

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

模糊多目標規劃模式應用於緊急救援工作排程之研究

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫
計畫編號：NSC 89 - 2416 - H - 032 - 039
執行期間：89年8月1日至90年7月31日

計畫主持人：邱顯明

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

執行單位：淡江大學運輸管理學系

中 華 民 國 90 年 7 月 31 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

模糊多目標規劃模式應用於緊急救援工作排程之研究

A Study on the Scheduling of the Emergency Rescue in Multiple Objective Programming

計畫編號：NSC 89-2416-H-032-039

執行期限：89年8月1日至90年7月31日

主持人：邱顯明 淡江大學運輸管理學系

計畫參與人員：張立偉、陳世昌、張世峰 淡江大學運輸管理學系

一、 中文摘要

過去有關緊急應變的研究，較少探討工程搶修單位如何迅速地決定災點搶修順序之方法。過去經驗中，搶修指派一般由決策者依經驗進行，缺乏數理分析基礎。本計畫旨在建立一套緊急應變指派方法，供決策單位決定災害搶修及搶救點之順序，在有限時間內找出最大搶救及搶修效益之計畫排程。

本研究架構上主要在探討一組合最佳化問題，考量之目標則以搶修單位之旅行時間最小化、搶修時間最小化及災點之搶修風險最小化構建多目標式，以充分反應涉及之各層面考量；架構上以車輛繞徑問題（Vehicle Routing Problem）為解題架構，配合上時窗限制之考量，以C語言自行撰寫基因演算法求解本問題。

案例測試中，本計畫自行設計一個50個災點的路網，分別求取三個目標下的權衡值以作為案例輸出之最佳排程，供未來搶修單位參考。

關鍵字：模糊理論、多目標規劃、基因演算法、工作排程

Abstract

How to schedule the restore works of the transportation system is a crucial issue in a success emergency relief operation. Most studies addressed in the emergency relief operation are focus on the emergency operation plan and restoration plan. Not many studies deal with the instant response plan for the after earthquake situation.

The purpose of this study is to develop a methodology for the rescue work schedule of the transportation infrastructure

in the emergency relief operation. Basically, the rescue work can be treated as vehicle routing problem with time windows (VRPTW), which is a NP-Hard problem. Therefore, it cannot be solved by the optimization technique for the large size problem. The solutions obtained from the traditional heuristics are tended to be a local optimal. Therefore, with its diversity search ability, the Genetic Algorithms (GA) is Finally, two case studies are used to test the validation of the method. proposed to be the main solution procedure of this study. In order to reduce subject judgments in the multiple-objective programming, a series of fuzzy functions for the objectives used in this study are developed. Finally, two case studies are used to test the validation of the method.

Keywords: Fuzzy theory, Genetic Algorithms, Multiple Objective Programming, Work Scheduling

二、 緣由與目的

以過去工程單位實際搶修經驗中，搶修指派一般由決策者依經驗進行，但經驗指派卻缺乏數理分析基礎，故決策雖可行，但並非最佳及最有效率之決策。本計畫旨在建立一套緊急應變指派方法，供決策單位決定災害搶修及搶救點之順序，以於有限時間內找出最大搶救及搶修效益之計畫排程。

本計畫目的，在於提供工程指揮單位一套於最短時間內，決定災區內各災點救援之最佳救援順序及各工程隊救援排程之

方法，以備未來大型災難應變之參考。綜而觀之，本計畫可提供：

1. 建立緊急應變程序中工務單位決定搶修排程之方法，以能使災區災點之搶修獲得最適切的安排。
2. 在兼顧搶修風險及搶修時間最小之情形，建立工程搶修單位中工作隊之搶修排程作業。
3. 將多目標規畫方法結合基因演算法撰寫求解程式，可提供未來類以問題之求解。

三、 結果與討論

本計畫將問題定義為：有 n 個災點，每一災點之搶修時間需求為 A_j ，災點緊急程度為 P_j ，災點搶修風險度為 R_j ，而各災點最遲之服務時間為 $Time_j$ ；現有 m 個工程搶修單位，每一個單位有 K_k 個工程隊，必須指派至 n 個災點進行搶修，任兩災點間之距離為 d_{ij} ，其中 $i=1.....m+n$ ， $j=m+1.....m+n$ ， $k=1.....m$ ，本模式預期在災點緊急程度、災點搶修風險考量下，求出整體服務時間之最小值。

由問題定義，可將此一工程車指派搶修災點問題，轉變為多個工作站、多部工程車、出發後不回場站之車輛巡迴繞徑問題，其中包含各災點搶修時程，及各工程隊指派之搶修時程計畫。

本計畫之架構概括整理如下：

輸入：路網前置條件、路段基本資料、災點旅行時間距離矩陣、災點搶修預估時程、各災點風險評估值。

目標：搶修工作隊旅行時間最小化、風險最小化。

限制：災點需求限制 搶修單位資源限制、路網前置條件，災點搶修時間限制。

輸出：搶修工程隊之最佳排程及災點搶修順序。

以多目標方法，本計畫構建多目標式如下：

(一)符號說明

1. x_{ij} ： $x_{ij}=1$ 表由第 i 點支援第 j 點
 $x_{ij}=0$ 表第 i 點沒有支援第 j 點
($i=1\Lambda m+n, j=m+1\Lambda m+n$)
2. T_{ij} ：紀錄由第 i 點支援第 j 點時累加之時間
($i=1\Lambda m+n, j=m+1\Lambda m+n$)
3. T_j ：紀錄由第 j 點被支援時的時間
($j=m+1\Lambda m+n$)
4. m ：表有 m 個工作隊 ($m=1\Lambda m$)
5. n ：表有 n 個災點 ($n=m+1\Lambda m+n$)
6. d_{ij} ：表第 i 點至第 j 點之時間距離
($i=1\Lambda m+n, j=m+1\Lambda m+n$)
7. C_i ：各工作隊之搶修能量 ($i=1\Lambda m$)
8. D_j ：災點 j 所需之搶修時間
($j=m+1\Lambda m+n$)
9. P_j ：災點 j 的緊急程度
($j=m+1\Lambda m+n$)
10. R_j ：表災點 j 之搶修評估風險值
($j=m+1\Lambda m+n$)
11. K_i ：表由工程站出發之工作隊
($i=1K m$)
12. $Time_j$ ：表災點 j 應被搶修之最遲時限
($j=m+1\Lambda m+n$)

(二)模式構建

目標式

$$MinZ_1 = \sum_{i=m+1}^{m+n} \sum_{j=m+1}^{m+n} (x_{ij} + T_{ij})$$

3.1

$$MinZ_2 = \sum_{j=m+1}^{m+n} P_j \times T_j$$

3.2

$$MinZ_3 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=m+1}^{m+n} T_{ij} \times R_j$$

3.3

限制式

$$\sum_{j=m+1}^{m+n} x_{ij} = \begin{cases} K_i (i=1, \dots, m) \\ 1 \end{cases}$$

3.4

$$\sum_{i=1}^{m+n} x_{ij} = 1 \quad (j=m+1 \dots m+n)$$

3.5

$$T_{ij} = d_{ij} * x_{ij} \quad (i=1\dots m, j=m+1\dots m+n)$$

3.6

$$\sum_{k=1}^{m+n} T_{jk} - \sum_{i=1}^{m+n} T_{ij} - \sum_{k=1}^{m+n} d_{jk} * x_{jk} = D_j$$

3.7

$$T_j = \sum_{i=1}^{m+n} T_{ij} (j=m+1, \dots, m+n)$$

3.8

$$T_j \leq Time_j (j=m+1, \dots, m+n)$$

3.9

$$\sum_{i=1}^{m+n} \sum_{j=m+1}^{m+n} O_{ij} \geq 1 \quad i, j \in D$$

3.10

$$\sum_{i=1}^m C_i - \sum_{j=m+1}^{m+n} T_j \geq 0$$

3.11

$$x_{ij} \in \{0,1\}$$

(三)模式說明

3.1 : 總時間成本為各工作隊至災點之旅行時間再加上各災點之搶修預估時程，求其最小化。

3.2 : 各災點被支援時間 T_j 乘上災點緊急程度之權重值 P_j ，求其最小化。

3.3 : 各災點評估風險與每一工作隊之旅行時間距離考量，求其目標最小化。

3.4 : 限制由工作站出發至災點的支援小組數為 K_k

3.5 : 任一災點恰被指派一次

3.6 : 由工作站 i 抵達災點 j 的時間 T_{ij} 等於工作站至災點的距離乘上 x_{ij} ($x_{ij}=1$ ，表路徑 i 到 j 被選擇， $x_{ij}=0$ ，表路徑 i 到 j 不被選擇)。

3.7 : 由 j 點抵達下一點之時間等於到達第 j 點時間加上第 j 點的需求時間再加上第 j 點至下一點 k 的距離 d_{kj} 乘 x_{jk} 。

3.8 : 抵達 j 點之時間等於其所有節點 i 抵達 j 點時之時間總和(所有節點中僅能有一節點 i 被指派至 j 點)。

3.9 : 抵達 j 點之時間必須小於 j 點被支援的最遲時限。

3.10 : 前置限制式，即各災點在被指派前其前置災點需已完成。

3.11 : 各工作隊之搶修能量總和大於各災點所需之搶修時間。

(四)模糊多目標求解

多目標式構建完成後，必須轉換為單目標以求解，由於各目標達成值不確定，因此以各目標值之隸屬函數作為滿意值，將模糊多目標改寫為單目標以求解。

在做法上，先行就三個目標式分別求解以建立報酬表，找出各目標在求解過程中出現之最佳值 (f_i^+) 及最差值 (f_i^-)，並建立隸屬函數。之後在求解時，將各目標之求解結果以隸屬程度表示，令各目標之隸屬值必須大於或等於某個 λ 值 (滿意度)，即以各目標中滿意度最低之 λ 值作為該組解之代表值，最後，找出每一世代中滿意度 (λ) 最大之一組解作為代表解，即可將多目標問題轉化為單目標進行求解。其式如下：

$$\text{目標式} \quad \text{Max} \lambda$$

$$\text{限制} \quad \frac{f_1 - f_1^-}{f_1^+ - f_1^-} \geq \lambda$$

$$\frac{f_2 - f_2^-}{f_2^+ - f_2^-} \geq \lambda$$

$$\frac{f_3 - f_3^-}{f_3^+ - f_3^-} \geq \lambda$$

(五)求解過程

本計畫以自行撰寫之基因演算法進行求解。基因演算法適用性極廣，本計畫將編碼及評估式部份予以調整，以符合本計畫之要求，在交配的方式上，採用群體位元進行交配，此外，在運算時為避免落入區域解，在每一世代求解時加入移民政策，擴大物種的交配，以找出最符合多個目標下之均衡解。

在整個問題求解上，本計畫將三個目標函數同時放入適應值評估式中，藉由各工作隊搶修災點之順序來計算各目標適應

值，由於各目標皆求最小化值，再經由模糊轉換後求出同時滿足三個目標值之最大滿意度 λ ，而適應值評估式則以最大的 λ 作為評斷依據，最後輸出最佳群體內之各工作隊解（染色體），得出建議最佳搶修排程。

完整的排程求解概述如下。

1. 隨機產生初始群體

利用隨機方法，產生初始群體內合乎限制條件之各工作隊搶修災點順序，而隨機的方式係一次產生一組解而非逐點產生，確保所有點僅經過一次。另外，在容量限制的情況下（以 72 小時為依據），若產生超過 72 小時以後之災點則自動去除，改以 0 代替，以符合實際情形。

2. 計算初始群體適應值

計算初始群體適應值，其主要目的在藉適應值的計算作為選取及複製群體之判斷依據。為達到和多目標計算方法之一致性，這裡所計算的適應值以三個目標中滿意度最低的值作為代表。

3. 選取、複製、交配與突變

利用輪盤法進行選取及複製父代的動作，複製完成後形成母代群體，再藉由父代與母代進行交配，甚至突變運算形成新子代。

4. 評估子代適應值

計算子代的適應值，此處的適應值係作為判斷該群體生存的依據。本計畫係以三個目標函數取其均衡值，故真正控制生存與否的目標值，係三個目標值轉換函數後的 λ 值，再根據三個 λ 值中取最小者作為該群體之適應代表值，而群體與群體間適應值的比較則取各群體中 λ 值最大者為最佳的群體。

5. 比較與篩選

將父代與新子代比較排序後，較佳的群體保留下來作為初始群體繼續進行演化，而較差的群體則自然被淘汰。在新父代保留一半以較佳的群體取代，另一半的群體則再以隨機方式產生。

6. 判斷停止條件

判斷演算步驟是否終止，停止的條件如已達預定之演化世代數或者適應函數值已呈收斂狀態而無法再找到最佳的解。而未達終止條件則繼續步驟 2。

7. 輸出最佳排程

將 λ 值最大的該群體解結果輸出，作為本計畫所建議符合三個目標下之最佳搶修排程。

(六) 結果探討

本計畫自行擬定一個 50 個災點之路網進行測試，為求和真實路網相符，在路網條件中加上部份順序限制，而每個工作隊之搶修能量固定。在這樣的環境設定下，以本計畫研擬之演算法求解，平均幾秒鐘之內可求出一組建議最佳解。在測試分析中，本計畫發現以較少之初始群組，配合上移民政策，在運算時間及運算世代數上，皆較以較多群組進行求解，效果上較佳，因此本計畫測試結果，建議以 10 組作為求解群組數進行求解，較能兼顧運算時間及求解效果。

四、計畫成果自評

本計畫以發展災後緊急情況下之演算法為主，研究內容和原計畫提送內容相符，已達成預期之目標。有關演算法之應用，未來將進行其他測試項目，於學術期刊中發表。

有關詳細內容，可參考和本計畫相關著作，列於參考文獻中，供進一步查考。另有問卷內容於後另附。

五、參考文獻

1. 張立偉，災後工程緊急搶修作業排程之研究，淡江大學運輸科學研究所碩士論文，2001
2. 廖韋翔，應用門檻值接受法之多目標車輛路徑規劃，雲林科技大學工業管理研究所碩士論文，1998
3. 廖亮富，含時窗限制多部車輛途程問題解算之研究，元智大學工工所碩士論文，1997
4. 林修竹，包容性啟發式解法在 VRPTW 問題上之應用，國立交通大學運輸研究所碩士論文，1999

5. 潘建廷，地震災害模擬及救援策略之研究，台科大營建工程系碩士論文，1999
6. 林容駿，交通系統災後復舊策略發展模式，台灣工業技術學院營建工程所碩士論文，1996
7. 吳心琪，震災後工程搶修作業排程之研究，國立交通大學運輸研究所碩士論文，1997
8. 陳郁文，模糊多目標規劃結合基因演算法應用於提昇運輸效率之研究，國立交通大學運輸研究所博士論文，1999
9. 王擴為，公路搶修決策支援系統中指派模式之研究，國立交通大學資訊管理所碩士論文，1993
10. 謝國倫，基因演算法應用於捷運轉乘公車區位路徑問題之研究，淡江大學運輸科學研究所碩士論文，2000
11. 李玉雯，軟性時窗限制下醫院運輸部門車輛途程問題之研究，國立成功大學工業管理研究所碩士論文，2000
12. 鄭欣蓉，賑災物資配送系統之最適規劃，國立交通大學交通運輸研究所碩士論文，2000
13. Holland, J. H., *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, The University of Michigan Press, 1975
14. Solomon, M.M , "Vehicle routing and Scheduling with Time Windows Constraints: Model and Algorithms" , Ph. D. Dissertation, Dept. of Decision Sciences , University of Pennsylvania. , 1983
15. Solomon, M.M , "Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Windows Constraints" , *Operation Research* 35 , Vol. 35 , No2 , 1987