定如下：班車進站與另一班車離站時間差必須至少相距 30 分鐘，才能進行班車卸貨、站所分類與轉運，及裝上離站班車。貨物裝卸單位成本、班車運輸單位成本與普通車固定成本各為 200 元/噸^[9]、0.75 元/延噸公里與 8,252 元/輛^[12]。最後，測試之最大疊代次數與步幅減半之疊代次數各設為 180 次與 15 次。

1. 全省貨物排程問題測試

本研究先針對 C 公司之現況班車路線，以貨物排程子問題規劃貨物排程。對懲罰函數法不同臨界值 β 的求解結果，列於表 2，顯示 β 對求解結果有顯著性的影響。當臨界值各為 1、0.95 與 0.9 時，各需增加 38、23 與 19 個貨櫃，而總成本則各為 NT\$1,568,114、NT\$1,569,083 與 NT\$1,570,985。顯示當臨界值越小，即「貨櫃保留的空間」越大，雖然強迫更多的貨物，流向營運成本較高的貨物站所路徑，卻因而減少了違背容量所必須增加貨櫃之節線數，而獲致總成本較低的區域最適解。最後，臨界值為 1、0.95 與 0.9 時，其貨物處理與運輸成本的區域最適解與下限值的差距相當微小，分別為 0.4%、0.5% 及 0.9%，顯示懲罰函數法的求解品質與適宜性。

表 2 全省貨物排程子問題求解結果

步幅	臨界值 ²	乘數	違背節線	增加貨櫃	多重被載運車輛路線起迄對	(不可行)區域最適解總成本(加加班車) ³	區域最佳解與下限差距 ¹
0.1	1	1000	38	38	467	1,568,114.88 (1,724,902.88)	0.4%
	0.95		23	23	507	1,569,083.25 (1,663,981.25)	0.5%
	0.9		19	19	606	1,570,985.13 (1,649,379.13)	0.7%

註：1. 下限值：1,560,327；

2. 空車行駛節線分別為：139 條(1)、137 條(0.95)、132 條(0.9)；

3. 假設每班車每日行駛兩路段。

2. 層級分解式演算法測試

層級分解式演算法即在貨物排程與班車路線排程排班兩子問題，相互不回饋下，規劃內部營運計畫。在步幅 0.1、臨界值 0.9 下，貨物排程子問題求解結果，共有 19 條節線流量超過其容量限制，彙整於表 3，並展示於圖 5 之示意圖上。超過容量的節線，大多是「北貨南運」的跨縣市長途城際運輸節線，較少為「南貨北運」之節線。

表 3 全省超出容量之節線

節線編號	起站	迄站	流量 (百公斤)	容量 (百公斤)	節線編號	起站	迄站	流量 (百公斤)	容量 (百公斤)
977	台北	宜蘭	254.62	220	2425	士林	中壢	212.44	140
980	宜蘭	羅東	144.76	140	2428	中壢	大園	146.42	140
1003	台北	宜蘭	252.41	220	2454	中壢	永康	170.95	140
1006	宜蘭	羅東	145.27	140	2457	永康	楠梓	144.71	140
1014	台北	彰化	225.25	220	2500	新竹	和美	160.83	140
1111	豐原	和美	166.57	140	2526	中壢	朴子	149.30	140
1256	板橋	高雄	228.86	220	2987	嘉義	學甲	246.21	140
2346	台北	新莊	172.49	140	2990	學甲	佳里	186.88	140
2349	新莊	新營	174.85	140	3292	竹南	台北	166.29	140
2363	樹林	雲林	148.86	140					

對每條超出容量(零流量)之節線，至少需增加一部加班(減班)之班車路線服務，所形成的問題為涵蓋問題(set covering)，亦即以最少的加班(最多的減班)班車數，涵蓋所有超出容量(零流量)節線。本研究分別對增班與減班進行求解。

本研究以加開 C 公司最主要且最多的普通班車，來滿足超出節線容量的貨量需求。首先在符合司機工作時限內，窮舉至少涵蓋一條超出節線容量的所有可能增加之普通班車路線(見附錄之表)。接著以 Cplex 商用軟體，求解貨櫃均衡之班車排程排班子問題。顯示最少需要增加 10 部普通班車，才能涵蓋所有超出容量的節線(見表 4)。

表 4 層級分解式演算法加班車測試結果

加班車路線編號 ¹	路線							載運量(噸)	工作時數(時)
P003	板橋	高雄	板橋					8.86	8.73
P008	樹林	雲林	樹林					8.86	7.36
P011	中壢	朴子	中壢					9.30	7.37
P012	豐原	和美	豐原					26.57	1.33
P021	台北	新莊	新營	台北				67.34	8.61
P023	中壢	永康	楠梓	中壢				35.66	8.33
P024	士林	中壢	大園	台北	彰化	士林		84.11	8.30
P027 ³	竹南	台北	宜蘭	羅東	竹南			65.67	7.75
P028 ²	台北	宜蘭	羅東	台北				37.68	4.15
P031	新竹	和美	嘉義	學甲	佳里	新竹		173.92	8.65

註：1.加班車路線編號皆以 P 為起頭；2.台北→宜蘭(977)→羅東(980)；

3.台北→宜蘭(1003)→羅東(1006)；■ 代表空駛路段

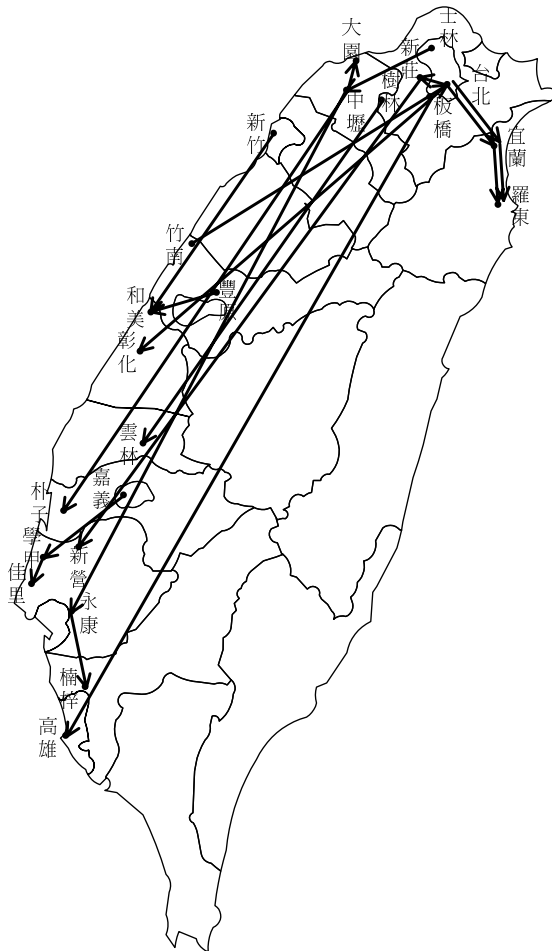


圖 5 全省超出節線容量示意圖

緊接著進行縮減班車路線，以減少空櫃行駛。首先列出所有包含零流量節線之路線，稱縮減班車路線。因路線過多，於表 5 僅列出會被合併之部分包含零流量節線的縮減路線，其中灰底粗體黑字即表示空櫃行駛至該站所之路段；而其他路段則為重櫃行駛之路段，例如：路線編號 5833，從台中→大里→忠孝為空櫃路段，而忠孝→豐原→台中→埤頭→鹿港→南投→大里為重櫃路段，最後大里→忠孝→台中又為空櫃路段。本研究首先扣除空櫃行駛路段，獲得剩餘的重櫃行駛路段。接著按司機每日最長工作時數與進出各站所貨櫃均衡條件，窮舉可合併(merge)剩餘重櫃行駛路段之路線，稱剩餘班車路線。每一剩餘班車路線的選取，代表至少有一班車路段被刪除。因此在剩餘重櫃行駛路段至多只能被涵蓋一次條件下，選取最多的剩餘路線，將可獲取最多空櫃路段與縮減班車路線的刪減。

表 5 包含空櫃節線之班車路線

路線編號	路線										
5833	台中	大里	忠孝	豐原	台中	埤頭	鹿港	南投	大里	忠孝	台中
5947	永康	西港	麻豆	永康							
...
P011	中壢	朴子	中壢								

但窮舉結果，無法找到同時滿足司機 9 小時工作時間(由公司路線資料平均而得)，並維持進出站所貨櫃均衡之剩餘班車路線。只有將每日工作時間延長至 10 小時，才有機會各合併兩條原班車路線，而產生兩條可能的剩餘班車路線(列於表 6)。

表 6 可能剩餘班車路線

合併班車編號	路線									工作時數(時)	被合併之路線編號	
M001	麻豆	永康	豐原	台中	埤頭	鹿港	南投	大里	麻豆	9.60	5947	5833
M002	麻豆	永康	中壢	朴子	麻豆					9.15	5947	P011

註：P011 為加班車輛：中壢→朴子→中壢。

因此若以層級分解式演算法求解短期內部營運規劃問題，在步幅 0.1、臨界值 0.9 之測試條件下，貨物處理與運輸成本為 NT\$1,570,985.13(元/天)，另外需要增加 10 部普通班車路線，但無符合司機工作時間 9 小時之可縮減班車路線。

3. 逐步回饋啟發式演算法測試

此演算法以貨物排程與貨櫃均衡之班車排程排班兩子問題，相互回饋進行求解。回饋的過程中，加班車模組(縮減班車模組)以逐量提供新班車路線(剩餘班車路線)，解決求解貨物排程子問題後，流量超過節線容量(零流量節線)的問題。

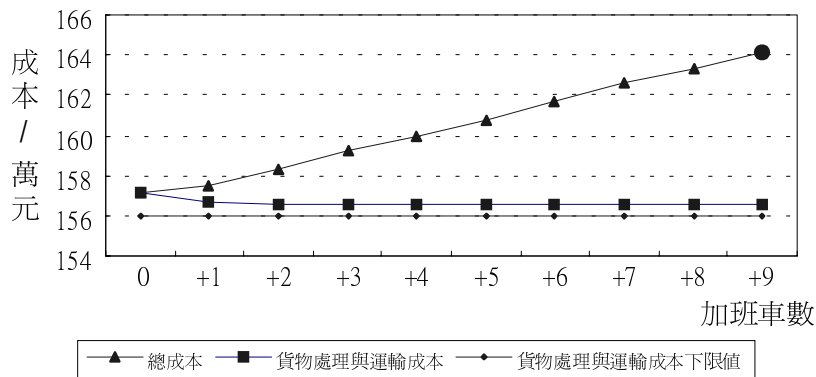
(1) 加班車模組

每一次從所有可能加班車路線中，挑選一條績效最佳之加班車，加入公司內部營運路網中，回饋求解貨物排程子問題。如此反覆求解，以最少之加班車，滿足站所間指派之流量。本研究測試兩種加班車策略：(a)選取「承載率」最高之加班車。新增班車之承載率是該班車路線上超出容量節線「超出貨量」的總量，
$$\sum_{g_i h_j} \delta_{g_i h_j}^{\bar{u}+} (\bar{x}_{g_i h_j} - \hat{W}_{g_i h_j}) = \max \left\{ \sum_{g_i h_j} \delta_{g_i h_j}^{u+} (\bar{x}_{g_i h_j} - \hat{W}_{g_i h_j}), u+ \in U \right\}$$
。例如於附錄之表中，豐

原→和美→嘉義→大甲→佳里→豐原是 31 條班車路線中，「承載率」最高的路線。(b)選取「工作時間」最長之班車路線，
$$\sum_{g_i h_j} \delta_{g_i h_j}^{\bar{u}+} T_{g_i h_j} = \max \left\{ \sum_{g_i h_j} \delta_{g_i h_j}^{u+} T_{g_i h_j}, u+ \in U \right\}$$
。例如

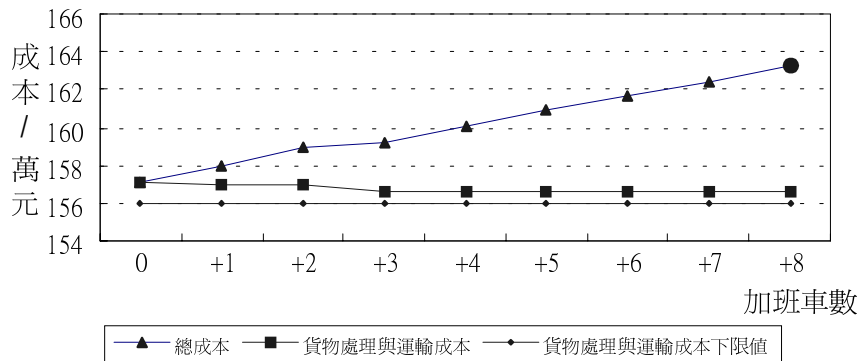
於附錄之表，士林→中壢→大園→台北→宜蘭→羅東→士林是 31 條班車路線中，「工作時間」最長的路線。

圖 6 與圖 7 分別為「承載率」與「工作時間」兩策略，各自測試求解之結果。圖中三條曲線，分別為加入加班車之總成本曲線，及貨物處理與運輸成本曲線與其之下限值曲線。



註：● 區域最適解。

圖 6 「承載率」加班車策略測試結果



註：● 區域最適解。

圖 7 「工作時間」加班車策略測試結果

由測試中得知，「承載率」策略，需加派 9 部加班車；而「工作時間」策略則只需加派 8 部加班車，便可滿足所有超出節線容量之貨量。兩者加班車之固定與空車運輸成本，分別為 NT\$74,268 與 NT\$66,016。

表 7 與表 8 分別列出「承載率」與「工作時間」兩策略，所依序增加之加班車路線。兩策略所增加之加班車數，均較層級式分解演算法之 10 輛為少(表 4)。原因在於，回饋求解過程中，於貨櫃均衡之班車排程排班子問題，每次只增加一班車路線，便重新求解貨物排程子問題。如此一方面滿足加班車所經過之超出容量節線貨量之需求，另一方面，其他超出容量節線上之流量，亦有可能經由貨物路徑之移轉，而滿足容量之限制，例如表 7 與表 8 中灰底黑字部分所標示出的節線。

表 7 「承載率」策略之加班車數與其路線

加班車 次序	編號	加班車路線	超過容 量節線數	預估減少超 過容量節線	實際減少超 過容量節線數	實際滿足超 過容量路段
0	-	-	19	0	0	
1	P030	豐原-和美-嘉義-大甲-佳里- 豐原	16	3	3	豐原-和美、 嘉義-大甲、 大甲-佳里
2	P026	士林-中壢-大園-台北-宜蘭- 羅東-士林	10	4	6	士林-中壢、 中壢-大園、 台北-宜蘭 ¹ 、 宜蘭-羅東 ¹
3	P023	中壢-永康-楠梓-中壢	8	2	2	中壢-永康、 永康-楠梓
4	P007	竹南-台北-竹南	7	1	1	竹南-台北
5	P013	新竹-和美-新竹	6	1	1	新竹-和美
6	P021	台北-新莊-新營-台北	4	2	2	台北-新莊、 新莊-新營
7	P003	板橋-高雄-板橋	3	1	1	板橋-高雄
8	P006	台北-彰化-台北	2	1	1	台北-彰化
9	P011	中壢-朴子-中壢	0	1	2	中壢-朴子、 樹林-雲林 ²

註：1. 台北-宜蘭與宜蘭-羅東各有兩條車輛路段；2. 代表滿足非屬車輛路線之超過容量節線。

若比較「承載率」與「工作時間」兩策略之求解品質，由表 7 與表 8 可以觀察出，兩策略最大不同在於，「工作時間」策略在增加加班路線過程中，轉移一條(豐原→和美)未被涵蓋於增加路線但超出節線容量之部分貨量，如此避免必須再增加一條需涵蓋此節線的班車路線。但相同的節線，在「承載率」策略中，則必需增加一班班車路線，豐原→和美→嘉義→大甲→佳里→豐原。此現象的產生是因為於「工作時間」策略中，

加班車路線，台北→彰化→台北的加入，紓解台北至員林的貨量。豐原→和美與台北→彰化等兩路段，分屬於現有班車路線，台北→新莊→豐原→和美→鹿港→員林→社頭→台中(稱甲路線)與基隆→台北→彰化→員林→埤頭(稱乙路線)。但甲乙兩班車路線皆經過台北與員林兩(轉運)站所。因此，起迄對的貨物站所路徑若被指派於台北→員林路段時，皆可由甲乙兩班車路線所載運(即代表兩條多重貨物被載運路徑)，見圖 8。因此，於「工作時間」策略，若加開加班車，台北→彰化→台北，則原被指派至甲班車路線，經過台北與員林兩站所的起迄對貨運，可被轉移至新的班車路線，而紓解了豐原→和美甲班車路線的流量，因而符合了甲班車的容量上限。如此不需再增加另一部班車，載運豐原→和美路段所超出容量的貨量。

表 8 「工作時間」策略之加班車數與其路線

加班車 次序	編號	加班車路線	超過容量 節線數	預估滿足超 過容量節線	實際滿足超過 容量節線數	實際滿足超 過容量路段
0	-	-	19	0	0	
1	P026	士林-中壢-大園-台北-宜蘭-羅東-士林	13	4	6	士林-中壢、 中壢-大園、 台北-宜蘭 ¹ 、 宜蘭-羅東 ¹
2	P003	板橋-高雄-板橋	12	1	1	板橋-高雄
3	P031	新竹-和美-嘉義-學甲-佳里-新竹	9	3	3	新竹-和美、 嘉義-大甲、 大甲-佳里
4	P021	台北-新莊-新營-台北	7	2	2	台北-新莊、 新莊-新營
5	P023	中壢-永康-楠梓-中壢	5	2	2	中壢-永康、 永康-楠梓
6	P011	中壢-朴子-中壢	3	1	2	中壢-朴子、 樹林-雲林 ²
7	P006	台北-彰化-台北	1	1	2	台北-彰化、 豐原-和美 ²
8	P007	竹南-台北-竹南	0	1	1	竹南-台北

註：1. 台北-宜蘭與宜蘭-羅東各有兩條車輛路段；

2. 代表滿足非屬車輛路線之超過容量節線。

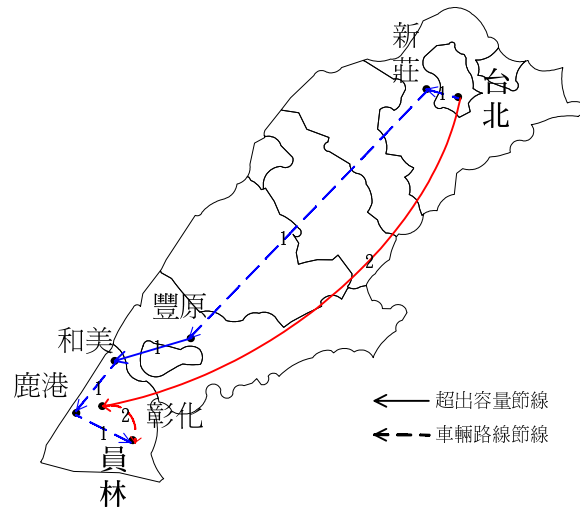


圖 8 台北—員林兩條貨物被載運路徑

歸納而言，「工作時間」策略較有效率之原因，是由於豐原→和美路段之兩站所同屬一區域，「工作時間」策略，選取加班車涵蓋此類路段的機率較小，而以選取工作時間績效較佳之台北→彰化→台北跨區加班車路線。跨區域節線之涵蓋，能移轉屬區域內節線的貨量至新增加之班車，而避免額外新增一條涵蓋區域內節線之加班車。

(2) 縮減班車模組

「加班車模組」增加加班車，滿足超過節線容量的貨量需求。接著進行「縮減班車模組」移除零流量(空櫃運行)節線，以減少總班車路線數。其程序與「加班車模組」類似，唯一差異是「加班車模組」組合超出容量的節線，而「縮減班車模組」則合併扣除零流量節線所剩餘的重櫃路段。

在測試範例中，無任何符合司機工作時限之剩餘班車路線。但若擴大工作時間，則可找到兩組與表 6 相同的剩餘班車路線。任一條路線之選取結果幾近相同，總成本(貨物處理與運輸成本)分別為\$1,623,124(\$1,565,360)和\$1,623,201(\$1,565,437)與未減少班車前的總成本(含加班車)\$1,631,533 只相差\$8,409 和\$8,332，近乎為一輛班車之固定成本\$8,252。整合以逐步回饋求解演算法求解內部營運規劃問題之測試結果，如圖 9。

針對 C 公司現有需求量結構以及班車路線，兩演算法之測試結果，彙整於表 9。以「工作時間」之加班車策略逐步回饋求解法，需加派 8 班加班車，加班車成本為 NT\$66,016 (元/天)，較層級分解式演算法少 2 部加班車；而不含加班班車固定或空車運輸成本之貨物處理與運輸成本，亦較層級分解式演算法節省 NT\$5,625(元/天)，總成本兩者相差 NT\$21,972(元/天)。兩個演算法均無任何滿足司機工作時限之縮減班車路

線。由全省營運網路之測試，可知利用逐步回饋演算法，規劃短期內部營運規劃問題，能規劃較佳之班車路線與貨物路徑。

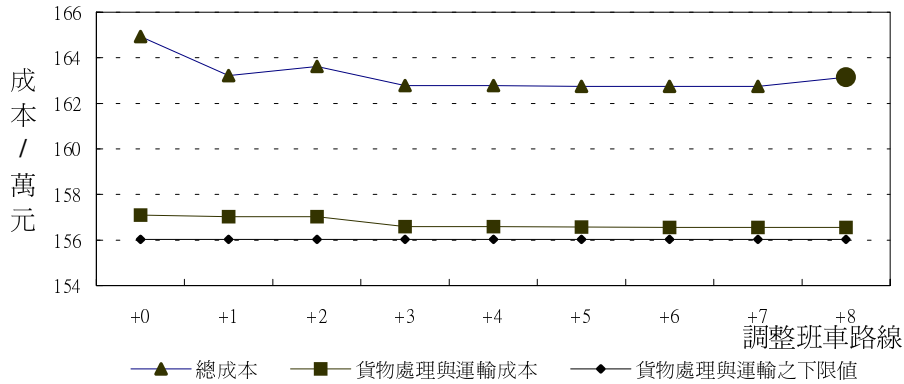


圖 9 貨物排程與車輛排程排班整合模式測試結果

表 9 層級分解式與逐步回饋求解演算法測試結果比較

	貨物路線		車輛路線			總成本(元)	差距比
	貨物運送成本(元) (僅含貨物運輸及轉運成本)	差距比	加班車		縮減車數 (輛)		
			加班車數(輛)	差距比			
分解式演算法	1,570,985	0%	10	0%	0	1,653,505	0%
「承載率」策略之逐步回饋求解演算法	1,565,717	-0.3%	9	-10%	0	1,639,985	-0.8%
「工作時間」策略之逐步回饋求解演算法	1,565,517*	-0.3%	8*	-20%	0*	1,631,533*	-1.3%*

*：逐步回饋求解法最佳解。

4. 車輛微調分析

值得觀察是 C 公司現有班車路線中，可利用微調方式進一步改善班車路線，表 10 列出依公司目前可微調之路線車輛。所謂「一日(兩日)可微調班車路線」，表示所微調之班車路線僅有一條(有兩條)，在維持各站所班車(貨櫃)守恆限制下，針對該路線之起迄站所(兩條路線之起迄站所)進行微調。

表 10 可微調之班車路線

班車路線編號	行 經 站 所											微調路線節省距離 (公里)		
	一 日 可 改 善 車 輛 路 線											原路線 行駛距離	節省 距離	減少 比率
1075	台中	忠孝	台中	大甲	嘉義	雲林	大甲	豐原	台中			358	97	27.0%
1104	台中	忠孝	台中	新營	高雄	永康	潮州					330	10	3.0%
1118	台中	豐原	員林	永康	嘉義	豐原	台中					360	36	10.0%
2360	台中	大里	彰化	鹿港	永康	歸仁	鳳山	屏東	鳳山			271	24	8.8%
2500	永康	嘉義	雲林	鹿港	和美	忠孝	台中	豐原	台中			250	18	7.2%
2530	鳳山	楠梓	員林	台中	豐原	忠孝	台中					252	31	12.3%
5838	台中	豐原	忠孝	大里	員林	鹿港	和美	豐原	台中			198	36	18.1%
兩 日 可 改 善 車 輛 路 線														
2340	台中	忠孝	新竹	新店	台北	新莊						203	5	2.4%
5703	基隆	士林	沙鹿	大甲	南投	大里	忠孝	台中				439	5	1.1%
2347	台中	忠孝	台中	彰化	嘉義	楠梓	歸仁	台南				259	95	36.6%
2625	屏東	鳳山	歸仁	嘉義	雲林	員林	彰化	台中				276	30	10.8%
1120	台中	鹿港	朴子	永康	楠梓	鳳山	屏東	高雄				267	36	13.4%
1133	鳳山	高雄	楠梓	員林	彰化	鹿港	台中					233	36	15.4%
1088	台中	豐原	雲林	歸仁	楠梓	高雄	台南					306	18	5.8%
1165	台南	歸仁	永康	新營	嘉義	忠孝	豐原	台中				215	18	8.3%
5818	台中	大雅	台中	忠孝	豐原	大甲	沙鹿	雲林	朴子	台中		319	45	14.1%
1150	高雄	永康	嘉義	埤頭	員林	沙鹿	豐原	台中				327	18	5.5%
1128	台中	員林	彰化	樹林	宜蘭	羅東						374	46	12.2%
2290	板橋	樹林	新莊	新竹	台中	彰化	員林	台中				307	46	14.9%
5820	台中	南投	彰化	沙鹿	大甲	豐原	后里	台中				162	41	25.3%
2285	板橋	松山	樹林	林口	台中	忠孝	大里	南投	台中			342	41	11.9%
總 計												6042	732	12.1%

註：深灰色代表原班車路線之起迄站所；淺灰色代表新班車路線之起迄站所。

測試結果可知，C 公司可經由微調班車路線之起迄站所，每日可減少行駛距離 732 公里。若以班車單位公里成本 NT\$3.743^[12]，一年約工作 250 天，可以減少營運成本

\$684,969。班車路線微調必須具備司機彈性的配合，才能在貨物需求結構變動下，適度的微調班車起迄站所，以節省營運成本。

六、結論與建議

以往針對國內路線貨運業之短期內部營運規劃，大多在班車路線固定下，進行貨物排程問題之研究，但班車路線與貨物路徑之規劃彼此相互影響。本研究提出一整合貨物排程、貨櫃均衡與班車排程排班之內部營運規劃模式，規劃營運總成本最佳之貨物路徑以及貨櫃均衡之班車路線。針對模式之特性，本研究將問題分解為貨物排程以及貨櫃均衡之班車排程排班兩子問題，並分析(1)兩子問題者依序不回饋之分解式演算法與(2)兩子問題彼此回饋之逐步回饋演算法兩種演算法之效率與績效。

本研究以國內前三大之一的路線貨運業者全省營運網路，進行實例測試與分析。以現行需求量結構與現有班車路線為起始解，證實逐步回饋求解演算法較分解式演算法少 2 部(20%)加班班車，每日營運成本減少 21,972 元(1.3%)。逐步回饋求解演算法確實能有效的規劃涵蓋超出容量節線之增班路線，並提供較佳之貨物路徑選擇。另外，以「工作時間」策略選取新增班車路線，能較有效率的選擇跨工作區域的班車路線，較「承載率」能獲取較佳的區域性最佳解。最後，本研究建議實證公司，可透過對現有班車路線進行起迄站所之微調，而降低營運成本。

以現行之班車路線為起始解，在貨物起迄對需求，產生較大結構性的變化時，無法跳脫出現有的區域性解區間，而導致獲取次佳區域性最適解的缺失。因此如何擬定新起始的班車路線，是路線貨運業營運規劃主題，後續研究的重要課題之一。

參考文獻

1. Akyilmaz, M. O., "An Algorithmic Framework for Routing LTL Shipments", *Journal of the Operational Research Society*, 45(5), 1994, pp. 529-538.
2. Chestler, L., "Overnight Air Express: Spatial Pattern, Competition and the Future of Small Package Delivery Services", *Transportation Quarterly*, 39, 1985, pp. 59-71.
3. Lin, C.-C., "The Freight Routing Problem of Time Definite Freight Delivery Common Carriers", *Transportation Research B*, 35(6), 2001, pp. 525-547.
4. Eckstein, J. and Sheffi Y., "Optimization of Group Line-haul Operations for Motor Carriers Using Twin Trailers", *Transportation Research Record*, 1120, 1987, pp. 12-23.
5. Suter, M. J., Nuggehalli, R. S., and Zaret, D. R., "Feeder Schedules Optimization

- System”, INFORMS National Conference, Atlanta, GA., November, 1996.
6. Lin, C.-C. and Lin, D. Y., “The Feeder Scheduling Problem for Time-definite Ground Delivery Common Carriers”, *Journal of Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 4(4), 2001, pp. 359-369.
 7. Leung, J. M., Magnanti, T. L., and Singhal, V., “Routing in Point-to-point Delivery System: Formulation and Solution Heuristic”, *Transportation Science*, 24(4), 1990, pp. 245-260.
 8. Lin, C.-C., “The Load Planning Problem of Time-definite Common Carriers”, *Transportation Planning Quarterly*, 27(3), 1998, pp. 371-406.
 9. 陳春益，林正章，高玉明，「路線貨運業貨物排程問題之研究」，運輸計劃季刊，26(2)，民國八十六年，頁 327-352。
 10. 林正章，黃冠翔，「懲罰函數法應用於即時性貨物排程之研究」，運輸計劃季刊，28(3)，民國八十八年，頁 421-450。
 11. 林正章，「路線貨運業單一路線限制之貨物排程規劃問題」，運輸計劃季刊，29(1)，民國八十九年，頁 1-32。
 12. 林正章，台橡公司內銷產品配送問題之研究，民國八十五年。

附 錄

所有可行之加班班車路線

加班車編號	路 線							承載量(百公斤)	工作時數(時)
P001	士林	中壢	士林					72.44	1.40
P002	中壢	大園	中壢					6.42	0.76
P003	板橋	高雄	板橋					8.86	8.73
P004	台北	新莊	台北					32.49	0.16
P005	新莊	新營	新莊					34.85	8.46
P006	台北	彰化	台北					5.25	5.80
P007	竹南	台北	竹南					26.29	2.90
P008	樹林	雲林	樹林					8.86	7.36
P009	中壢	永康	中壢					30.95	7.13
P010	永康	楠梓	永康					4.71	1.20
P011	中壢	朴子	中壢					9.30	7.37
P012	豐原	和美	豐原					26.57	1.33
P013	新竹	和美	新竹					20.83	3.93
P014	嘉義	學甲	嘉義					106.21	0.83
P015	學甲	佳里	學甲					46.88	0.35
P016	台北	宜蘭	台北	1(註)				32.41	3.23
P017	台北	宜蘭	台北	2				34.62	3.23
P018	宜蘭	羅東	宜蘭	1				5.27	0.30
P019	宜蘭	羅東	宜蘭	2				4.76	0.30
P020	士林	中壢	大園	士林				78.86	2.30
P021	台北	新莊	新營	台北				67.34	8.61
P022	嘉義	學甲	佳里	嘉義				153.09	1.61
P023	中壢	永康	楠梓	中壢				35.66	8.33
P024	士林	中壢	大園	台北	彰化	士林		84.11	8.30
P025	士林	中壢	大園	竹南	台北	士林		105.15	4.13
P026	士林	中壢	大園	台北	宜蘭	羅東	士林	116.54	8.90
P027	竹南	台北	宜蘭	羅東	竹南			65.67	7.75
P028	台北	宜蘭	羅東	台北	1			37.68	4.15
P029	台北	宜蘭	羅東	台北	2			39.29	3.90
P030	豐原	和美	嘉義	學甲	佳里	豐原		179.66	7.35
P031	新竹	和美	嘉義	學甲	佳里	新竹		173.92	8.65

註：■至此站所為空車行駛；如 P031 之和美→嘉義為空車行駛。

