

明新科技大學 97 年度 校內專題研究計畫成果報告

海運軸輻路網系統之最適化支線指派模式 *An Optimal Feeder Assignment Model for Marine Hub-and-Spoke Networks*

計畫類別：整合型計畫 個人計畫

計畫編號：MUST-97-國企-04

執行期間：97 年 01 月 01 日至 97 年 10 月 30 日

計畫主持人：王賢崙

共同主持人：

計畫參與人員：

處理方式：除涉及專利或其他智慧財產權外得立即公開，
唯必要時本校得展延發表時限。

- 可立即對外提供參考
(請打√) 一年後可對外提供參考
兩年後可對外提供參考

執行單位：明新科技大學國際企業系

中 華 民 國 97 年 11 月 27 日

海運軸輻路網系統之最適化支線指派模式

中文摘要

國際貨櫃船航線是非完全、單一指派及非嚴格型的軸輻路網型態。過去文獻對船隊航線的探討，主要以傳統單一航線為基礎，甚少談及路網式航線的規劃；而少數關於路網研究(Hsieh and Wong, 2003,2004,2006)，則忽略貨櫃船在支線轉運特性及其對路網的影響。本研究建構一適切的數學規劃式，在符合海運航線特性下，描述定期航線的支線路網型態與設計過程。集貨港指派模式以潤最大化為目標，符合航商經營原則，本質上它是二次指派之 0-1 整數規劃式，目標值求解不易。本研究將以越太平洋航線為實例，測試模式功能，並嘗試利用 O'Kelly (1987) 之啟發式解法的概念，求解問題。研究結論有提供航商在航線規劃之參考價值。

關鍵字：軸輻路網、單一指派、非嚴格型路網、集貨港指派模式、整數規劃

An Optimal Feeder Assignment Model for Marine Hub-and-Spoke Networks

Abstract

Marine hub-and-spoke networks have been applied to containership routing for over two decades. Most of studies devoted attention to single liner planning, which do not capture the characteristics of a network. Some of papers addressed by Hsieh and Wong (2003, 2004, 2006) formulated mathematical models for containership routing. These models ignore the impact of feeder transship system on a marine network design, and then possibly generate unrealistic solutions to problem. In this paper we present a satisfactory approach for solving feeder network design. The spoke allocation model is a quadratic assignment 0-1 integer programming with seeking the maximum profit. We apply a heuristic scheme based on the shortest distance rule and an experiment case on a Trans-Pacific route is also presented to illustrate the model's formulation and the solution methods.

Keywords : Hub-and-spoke networks, Single assignment, Spoke allocation model, Integer programming

目錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
目錄.....	III
第一章 緒論.....	1
第二章 集貨港指派模式建構.....	2
第三章 數值測試與說明.....	8
第四章 結論與建議.....	10
參考文獻.....	11
計畫成果自評.....	15

海運軸輻路網系統之最適化支線指派模式

一、緒論

貨櫃化運輸興起後，貨櫃船運送漸漸取代傳統雜貨船，成為定期船運的市場主流，由於造船技術與港埠效率提升，促使貨櫃船型朝向大型化發展趨勢，在 2007 年，世界級大航商各自有超大型貨櫃船 (post-Panamax 級) 加入營運，例如：Maersk Sealand $6 \times 8,200$ TEU， $4 \times 9,200$ TEU；MSC $19 \times 8,000$ TEU， $13 \times 9,200$ TEU；PONL $10 \times 8,478$ TEU 等。雖然謝尚行和王賢崙(民 95)指出，貨櫃船大型化有益於航商利潤的增加；然而，從港口和市場的條件來看，並非所有港口的流量規模，皆足以發揮大型貨櫃船的規模經濟性。因此，隨著船舶大型化的發展，航商為能有效發揮大船效率，勢必改變傳統單一航線的航行規劃，而選擇以運量、腹地較大的港口，作為大型船舶航行的停靠站。此趨勢演變使得貨櫃航線型態，發展出海運航線的主線與支線路網型態。

所謂海運主線與支線的路網型態，就是在航區的相鄰港埠群當中，母船僅選擇其中少數合適的大港作為停靠港，稱作軸心港 (hub ports)，而母船航行於航區軸心港之間，即稱為主線 (interhub service)。對軸心港臨近的小港而言，母船不停靠，故由集貨船進行集貨工作，貨櫃由此運至軸心港，這些小港就稱為集貨港 (feeder ports)，而集貨船航行於集貨港與軸心港之間，即稱支線 (feeder service)。這種主線與支線相互配合的經營方式，能夠發揮大型貨櫃船大量裝載的特性，降低單位貨櫃的運輸成本，而軸心港口作業較快速，能增加大型貨櫃船在主線的服務航次，而達到規模經濟的效果，為航商創造利潤。

在航空運輸方面也有類似的發展，從 1978 年美國解除航空管制後，逐漸形成以空運中心為「軸」，其他航空站為「輻」之航線配置，稱為軸輻路網 (hub-and-spoke networks)。此運輸型態將低度使用之航線，藉由空運中心轉運的方式，使流量集中在主要航線上，能產生規模經濟，降低單位運送成本。因此，在軸輻網路的定期貨櫃船經營模式下，航商如何選擇適當的軸心港作為航區中心，完成結合接駁支線的路網式航線規劃，提高船隊運送效率與競爭力，己是目前航線經營的主要發展趨勢。

軸輻路網式航線的規劃問題，在於尋找出最佳的軸心港的「數目」和「位置」及非軸心港到軸心港的「指派」的組合，以完成最適的系統設計，其目的是使軸輻路網的總運輸成本最低，亦即軸心港位置問題(hub location problem)與集貨港指派問題 (spoke allocation problem) 的結合。學術上對軸輻路網式的航線研究，目前仍集中在航空運輸 (O'Kelly, 1987; Klinecicz, 1992; Campbell, 1994, 1996; Skorin-Kapov et al. 1994, 1996; Aykin, 1990, 1995; Ernst and Krishnamoorthy, 1996; O'Kelly and Lao, 1991; Klinecicz, 1996; Krishnamoorthy et al. 1998, 2004; Kara and Tansel, 2000, 2003)，而論及海運船隊運輸則不多。

軸輻路網依運送系統的不同特性，例如，港口規模、運具特性、港口指派，及貨物屬性，而表現出許多複雜的路網型態。貨櫃船定期航線在軸輻路網型態上的獨特性是：非完全路網、單一指派，及非嚴格路網型(Hsieh and Wong 2003,2004,2006)。過去探討航線問題的研究(Ronen, 1993;Rana and Vickson, 1988, 1991)，主要在港口順序的決策上，忽略接駁系統的分析。謝尚行和張斐茹(民 90)首先以 O'Kelly (1987)單一指派模式為基礎，建立一個「海運軸輻路網模式」，但為求目標值易解，此數學式適度被簡化為線性模式。謝尚行、游志誠及王賢崙 (民 90)，Hsieh and Wong (2003,2004,2006) 進一步發展二次指派(quadratic assignment)的整數規劃模式，允許集貨港與軸心港不直接相連的支線型態存在，即非嚴格路網政策 (Aykin,1994)，求解海運路網軸心港的位置。謝尚行、王賢崙及宋文俊 (民 91) 除了允許集貨港與軸心港不直接相連外，並以迴圈作為支線航行基礎，決定子船船隊的最佳數目。海運軸心港位置模式(謝尚行、游志誠及王賢崙，民 90；Hsieh and Wong,2003,2004,2006)初步產生的軸輻路網內，雖然能夠求解出主線軸心港位置與航線，但支線系統之集貨港指派與連結仍不存在，而無法描述海運軸輻路網航線之轉運接駁特性。

為求改善過去研究的缺點，本研究將進一步建構數學規劃式，解決集貨港的指派問題，以求解完整支線路網系統全貌。由於支線系統呈現單一指派、非嚴格的路網型態(Hsieh and Wong 2003, 2004,2006)，本文仍將以此假設為基礎，在支線航線包含兩個以上集貨港的條件下，規劃最佳支線航線型態。在軸輻路網的定線基礎下，航商考量的營運因素為：貨櫃船多靠幾個集貨港，則營運成本會增加，但是運費收入(每航次之載櫃率)也能增加，關鍵就在於利潤(運費收入-營運成本) 能否增加。因此，本文海運集貨港指派模式，將以收入和成本分析靠港數多寡，考量運費、貨櫃流量、港埠成本、船型、航行頻次、及船舶承載限制因素，以能創造利潤最大之軸輻路網作為船隊支線基礎。

最後，本研究將以越太平洋航線(遠東--北美西岸)為例，說明航商如何應用『集貨港指派模式』，在軸心港位置給定下，以規劃其船隊之支線航線。在實例中，本研究整理近年來越太平洋航線上各主要海運公司航線之分佈狀態，挑選此航線上 15 個重要港口為研究對象，選定高雄、香港為遠東地區之軸心港，洛杉磯與長堤為北美西岸之軸心港，並配合此航線之運量與成本，建立集貨港指派模式，並嘗試利用 O'Kelly (1987)所提供啟發式解法的概念，加以求解與分析

二、集貨港指派模式建構

本研究目的在於求解支線上集貨港指派問題，因此，在模式建構上，仍以軸輻路網架構式為基礎，但不同於航空模式(Klincewicz, 1992; Campbell, 1994, 1996; Skorin-Kapov et al. 1994, 1996)的架構，在設計上必須涵蓋到以下幾點：(1)單一指派上，集貨港與軸心港指派，及集貨港航段的問題，此將以 0-1 整數變數，在模式內表示，以反應出海運

接駁航行特色。(2) 非嚴格路網上，航空模式不探討，集貨港航段以迴圈與直達的航行路徑為原則，目的在能反應較高承載率，配合利潤最大的求解目標。(3) 軸心港的數量與位置，此問題在航空模式內不探討，但為海運的分析重點，此點將以給予方式，在模式內表示。(4) 在收入和成本的抵換下，由模式解出決策變數，且分析其與軸輻路網設計的關連性。

軸輻路網航線規劃問題，主要是決策軸心港的位置，及集貨港的指派和連結型態，並達成軸輻路網總利潤最大化的目標。在數學規劃式上，軸輻路網式的航線設計問題本質是指派(assignment)問題，所謂指派是指關於運輸上最佳成對節點的配置，為求兩節點間的運輸成本最低的問題。一般而言，這類模式特性是有限制條件的二次指派、0-1 整數規劃，因此在求解目標式時極為複雜，屬於 NP-Hard(non-deterministic polynomial hard)問題，目前學術上對此問題的解決途徑，主要是以發展啟發式解法或線性化方式，處理求解問題。本文建構的集貨港指派模式基礎，在軸心港的位置給定下，以追求利潤最大化為目標，並以距離最近(distance rule)為指派原則，簡化港口指派的複雜度，提高求解及演算效率。此作法雖然不能保證尋找出確切解(exact solution)，但理論上是為近似最佳解。

本文建構的集貨港指派模式，目標在解決集貨港的分配，在最大利潤為前提下，經由指派原則，完成支線上的集貨港與軸心港的連結，及航行路徑。求解進行的步驟是，首先將這些未評選為軸心港的剩下港，亦即集貨港，分別指派到軸心港，指派原則是每一個集貨港與最近的一個軸心港相連結，直到每個集貨港指派完畢。其次，處理集貨港與到軸心港的航行路徑，本文假設迴圈與直達型態能創造最高承載率，因此，支線將以此航行型態為基礎，其目的是符合求解支線的目標值(利潤最大化)。當解出此值時，其對應出的，就是模式的最佳一組支線組合，包括集貨港指派及數量，藉此完成貨櫃船的支線系統設計。

2.1 目標函數：

本研究擬構建的集貨港指派模式，其目標式如(1)所示，Z 表示目標式之最大利潤值。

Max

$$\begin{aligned}
 Z = & \left(\sum_{i=1}^n \sum_{m=1}^{m_i} \sum_{j=1}^n P_{(im)j} F_{(im)j} x_{ij} z_{ij} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_j} \sum_{n=1}^n P_{i(jn)} F_{i(jn)} x_{jn} z_{ij} + \sum_{i=1}^n \sum_{n'=1}^{m_i} \sum_{j=1}^n \sum_{n''=1}^{m_j} P_{(in')j} F_{(in')j} z_{(in')j} z_{ij} - \sum_{i=1}^n U_i^f x_i \right) \\
 & \times N^m \times R^n - \sum_{i=1}^n \sum_{n_o=0}^{m_i} \sum_{u=1}^{m_i+1} N_i^f \times R_i^f \times S_{(in')j}^f y_{(in')j} x_i - \sum_{i=1}^n Q_{in}^f x_i - \sum_{i=1}^n Q_i^f x_i - 365 \times C^f \times \sum_{i=1}^n N_i^f x_i
 \end{aligned} \tag{1}$$

目標式(1)是計算支線利潤的數學模式，支線上子船的運費收入來自三個航段的貨源：集貨港至軸心港、軸心港至集貨港，及集貨港經由軸心港航段至集貨港。目標式(1)

內

$$U_i^f = U_i \left(\begin{aligned} & \sum_{n=1}^{m_i} \sum_{p=1}^n \sum_{n'=1}^{m_p} F_{(pn')(in)} z_{(pn')(in)} z_{ip} + \sum_{n=1}^{m_i} \sum_{p=1}^n \sum_{n'=1}^{m_p} F_{(in)(pn)} z_{(in)(pn)} z_{ip} \\ & + \sum_{n=1}^{m_i} \sum_{p=1}^n F_{(in)p} x_{in} z_{ip} + \sum_{p=1}^n \sum_{n=1}^{m_i} F_{p(in)} x_{in} z_{pi} + \sum_{p=1}^n \sum_{n=1}^{m_p} F_{i(pn')} x_{pn} z_{ip} + \sum_{p=1}^i \sum_{n=1}^{m_p} F_{(pn)i} x_{pn} z_{pi} \end{aligned} \right)$$

$$i=1,2,\dots,n ; p \neq i \quad (2)$$

表示貨櫃在軸心港的裝卸成本，此項成本是集貨港的貨櫃，經由軸心港航段轉運至另一集貨港時會產生，所產生的動作是貨櫃在子船與母船之間的轉換，此轉換動作在軸心港，而這些轉換動作的可能，是源自上述三航段的貨櫃流向。目標式(1)內，

$$S_{(in^o)(in^d)}^f = D^f \left[(d_{(in^o)(in^d)} + d_{(in^d)i} + d_{i(in^o)}) \div (v^f \times 24) \right]$$

$$i=1,2,\dots,n \quad n^o=1,2,\dots,m_i \quad n^d=1,2,\dots,m_i \quad n^o < n^d \quad (3)$$

表示以軸心港(i)為支線系統的航行成本，其中， $d_{i(in^o)} + d_{(in^d)i} + d_{(in^o)(in^d)}$ 表示以軸心港(i)為支線系統的航段的距離，包括迴圈航行的三個航段，以距離除以子船平均航行速度(V^f)，再乘每日的航行成本(D^f)，即得到每艘子船的每航次航行成本($S_{(in^o)(in^d)}^f$)。目標式(1)內，

$$R_i^f = 365 \div \left(\sum_{n^o=1}^{m_i} \sum_{n^d=1}^{m_{i=1}+1} (T_{i(in^o)}^{fs} + T_{(in^d)i}^{fs} + T_{(in^o)(in^d)}^{fs}) y_{(in^o)(in^d)} + \sum_{n=1}^{m_i} T_{in}^{fb} x_{in} \right)$$

$$i=1,2,\dots,n \quad (4)$$

表示以軸心港(i)為支線系統的每艘子船每年的航行次數，此值計算是以一年 365 天除以子船往返一航次的航行時間及靠港時間而得出。其中， $T_{i(in^o)}^{fs} + T_{(in^d)i}^{fs} + T_{(in^o)(in^d)}^{fs}$ 表示子船從集貨港(in^o)經軸心港(i)，到集貨港(in^d)的迴圈航行時間， $T_{(in)}^{fb}$ 表示子船在集貨港(in)的停靠時間。目標式(1)內，

$$\begin{aligned}
O_{in}^f = & N^f \times R^f \times W_{in}^f + U_{in} \left(\sum_{p=1}^n F_{p(in)} x_{in} z_{pi} + \sum_{p=1}^n \sum_{n'=1}^{m_p} F_{(pn')(in)} z_{(pn')(in)} z_{pi} \right. \\
& \left. + \sum_{p=1}^n F_{(in)p} x_{in} z_{ip} + \sum_{p=1}^i \sum_{n'=1}^{m_p} F_{(in)(pn')} z_{(in)(pn')} z_{ip} \right) \times N^m \times R^m \\
& i=1,2,\dots,n \quad n=1,2,\dots,m_i \quad (5)
\end{aligned}$$

表示子船在集貨港(in)的靠港成本，以碇泊費用及裝卸成本為代表項目，上式(5)內， $N^f \times R^f \times W_{in}^f$ 表示子船總碇泊費用， N^f 是子船數目、 R^f 是子船航行次數，而 W_{in}^f 是子船在集貨港(in)的碇泊費用。目標式(1)內，

$$\begin{aligned}
Q_i^f = & N^f \times R^f \times W_i^f + U_i \left(\sum_{p=1}^n \sum_{n=1}^{m_i} F_{p(in)} x_{in} z_{pi} + \sum_{p=1}^n \sum_{n^o=1}^{m_p} \sum_{n=1}^{m_i} F_{(pn^o)(in)} z_{(pn^o)(in)} z_{pi} \right. \\
& \left. + \sum_{n=1}^{m_i} \sum_{p=1}^n F_{(in)p} x_{in} z_{ip} + \sum_{n=1}^{m_i} \sum_{p=1}^n \sum_{n^d=1}^{m_p} F_{(in)(pn^d)} z_{(in)(pn^d)} z_{ip} - \sum_{n^o=1}^{m_j} \sum_{n^d=1}^{m_i} F_{(in^o)(in^d)} z_{(in^o)(in^d)} x_i \right) \times N^m \times R^m \\
& i=1,2,\dots,n \quad (6)
\end{aligned}$$

表示支線航線上，子船停靠軸心港(i)的總靠港成本，包含碇泊費用及裝卸成本， $N^f \times R^f \times W_i^f$ 表示子船停靠軸心港 i 的總碇泊費用、 N^f 表示子船的數量、 R^f 表示子船的航次， W_i^f 表示子船每次停靠軸心港的碇泊費用。

2.2 限制式

集貨港指派模式的限制式，是反應軸輻路網在主線、支線的接駁流量特性，這些在軸心港轉運的貨櫃，必須不能超過船舶的容量，說明如下：

(1) 母船去程容量限制

$$\begin{aligned}
I_{L,o}^m = & \sum_{p=1}^i \sum_{j=i+1}^n F_{pj} z_{pj} + \sum_{p=1}^i \sum_{j=i+1}^n \sum_{n^d=1}^{m_j} F_{p(jn^d)} x_{jn^d} z_{pj} + \sum_{p=1}^i \sum_{n^o=1}^{m_p} \sum_{j=i+1}^n F_{(pn^o)j} x_{pn^o} z_{pj} + \sum_{p=1}^i \sum_{n^o=1}^{m_p} \sum_{j=i+1}^n \sum_{n^d=1}^{m_j} F_{(pn^o)(jn^d)} z_{(pn^o)(jn^d)} z_{pj} \leq Q^m \\
& i=1,2,\dots,n \quad n=1,2,\dots,m_i \quad (7)
\end{aligned}$$

(2) 母船回程容量限制

$$L_{i,r}^m = \sum_{p=1}^i \sum_{j=i}^{i-1} F_{pj} z_{pj} + \sum_{p=1}^i \sum_{j=1}^{i-1} \sum_{r'=1}^{m_j} F_{p(jr')} x_{jr'} z_{pj} + \sum_{p=1}^i \sum_{r'=1}^{m_p} \sum_{j=1}^{i-1} F_{(pr')j} x_{pr'} z_{pj} + \sum_{p=1}^i \sum_{r'=1}^{m_p} \sum_{j=1}^{i-1} \sum_{r''=1}^{m_j} F_{(pr')(jr'')} z_{(pr')(jr'')} z_{pj} \leq Q^n$$

$$i=1,2,\dots,n \quad n=1,2,\dots,m_i \quad (8)$$

(3) 子船在同支線上容量限制

$$L_{in}^{fa} = \sum_{p=1}^i \sum_{r'=1}^{m_p} F_{p(in^r')} x_{in^r'} z_{pi} + \sum_{p=1}^i \sum_{r'=1}^{m_p} \sum_{r''=1}^{m_p} F_{(pr')(in^r'')} z_{(pr')(in^r'')} z_{pi} + \sum_{r'=1}^n \sum_{p=i}^n F_{(in^r')p} x_{in^r'} z_{ip} + \sum_{r'=1}^n \sum_{p=i+1}^n \sum_{r''=1}^{m_p} F_{(in^r')(pr'')} z_{(in^r')(pr'')} z_{ip} \leq Q^f$$

$$i=1,2,\dots,n \quad n=1,2,\dots,m_i \quad (9)$$

(4) 子船在不同支線上容量限制

$$L_i^{fl} = \sum_{p=1}^i \sum_{r'=1}^{m_p} F_{p(in^r')} x_{in^r'} z_{pi} + \sum_{p=1}^{i-1} \sum_{r'=1}^{m_p} \sum_{r''=1}^{m_p} F_{(pr')(in^r'')} z_{(pr')(in^r'')} z_{pi} \leq Q^f$$

$$i=1,2,\dots,n \quad n=1,2,\dots,m_i \quad (10)$$

限制式(7)表示母船去程容量限制，當母船離開軸心港(i)時，所裝載貨櫃量必須小或等於船舶容量(Q^m)。限制式(8)表示母船回程容量限制，當母船抵達軸心港(i)時，所裝載的貨櫃量必須小於或等於母船船舶的容量(Q^m)。限制式(9)表示子船在同支線上容量限制，當子船由軸心港(i)前往集貨港(in)時，所載運的貨櫃量小於或等於子船船舶的容量(Q^f)。限制式(10)表示子船在不同支線上容量限制，當子船由軸心港(i)出發往集貨港(in)時，所裝載的貨櫃量必須小於或等於子船船舶容量(Q^f)。

2.3 決策變數：

$$x_{in} = \begin{cases} 1 & \text{其他} \\ 0 & \text{表示子船停靠集貨港 } in, \end{cases}$$

$$y_{(in^o)(in^d)} = \begin{cases} 1 & \text{表示集貨港 } in^o \text{ 和 } in^d \text{ 直接連接，亦即航段}(in^o, in^d)\text{存在，} \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

$$z_{(in^o)(in^d)} = \begin{cases} 1 & \text{表示子船有停靠集貨港 } in^o \text{ 和 } in^d, \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

集貨港指派模式是要決定集貨港指派與航線型態問題，完成支線路網。此模式中考量有三個決策變數，皆以 0-1 整數表現，此設計用意，就是為要符合本文建立的海運單一指派、非嚴格路網假設。其中， x_{in} 代表集貨港變數，變數(x)下標內第一符號(i)表示軸心港位置，下標內第二符號(n)表示集貨港位置，當 x_{in} 變數存在時，表示支線系統內產生集貨港(in)，且這集貨港(in)僅指派到第 i 個位置的軸心港；而 $y_{(in^o)(in^d)}$ 代表支線航段變數，變數(y)下標內符號 in^o 、 in^d 表示集貨港的起、迄位置，當 $y_{(in^o)(in^d)}$ 變數存在時，此表示支線系統內產生二個集貨港，且他們是以迴圈式型態、相互連結。這兩變數是模式求解的主要目的，當模式在解出函數最大目標值時，同時會得出目標值所對應的決策變數 x_{in} 和 $y_{(in^o)(in^d)}$ 值，這表示集貨港的指派(到哪一個軸心港)，及支線的航段(集貨港有無連結)與航線(集貨港的連結)問題，可經由模式解決。

2.4 決策參數：

$P_{(in)j}$ = 支線航段(in, j)的每單位貨櫃運價；以美元/TEU 表示。

$P_{j(in)}$ = 支線航段(j, in)的每單位貨櫃運價；以美元/TEU 表示。

$P_{(in^o)(jn^d)}$ = 支線航段(in^o , jn^d)的每單位貨櫃運價；以美元/TEU 表示。

$F_{(in)j}$ = 支線航段(in^o , jn^d)的貨櫃流量。

$F_{j(in)}$ = 支線航段(j, in)的貨櫃流量。

$F_{(in)(jn)}$ = 支線航段(in^o , jn^d)的貨櫃流量。

$S_{(in^o)(jn^d)}^f$ = 每艘子船在支線航段(in^o , jn^d)的航行成本。

O_{in}^f = 每艘子船在集貨港(in)的港埠成本。

O_i^f = 每艘子船在軸心港(i)的港埠成本。

U_i^f = 每艘子船在軸心港(i)的裝卸貨櫃成本。

L_{in}^{fa} = 每艘子船行駛到集貨港(in)前，船上承載的貨櫃量；以 TEU 計算。

L_i^{fl} = 每艘子船離開軸心港(i)後，船上承載的貨櫃量；以 TEU 計算。

W_{in}^f = 每艘子船在集貨港(in)的碇泊成本。

U_{in} = 每單位貨櫃在集貨港(in)的裝卸貨櫃費用；以美元/TEU 表示。

D^f = 每艘子船的每日固定成本。

C^f = 每艘子船的每日航行成本。

Q^f = 每艘子船可承載的單位貨櫃容量；以 TUE 計算。

N_i^f = 規劃時期內子船佈署的數量。

R_i^f = 規劃時期內每艘子船的船行次數。

三、數值測試與說明

3.1 模式求解步驟

集貨港指派模式目的解決集貨港的分配，在最大利潤為前提下，經由指派原則，完成支線上的集貨港與軸心港的連結，及航行路徑。求解步驟是，首先將這些未評選為軸心港的剩下港，亦即集貨港，分別指派到軸心港，指派原則是每一個集貨港與最近的一個軸心港相連結，直到每個集貨港指派完畢，其次處理集貨港與到軸心港的路徑，本文以迴圈航行型態為基礎，求解由支線的目標值，此值對應的就是集貨港指派模式的最佳一組支線組合，包括集貨港指派及數量，以完成貨櫃子船的支線航線。求解步驟如下：

[步驟 1] 對計劃航行區域內的港口，先決策出軸心港與集貨港。

[步驟 2] 決定軸心港之間的航行型態與母船服務頻次，完成主軸線的規劃。

[步驟 3] 建立指派原則並完成集貨港到軸心港指派，以建立支線系統。

[步驟 4] 決定集貨港到軸心港的航行型態及子船數量，完成支線的規劃。

[步驟 5] 調整主軸線與支線的航行可能組合，以達到利潤最大化目標。

[步驟 6] 完成最適海運軸輻路網式的貨櫃船航線規劃。

3.2 測試結果

本文在港口的選取，以綜合貨櫃量、國家、港口排名，並考慮大型貨櫃母船靠港限制，選取越太平洋航線的國際貨櫃航線為例，主要港口如表 (1) 所示，此航線的港口、流量，及距離特性，適合作為主線、接駁線的航線規劃，參見前文Robinson (1998) 的分析。實例內各相關資料¹，例如，貨櫃流量、貨櫃船成本，及港埠費用等，由港口網站上公佈資料及參訪國內航商而得。模式求解方面，本文以啟發式解法原則，根據前文求解步驟，應用數學軟體Mathematica 4.0 執行計算。航商規劃前的準備，提供 10 艘貨櫃母船，子船則視各個集貨系統的港口與流量而定，數量不一，由模式決定。

表 1 越太平洋航線主要貨櫃港在世界排名(單位：10³ TEU)

排名		港口	國別	貨櫃裝卸量	
2004	2003			2004	2003
1	1	香港 (Hong Kong)	中國大陸	21,984	20,449
2	2	新加坡 (Singapore)	新加坡	21,329	18,411
3	3	上海(Shanghai)	中國大陸	14,557	11,283
5	5	釜山 (Pusan)	韓國	11,492	10,247
6	6	高雄 (Kaoshiung)	台灣	9,714	8,843
8	7	洛杉磯 (Los Angeles)	美國	7,321	7,179
12	13	長堤 (Long Beach)	美國	5,780	4,658
20	17	東京 (Tokyo)	日本	3,580	3,314

(資料來源：Containerisation International, March. 2005)

我們以 4 個軸心港的其中一組 {3、4、6、11} 為例子，說明求解步驟，首先將這組內其餘的港口 (集貨港) {2、5、6、7、8、9、10}，按距離原則，指派給最近軸心港，港口指派型態是：{1}□3、{2,5}□4、{7,8,9,10}□6、{12}□11。其次對支線包含 2 個 (或以上) 的集貨港，以迴圈方式規劃子船的航行型態，因此軸心港 4 和軸心港 6 的支線採迴圈型態，而軸心港 3 和軸心港 11 各只有一個集貨港，採直航。最後求解這組的集貨港指派模式之目標值，得出值為 34.8803*106，如表 1 所示。其他不同港口位置的目標值，求解結果，依遞減排序為：{(3, 4, 6, 11)、(2, 3, 4, 11)、(3, 4, 7, 11)、(3, 4, 11, 12)、

¹ Sources: (1) Key Indicators 2005: Education for Global Participation, Asia Development Bank 2004, (2) Official U.S. Waterborne Transportation Statistics, Maritime Administration, Department of Transportation, 2004, (3) Containerization International Yearbook 2004, (4) Institute of Transportation, Ministry of Transportation & Communications, Taiwan, R.O.C.

(3, 4, 11,12)、(3, 4,5, 11)、(3, 4, 10,11)、(3, 4, 8, 11)}。以相同求解步驟，可解 5 個到 8 個軸心港的集貨港指派模式之目標值，整理如表 2。表 3 顯示集貨港指派模式求解出各組最大目標值的排序。

表 2 設置 4 個軸心港之集貨港指派模式求解目標值排序

	目標值 (10 ⁶ 美元)	軸心港編號	集貨港指派	子船 艘數
1	34.8893	3, 4, 6, 11	{1}→3、{2,5}→4、{7,8,9,10}→6、{12}→11	6
2	20.6635	2, 3, 4, 11	{1}→2、{5,6,7,8,9,10}→4、{12}→11	8
3	16.5469	3, 4, 7, 11	{1}→3、{2,5}→4、{6,8,9,10}→7、{12}→11	5
4	15.6017	3, 4, 11, 12	{1}→3、{2,5,6,7,8,9,10}→4	9
5	4.8501	3, 4, 5, 11	{1}→3、{2}→4、{6,7,8,9,10}→5、{12}→11	8
6	2.9833	3, 4, 10, 11	{1}→3、{2,5,6}→4、{7,8,9}→10、{12}→11	6
7	1.2495	3, 4, 8, 11	{1}→3、{2,5,6}→4、{7,9,10}→8、{12}→11	6

在軸心港數量固定下，軸心港位置模式和集貨港指派模式的目標值，兩者相加，得出值就是單一指派非嚴格海運軸輻路網模式的總目標值，其中最大目標值，有一組，此值意義：在利潤最大化目標下，最佳軸輻路網式的貨櫃船航線型態與規劃，決策包括主軸線與支線型態、軸心港個數和位置、集貨港指派，及母船航行頻次和子船數目。表 2 顯示軸輻路網模式最後求解的結果，最大目標值落在 5 個軸心港，港口是：{3,4,6,11,12}，支線指派型態是：{1}□3、{2,5}□4、{7,8,9,10}□6，港口{11}和{12}為單一軸心港，主軸線每艘母船每年航行 10 個頻次，支線上有 6 艘子船配合。其餘的目標值，依遞減排序是 6、7、8、4 個軸心港的組合。以本例的 12 港口背景求解結果，表示如果航商要規劃越太平洋航線，在追求最大利潤目標下，軸心港的最佳選擇為：香港、高雄、上海、洛杉磯、長堤，同時配合 3 個支線系統，而上海則是航線的最大支線系統。

表 2 也顯示子船數目皆隨軸心港增加而減少，這點與實務上一致，當軸心港數量較多，則主軸線上航行距離長，因此貨櫃母船每年的往返頻次少，同時軸心港數量較多，相對地集貨港隨之較少，則支線上子船數目少。實例 12 港口求解結果，表示如果航商要規劃越太平洋航線，在追求最大利潤目標下，則主軸線由香港、高雄、上海、洛杉磯、長堤等 5 個軸心港組成，配合香港、高雄、上海為中心的支線系統，所形成的軸輻路網航線，而以 10 艘 6,000TEU 母船以每星期 1~2 的頻次，往返於主線上，及 6 艘 1,000TEU 子船於支線上航行。此軸輻路網航線與實務上航線系統相似，以亞洲-美國西岸航線為例，國內陽明海運的越太平洋國際貨櫃航線，在主軸線有母船往返停靠鹽田-高雄-上海-陽光-釜山-洛杉磯-奧克蘭等 7 個港，同時有以高雄和上海為中心的區域接駁支線，即高雄-基隆-馬尼拉，上海-橫濱-東京-上海航線，此就是一組越太平洋的主軸與支線的軸輻路網系統。如果扣除主軸線上不同的停靠港口，本文在軸心港的選擇和支線系統建立略

接近於實際。

表 3 集貨港指派模式之各組最大目標值

目標值 (10 ⁶ 美元)	軸心 港數	子船 數目	集貨港指派
34.8803	4	6	{1}→3、{2,5}→4、{7,8,9,10}→6、{12}→11
35.8838	5	5	{1}→3、{2,5}→4、{7,8,9,10}→6
14.0186	6	3	{1}→3、{2,5}→4、{8,9,10}→7
11.1096	7	3	{1}→3、{2,5}→4、{8,9,10}→7
7.7633	8	2	{1}→2、{8,9,10}→7

四、結論與建議

本文運用海運軸輻路網架構，建立集貨港模式，在給定母船數量與子船船型、運費、貨櫃流量、裝卸費用、裝卸率、承載率、燃油價格，及營運成本等相關資料，以越太平洋航線為航線區域，測試及分析航商在追求利潤最大目標下，如何完成軸輻路網式的貨櫃船隊支線航線的規劃。在市場需求滿足前提下，給定主軸線母船數量，依據實例求解結果，本模式能有效地解決支線航線的設計與指派問題，研究得到結論是，集貨港的指派不僅會改變軸心港數量與位置，且能改變總利潤與軸輻路網式的航線設計。本文研究結論有提供航商在航線規劃之參考價值。

參考文獻

1. 王賢崙、許惠淑，「軸輻路網折扣係數之經濟效益分析」，第 7 屆中小企業管理研討會，國立中正大學企業管理研究所，頁 382-391，民國 95 年。
2. 宋文俊，「以利潤最大化為目標之貨櫃船定線模式」，國立交通大學運輸科技與管理研究所碩士論文，民國 91 年。
3. 謝尚行、王賢崙，「貨櫃船最適船型的理論與實務探討」，中華民國運輸學會 89 年年會暨第 15 屆學術論文研討會，頁 755-764，民國 90 年。
4. 謝尚行、王賢崙，「最適貨櫃船型與船速之非線性規劃模式」，運輸學刊，第 8 卷 1 期，頁 1-26，民國 95 年。
5. 謝尚行、王賢崙、宋文俊，「以利潤最大化為目標之貨櫃船隊定線模式」，中華民國運輸學會 91 年年會暨第 17 屆學術論文研討會，頁 95-104，民國 91 年。

6. 謝尚行、游至誠、王賢崙，「允許集貨港與軸心港不直接相連之海運軸路網模式」，中華民國運輸學會 90 年年會暨第 16 屆學術論文研討會，頁 891-899，民國 90 年。
7. 謝尚行、張斐茹，「軸輻路網模式在國際定期貨櫃船航線之應用」，運輸計劃季刊，第 30 卷 4 期，頁 871-890，民國 90 年。
8. Aykin, T., "On a Quadratic Integer Program for the Location of Interacting Hub Facilities," *European Journal of Operational Research* 46, pp. 409-411 (1990).
9. Aykin, T., "Lagrangean Relaxation Based Approaches to Capacitated Hub-and-Spoke Network Design Problem," *European Journal of Operational Research* 79, pp. 501-523 (1994).
10. Aykin, T., "Networking Policies for Hub-and-Spoke Systems with Applications to the Air Transportation System," *Transportation Science* 29, pp. 201-221 (1995).
11. Campbell, J.F., "Integer Programming Formulations of Discrete Hub Location Problems," *European Journal of Operational Research* 72, pp. 387-405 (1994).
12. Campbell, J.F., "Hub Location Problems and the p -Hub Median Problem," *Operations Research* 44, pp. 923-935 (1996).
13. Hsieh, S.H. and H. L. Wong, "A Marine Hub-and-Spoke Network Model Allowing the Feeder Ports Not to Directly Connect to Hub Ports," Paper Presented at the Transportation Research Board Annual (TRB) 82nd Meeting, National Research Council, Washington, DC (2003).
14. Hsieh, S. H. and H. L. Wong, "The Marine Single Assignment Nonstrict Hub location Problem: Formulation and Experimental Examples," *Journal of Marine Science and Technology* 12, pp. 343-353 (2004). Hsieh, S. H. and H. L. Wong, "The Effect of Feeder Route Arrangement to Interhub Linkage in Marine Hub-and-Spoke Networks," *WSEAS TRANSACTIONS on Business and Economics* 3, pp.163-168 (2006).
15. Kara, B.Y. and Tansel, B.C., "On the Single-Assignment p -Hub Center Problem," *European Journal of Operational Research* 125, pp. 648-655 (2000).
16. Kara, B.Y. and Tansel, B.C., "The Single-Assignment Hub Covering Problem: Models and Linearizations," *Journal of Operational Research Society* 54, pp. 59-64 (2003).
17. Klincewicz, J.G., "Heuristics for the p -Hub Location Problem," *European Journal of Operational Research* 53, pp. 25-37 (1991).
18. Klincewicz, J.G., "Avoiding Local Optima in the p -Hub Location Problem Using Tabu Search and Grasp," *Annals of Operations Research* 40, pp. 283-302 (1992).
19. Klincewicz, J.G., "A Dual Algorithm for the Uncapacitated Hub Location Problem," *Location Science* 4, pp. 173-184 (1996).
20. Kara, B.Y. and Tansel, B.C., "On the Single-Assignment p -Hub Center Problem," *European Journal of Operational Research* 125, pp. 648-655 (2000).
21. Kara, B.Y. and Tansel, B.C., "The Single-Assignment Hub Covering Problem: Models and Linearizations," *Journal of Operational Research Society* 54, pp. 59-64 (2003).

22. Klincewicz, J.G., "Heuristics for the p -Hub Location Problem," *European Journal of Operational Research* 53, pp. 25-37 (1991).
23. Klincewicz, J.G., "Avoiding Local Optima in the p -Hub Location Problem Using Tabu Search and Grasp," *Annals of Operations Research* 40, pp. 283-302 (1992).
24. Klincewicz, J.G., "A Dual Algorithm for the Uncapacitated Hub Location Problem," *Location Science* 4, pp. 173-184 (1996).
25. Skorin-Kapov, D. and Skorin-Kapov, J., "On Tabu Search for the Location of Interacting Hub Facilities," *European Journal of Operational Research* 73, pp. 502-509 (1994).
26. Skorin-Kapov, D., Skorin-Kapov, J., and O'Kelly, M. E., "Tight Linear Programming Relaxations of Uncapacitated p -Hub Median Problems," *European Journal of Operational Research* 94, pp. 582-593 (1996).
27. Hsieh, S. H. and H. L. Wong, "The Effect of Feeder Route Arrangement to Interhub Linkage in Marine Hub-and-Spoke Networks," *WSEAS TRANSACTIONS on Business and Economics* 3, pp.163-168 (2006).
28. Kara, B.Y. and Tansel, B.C., "On the Single-Assignment p -Hub Center Problem," *European Journal of Operational Research* 125, pp. 648-655 (2000).
29. Kara, B.Y. and Tansel, B.C., "The Single-Assignment Hub Covering Problem: Models and Linearizations," *Journal of Operational Research Society* 54, pp. 59-64 (2003).
30. Klincewicz, J.G., "Heuristics for the p -Hub Location Problem," *European Journal of Operational Research* 53, pp. 25-37 (1991).
31. Klincewicz, J.G., "Avoiding Local Optima in the p -Hub Location Problem Using Tabu Search and Grasp," *Annals of Operations Research* 40, pp. 283-302 (1992).
32. Klincewicz, J.G., "A Dual Algorithm for the Uncapacitated Hub Location Problem," *Location Science* 4, pp. 173-184 (1996).
33. Kara, B.Y. and Tansel, B.C., "On the Single-Assignment p -Hub Center Problem," *European Journal of Operational Research* 125, pp. 648-655 (2000).
34. Kara, B.Y. and Tansel, B.C., "The Single-Assignment Hub Covering Problem: Models and Linearizations," *Journal of Operational Research Society* 54, pp. 59-64 (2003).
35. Klincewicz, J.G., "Heuristics for the p -Hub Location Problem," *European Journal of Operational Research* 53, pp. 25-37 (1991).
36. Klincewicz, J.G., "Avoiding Local Optima in the p -Hub Location Problem Using Tabu Search and Grasp," *Annals of Operations Research* 40, pp. 283-302 (1992).
37. Klincewicz, J.G., "A Dual Algorithm for the Uncapacitated Hub Location Problem," *Location Science* 4, pp. 173-184 (1996).
38. Skorin-Kapov, D. and Skorin-Kapov, J., "On Tabu Search for the Location of Interacting Hub Facilities," *European Journal of Operational Research* 73, pp. 502-509 (1994).

39. Skorin-Kapov, D., Skorin-Kapov, J., and O’Kelly, M. E., “Tight Liner Programming Relaxations of Uncapacitated p -Hub Median Problems,” *European Journal of Operational Research* 94, pp. 582-593 (1996).

明新科技大學 97 年度 研究計畫執行成果自評表

計畫類別： <input type="checkbox"/> 任務導向計畫 <input type="checkbox"/> 整合型計畫 <input checked="" type="checkbox"/> 個人計畫 所屬院(部)： <input type="checkbox"/> 工學院 <input checked="" type="checkbox"/> 管理學院 <input type="checkbox"/> 服務學院 <input type="checkbox"/> 通識教育部 執行系別：國際企業系 計畫主持人：王賢崙 職稱：副教授 計畫名稱：海運軸輻路網系統之最適化支線指派模式 計畫編號：MUST-97-國企-4 計畫執行時間：97年01月01日至97年10月30日	
計畫執行成效	教學方面 1. 對於改進教學成果方面之具體成效： 本研究計畫結果，不僅有提供國際企業系及管理學院在學程規劃上的設計參考，並有助於本系研究生擬定研究方向的規劃參考。 2. 對於提昇學生論文/專題研究能力之具體成效： 經由參與研究的過程中，參與此專題學生能學習到-如何收集研究資料、操作軟體、繪製圖表能力，及面對困難的正確態度。 3. 其他方面之具體成效：
	學術研究方面 1. 該計畫是否有衍生出其他計畫案 <input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 計畫名稱： <u>(國際航線軸心港埠運量預測之相關議題-規劃中)</u> 2. 該計畫是否有產生論文並發表 <input type="checkbox"/> 已發表 <input checked="" type="checkbox"/> 投稿準備中 <input type="checkbox"/> 否 發表期刊(研討會)名稱： <u>未定</u> 發表期刊(研討會)日期： <u> </u> 年 <u> </u> 月 <u> </u> 日 3. 該計畫是否有衍生產學合作案、專利、技術移轉等，請說明： <u>無</u>
成果自評	計畫預期目標：計畫執行完畢及論文發表。 計畫執行結果：達到計畫之初步目標。 <p style="text-align: right;">預期目標達成率：90%</p>
	其它具體成效： 本計畫執行結果，可提供作本系執行產學合作案之基礎，並有改善本系文獻發表不足之缺點 (95 年度國際企業系之評鑑建議)。