

# 行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

※※※

※

※

※ 具有標記動態途程指派功能的票允式 ※

※ 裴氏網圖以支援物料搬運系統的模擬 ※

※

※

※※※

計畫類別：個別型計畫      整合型計畫

計畫編號：NSC 90-2218-E-002-027

執行期間：90年8月1日至91年7月31日

計畫主持人：楊烽正

共同主持人：

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：台大工業工程學研究所

中華民國九十一年十月三日

# 具標記動態途程指派功能的票允式裴氏網圖

計畫編號：NSC 90-2218-E-002-027

執行期限：90年8月1日至91年7月31日

主持人：楊烽正 台大工業工程學研究所

iefcyang@ms.cc.ntu.edu.tw

## 一、中文摘要

裴氏網圖目前已廣泛運用於離散事件的系統模擬、分析、及控制。但是，裴氏網圖對於設施佈置固定，但運輸工具途程動態變動的運輸系統建模和模擬分析常有侷限不足之處。本研究針對運輸系統的動態途程指派特性，提出一票允式裴氏網圖，以擴充裴氏網圖的圖示內涵並定義相關的態變觸發規則，以支援運輸系統的模型構建和系統模擬。透過憑票運行的機制，票允式裴氏網圖會使網圖內的有色標記依有色的允行票鋪設的途程逐步行進。票允式裴氏網圖的結構由七個元素所組成，分別是模態、票允式態變、有向弧、派票線、允行票、標記及途程規劃模態。並且，途程規劃模態其內設有三個部分：標記途程動態指派模組、運行指令產生器、和運行指令佇列。運行指令產生器的功能在模擬系統途程執行的指令發生。標記途程動態指派模組負責標記的網圖途程規劃，並發出允行票鋪設路徑。標記交通的擁塞和死鎖在途程規劃中已被抑制。最後，我們將票允式網圖實際應用到多個複雜的無人搬運車系統以驗證本研究的實用性。研究結果顯示票允式裴氏網圖確實能夠減少整個網圖的複雜度，增加塑模的效率。

**關鍵詞：**裴氏網圖、離散事件系統、票允式裴氏網圖、票允式態變。

### Abstract :

Petri nets are widely used in system modeling, simulation, and analysis for discrete event systems. However, using Petri nets to model transportation systems that have fixed facility deployment but dynamic vehicle routings is difficult. This paper presents a ticket-guarded Petri net to overcome this shortage. Based on a ticked guarded mechanism embedded in a proposed ticked-guarded transition, colored tokens are transported one place by one place following a dynamic route marked by serialized colored tickets in transitions. The structure of ticket-guarded Petri nets consists of seven elements: places, ticket-guarded transitions, arcs, ticket-assigned lines, tickets, tokens, and a routing planning place. Moreover, there are three parts embedded in routing planning place: a token dynamic routing module, a

routing command generate, and a routing command queue. The routing command generator simulates the transportation demand generation. Token routes are dynamically planned and the corresponding tickets that are dispatched by the token dynamic routing module. Traffic blocking and deadlocks are examined and excluded during the route planning. In the end, we apply ticket-guarded Petri net to model several complicated automatic guided vehicle systems to verify the validity of this research. Results show that the presented ticket-guarded Petri net model can significantly reduce complexity and promote the efficiency of the modeling work.

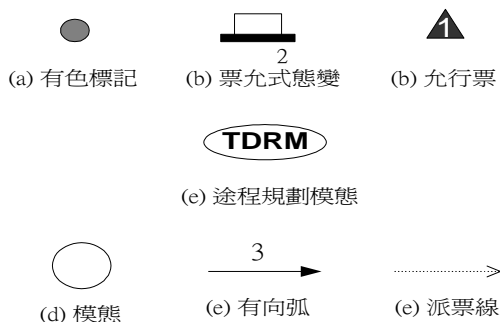
### Keywords:

Petri net, discrete event systems, ticket-guarded Petri net, ticked-guarded transition.

## 二、計畫緣由與目的

應用裴氏網圖進行物料搬運系統模擬時，最大的挑戰是很難去處理真實系統中動態產生的搬運途程。常見的方法是動態組成各車輛的搬運途程網圖，再從中檢查路徑重疊者，進行控制網圖的建立。因此在模擬過程中，系統面對的是一個變動的裴氏網圖，其結果會造成系統效能分析困難。而生滅的動態裴氏圖耗費電腦資源外，也降低模擬執行的效率。本研究的構想是依照真實物料搬運系統的佈置模型化成為一個固定的裴氏網圖，而運輸工具動態產生的途程，則由「允行票」在固定的網圖上動態鋪設而成。標記將依「允行票」的導引動態行進。因此網圖能固定不變且一一對應到系統的實體佈置。當系統進行模擬時，可以從網圖上標記的分佈狀態了解系統的狀態。本研究稱此網圖為票允式裴氏網圖(Ticket-Guarded Petri Net, TGPN)。以物料搬運系統(Material Handling System)的無人搬運車系統驗證該網圖的適用性。本研究完成的內容可歸納如下：

1 定義票允式裴氏網圖的圖示符號，簡化運輸系統塑模的複雜度。



2. 設定票允式裴氏網圖的態變(transition)觸發規則，以控制標記的動態運行。

票允式態變觸發前需使此票允式態變達到蓄勢狀態(enabled)。TGNP 中狀態的改變是以下列規則來進行的：

(1) 如果網圖中某一個票允式態變  $t_j$  內至少有一張某顏色的允行票且其所有的輸入模態  $p_i$  中，至少存在一輸入模態  $p$  有至少  $w(p_i, t_j)$  個該顏色的標記。則可稱此票允式態變  $t_j$  處於蓄勢狀態。其中， $w(p_i, t_j)$  是有向弧從輸入模態  $p_i$  到票允式態變  $t_j$  的權重。

(2) 處於蓄勢狀態的票允式態變  $t_j$ ，有可能被觸發也有可能不被觸發。除了檢視事件是否發生外，還需檢查抑制條件是否成立。抑制條件成立的票允式態變  $t_j$  即使處於蓄勢狀態也不能被觸發。

(3) 若處於蓄勢狀態的票允式態變  $t_j$  被觸發，則會從票允式態變  $t_j$  符合條件(1)的輸入模態中移除  $w(p_i, t_j)$  個標記，並且移除一張票允式態變  $t_j$  中相同顏色且優先權較高的允行票。經過票允式態變內設定的時間後增加  $w(t_j, p_k)$  個標記到票允式態變  $t_j$  的每一個輸出模態  $p_k$  中。其中  $w(t_j, p_k)$  表示有向弧從票允式態變  $t_j$  到輸出模態  $p_k$  的權重。

(4) 如果一個模態的標記分布狀態同時可以使一個以上的票允式態變處於蓄勢狀態，則擁有優先權較高允行票的票允式態變會先被觸發。

### 3. 建立標記動態途程規劃及指派(token dynamic routing)機制。

當途程規劃模態內的「標記途程動態指派模組」指派途程給某個停滯標記執行後，本身是處於休止(idle)的狀態。因此網圖的執行過程必須設立一個喚起途程規劃模態進行下一次途程指派的機制。當標記運行至現行途程終點時，會有標記分身進入途程規劃模態。此標記分身即代表「標記完成標記途程動態指派模組所指派的途程」的訊息。此訊息將會驅動「標記途程動態指派模組」依照當時系統的狀態進行一連串必要的動作。相對地，另一個驅動「標記途程動態指派模組」的訊息為「運行指令產生器

產生運行指令」。運行指令產生後(如無人搬運車接受新的搬運任務)會直接進入「標記途程動態指派模組」以執行一連串必要的動作。依執行時的現況不同，可以拆解成以下幾個演算法：(1)「單一運行指令選配途程規劃模態內標記分身執行的配對演算法」、(2)「運行指令發生時有多個標記分身途程規劃模態內的演算法」、(3)「標記分身進入途程規劃模態時運行指令佇列內佇有多個運行指令的演算法」、(4)「死鎖預防演算法」、和(5)「壅塞排除演算法」。詳細演算法參見計劃主持人指導的學生論文[1]。

### TGNP 的基本圖示

4. 演練票允式裴氏網圖的功能。驗證模型構建、標記途程動態指派、及系統模擬等功能。

考慮如圖 1 所示的典型無人搬運車系統，此系統內包含單向路徑和雙向路徑。圖中每一個方塊代表生產系統中的工作站，搬運車可以在工作站內上載及卸載物品。方塊和方塊間的數字代表工作站和工作站間的距離。系統的各項參數值設定如表 1 所示。

表 1 典型無人搬運車系統的模擬參數設定

系統參數	數值(單位)或內容
無人搬運車數量	3 台
無人搬運車行走速度	0.75(公尺/秒)
運行指令發生間隔時間的機率分布模式	指數分配
運行指令產生間隔時間的平均值	65.17 秒
無人搬運車 A 初始所在工作站	站 5
無人搬運車 B 初始所在工作站	站 7
無人搬運車 C 初始所在工作站	站 4
預計模擬時間	300 秒
工作站最多同時容納無人搬運車數量	1 台

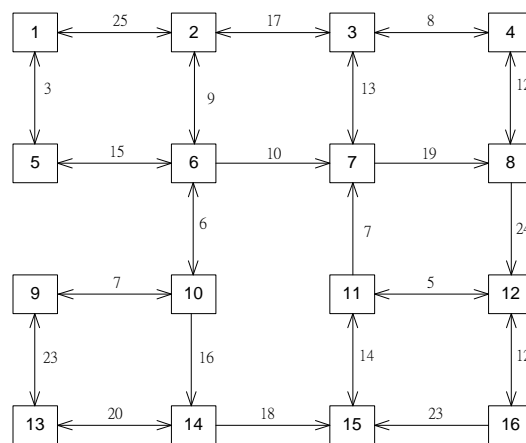


圖 1 典型無人搬運車系統的實體佈置圖

利用本研究所發展的 TGNP 建構圖 1 的系統佈置，可得到圖 2 的 TGNP 模型。在圖 2 所示的 TGNP 模型中，不同顏色的標記代表系統中不同的搬運車。如果系統中有兩台搬運車，對應至 TGNP 模型中即有兩種不同顏色的標記。模態  $p_1$ 、 $p_2$ 、 $p_3$ 、...、 $p_{16}$  一一對應無人搬運車系統中的工作站 1、工作站

2、工作站 3、...、工作站 16，標記本尊會在模態  $p_1$ 、 $p_2$ 、 $p_3$ 、...、 $p_{16}$  移動模擬搬運車在工作站間行走。

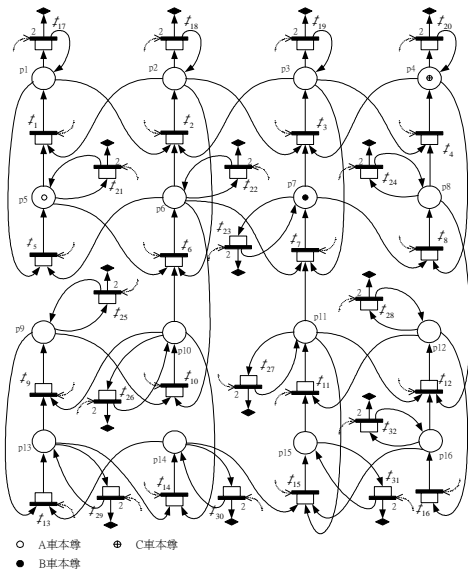


圖 2 典型無人搬運車系統的 TGPN 模型(網圖部分)

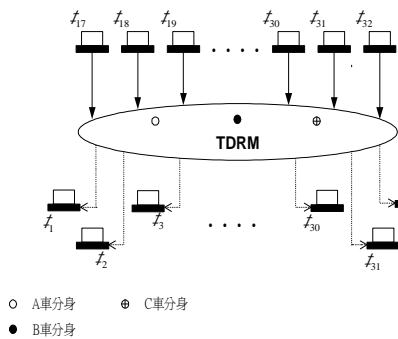


圖 3 典型無人搬運車系統的 TGPN 模型(標記途程動態指派部分)

### 三、結果與討論

當模擬時間  $t=0$  秒時，模擬開始進行。此時途程規劃模態內存在 3 個標記分身，分別代表停滯於  $p_5$ 、 $p_7$ 、及  $p_4$  的 A、B、C 標記，也就是三輛搬運車此時皆處於停滯狀態。同時「運行指令佇列」內尚無任何運行指令存在。此時由指派指令產生器產生一個由  $p_9$  到  $p_8$  的途程運行指令。

首先進行標記 A 和該運行指令的匹配。標記 A 的停駐模態為  $p_5$ ，利用最短路徑演算法，如果將該運行指令指派給標記本尊 A 執行，標記本尊 A 會從模態  $p_5$  出發，經由途程  $p_5 \rightarrow p_6 \rightarrow p_{10} \rightarrow p_9$  到達模態  $p_9$ ，再經由途程  $p_9 \rightarrow p_{10} \rightarrow p_6 \rightarrow p_7 \rightarrow p_8$  到達模態  $p_8$ 。完成此運行指令的總距離為 70 公尺。分別依序與標記 B 和標記 C 進行匹配，在比較各途程的距離後，將該運行指令指派給運行途程最短的標記 A 執行。

「標記途程動態指派模組」決定途程後，會將此途程交由「壅塞排除模組」檢查是否產生壅塞狀況。

「壅塞排除模組」檢查出標記 B 位於  $p_7$  上，將阻擋標記 A 的途程到達模態  $p_8$ 。因此依照壅塞排除演算法將壅塞情況排除。首先以該停滯標記的停駐模態  $p_7$  為起點搜尋鄰近模態  $p_3$  和  $p_8$ ，但是模態  $p_8$  為運行指令的終點模態，不予考慮。因此，針對標記 B 強制執行壅塞驅離途程為  $p_7 \rightarrow p_3$ 。

「標記途程動態指派模組」將 A 及 B 的途程交由「死鎖預防模組」暫時封閉，以防止其他標記進入造成死鎖現象。「死鎖預防模組」將途程封閉後，「標記途程動態指派模組」將標記 A 和標記 B 的分身移除並且將該運行指令移除，然後將該途程和壅塞驅離途程所需的允行票指派至票允式態變  $f_6$ ， $f_{10}$ ， $f_9$ ， $f_7$ ， $f_8$ ， $f_{24}$ ， $f_3$ ，和  $f_{19}$ 。標記 A 依照觸發規則依序觸發票允式態變。當標記 A 完成此途程其分身再度進入途程規劃模態時是在模擬時間  $t=192.39$  秒。另一方面標記 B 在  $t=20.5$  秒時完成被驅離途程，本尊停在  $p_3$  上，分身回到途程規劃模態內。此時因指令佇列沒有任何指令因此沒有任何途程指派動作。同時死鎖預防模組釋放 B 途程封閉過的路徑。

「運行指令產生器」在模擬時間  $t=190.32$  秒時產生第二個運行指令，此運行指令的起始模態  $p_{14}$ ，終點模態  $p_{13}$ 。此時途程規劃模態內有標記 B 及 C 分身。「標記途程動態指派模組」將此運行指令與 2 個標記分身進行匹配。經計算兩者均無可行途程。因此，將第二個運行指令存放於「運行指令佇列」內。

如前所述當模擬時間  $t=192.39$  秒時，標記 A 完成途程，分身進入途程規劃模態而本尊停滯於模態  $p_8$ 。回到途程規劃模態的 A 標記分身會要求「死鎖預防模組」封閉的途程釋放。接著動態指派模組檢查「運行指令佇列」內是否有運行指令存在。此時其內有模擬時間  $t=190.32$  秒產生的第二個運行指令。因此，「標記途程動態指派模組」將運行指令取出，並且與 A，B，及 C 三個標記分身進行匹配。在比較各途程的距離後，將該運行指令指派給標記 B 執行，途程為  $p_3 \rightarrow p_2 \rightarrow p_6 \rightarrow p_{10} \rightarrow p_{14} \rightarrow p_{13}$ 。

「標記途程動態指派模組」決定途程後，將此途程交由「壅塞排除模組」檢查是否產生壅塞狀況。檢查結果並無停滯標記駐留在此途程上，因此不會產生壅塞狀況。然後將此途程交由「死鎖預防模組」暫時封閉。最後，由「標記途程動態指派模組」將標記 B 的標記分身移除，並將此途程的允行票指派至票允式態變  $f_2$ ， $f_6$ ， $f_{10}$ ， $f_{14}$ ， $f_{13}$ ，和  $f_{29}$ 。當標記 B 完成此途程其分身再度進入途程規劃模態時是在模擬時間  $t=283.06$  秒。

「運行指令產生器」在模擬時間  $t=221.65$  秒時產生第三個運行指令，此運行指令的起始模態為  $p_{11}$ ，終點模態為  $p_{15}$ 。第三個運行指令產生時，途程規劃模態內有 A 及 C 2 個標記分身。依照前述的步驟進行配對，最後，「標記途程動態指派模組」決定由標記 A 執行第三個運行指令，其途程為  $p_8 \rightarrow p_{12} \rightarrow p_{11} \rightarrow p_{15}$ ，總距離為 43 公尺。當標記 A 完

成此途程其分身再度進入途程規劃模態時是在模擬時間  $t=278.98$  秒。

「運行指令產生器」在模擬時間  $t=247.84$  秒時產生第四個運行指令，此運行指令的起始模態為  $p_3$ ，終點模態為  $p_7$ 。第三個運行指令產生時，途程規劃模態內僅有標記 C 的分身。「標記途程動態指派模組」進行途程規劃，由標記 C 執行第四個運行指令，其途程為  $p_4 \rightarrow p_3 \rightarrow p_7$ ，總距離為 21 公尺。當標記 C 完成此途程其分身再度進入途程規劃模態時是在模擬時間  $t=275.84$  秒。

「運行指令產生器」在模擬時間  $t=271.43$  秒時產生第五個運行指令，此運行指令的起始模態為  $p_2$ ，終點模態為  $p_9$ 。第五個運行指令產生時，途程規劃模態內並無任何標記分身。「標記途程動態指派模組」無法完成途程規劃，因此將第五個運行指令存放於「運行指令佇列」內。

模擬時間  $t=275.84$  秒時，標記 C 完成「標記途程動態指派模組」所指派的途程，其標記分身進入途程規劃模態。「標記途程動態指派模組」要求「死鎖預防模組」將標記 C 所完成的途程釋放。然後檢查「運行指令佇列」內是否有運行指令存在。其內存放「運行指令產生器」在模擬時間  $t=271.43$  秒時產生的第五個運行指令。因此，「標記途程動態指派模組」將該運行指令取出，並且與途程規劃模態內標記 C 的標記分身進行配對。首先計算標記 C 的停駐模態  $p_7$  至第五個運行指令的起始模態的最短途程，結果並無可行途程。因此將該運行指令存回「運行指令佇列」，不做途程指派。

模擬時間  $t=278.98$  秒時，標記本尊 B 完成「標記途程動態指派模組」所指派的途程，其標記分身進入途程規劃模態。「標記途程動態指派模組」要求「死鎖預防模組」將標記 B 所完成的途程釋放。然後檢查「運行指令佇列」內是否有運行指令存在。其內存放「運行指令產生器」在模擬時間  $t=271.43$  秒時產生的第五個運行指令。由於系統可用佈置因為標記 B 完成途程而變更，因此，「標記途程動態指派模組」將運行指令取出，並且與途程規劃模態內的標記分身進行配對，結果均無可行途程。因此再度將該運行指令存回至「運行指令佇列」內，等待適當時機再予以執行。

模擬時間  $t=278.98$  秒時，標記 A 完成「標記途程動態指派模組」所指派的途程，其標記分身進入途程規劃模態。「標記途程動態指派模組」要求「死鎖預防模組」將標記 A 所完成的途程釋放。然後檢查「運行指令佇列」內是否有運行指令存在，其內有一個運行指令，因此，「標記途程動態指派模組」將運行指令取出，並且與途程規劃模態內的標記分身進行配對。「標記途程動態指派模組」比較之後，指派標記 C 執行該運行指令。

最後，將標記 C 的標記分身移除，並將此途程的允行票指派至票允式態變  $f_3$ ， $f_2$ ， $f_6$ ， $f_{10}$ ， $f_9$ ，和  $f_{25}$ 。當標記 C 完成此途程其分身再度進入途程

規劃模態時是在模擬時間  $t=348.31$  秒。當模擬時間  $t=300$  秒時，「運行指令產生器」停止產生運行指令，但是此時仍有標記尚未完成途程運行，因此模擬真正結束時間為模擬時間  $t=348.31$  秒。

#### 四、計畫成果自評

本研究發展的票允式裴氏網圖(Ticket-Guarded Petri Net, TGPN)，經驗證結果顯示對於具有固定硬體佈置且載具行程為動態調派的運輸系統可以有效地進行系統模擬及控制。透過允行票機制的設置，可以清楚表達運輸系統動態途程的特性。另外，為了解決運輸系統中可能發生的死鎖和壅塞狀況，本研究在標記途程動態指派模組(Token Dynamic Routing Module, TDRM)內開發了死鎖預防演算法和壅塞排除演算法，可以預防系統中死鎖現象的發生以及解決壅塞狀況。本研究獲致的結果可以歸納下列數點：

- (1) TGPN 設置的票允式態變和允行票機制，可以呈現運輸系統中動態調派運輸工具途程的行為。
- (2) 相較於裴氏網圖，TGPN 可以更真實地對應運輸系統的固定硬體佈置。TGPN 模型的結構遠較裴氏網圖簡單並且可增加建模效率。
- (3) 「標記途程動態指派模組」內所開發的死鎖預防演算法可以避免系統發生死鎖的狀況。壅塞排除演算法可以解決系統中可能發生的壅塞狀況。

#### 五、參考文獻

1. 黃啟祥，具標記動態途程指派功能的票允式裴氏網圖，碩士論文，國立臺灣大學工業工程學研究所碩士論文，2000。
2. 孫天相，彈性製造系統之模型建構與排程之裴氏網圖路自動產生器，台灣大學資訊工程研究所碩士論文，1994。
3. 楊能舒，無人搬運車系統互鎖現象偵測之裴氏圖模式，國科會專題研究計劃成果報告，計劃編號：NSC83-0415-E-224-007，1994。
4. Jensen, K. "Coloured Petri nets and the invariant-method," *Theoretical Computer Science*, Vol.14, pp. 317-336, 1981.
5. Cheng, C. W., Sun, T. H., and Fu, L. C., "Petri-Net Based Modeling and Scheduling of a Flexible Manufacturing System," *Proc. 1994 IEEE Int. Conf. Robotics and Automation*, Vol. 1, pp. 513-518, 1994.
6. Murata, T., "Petri nets: properties, analysis and applications," *Proceedings of the IEEE*, Vol.77, No.4, pp. 541-580, April 1989.
7. Hsieh, S. H., and Kang, M. Y., "Developing AGVS Petri Net Control Models from Flowpath Nets," *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 17, No. 4, pp.237-250, 1998.
8. Taghaboni, F., and Tanchoco, J. M. A., "A LISP-Based Controller for Free-ranging Automated Guided Vehicle Systems," *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 26, No. 2, pp. 171-188, 1988.
9. Co, C. G., and Tanchoco, J. M. A., "A Review of Research on AGVS Vehicle Management," *Engineering Costs and Production Economics*, Vol. 21, pp. 35-42, 1991.
10. Jensen, K., Ed., *Colored Petri Nets : Basic Concepts, Analysis Methods and Practical Use*, EATCS Monographs in Computer Science. Berlin, Germany : Springer-Verlag, 1992.
11. Michael, K. M., "Discrete Time Stochastic Petri Nets," *IEEE Trans. Software Eng.*, Vol. SE-11, No. 4, pp. 417-423, 1985.
12. Peterson, J. L., *Petri Net Theory and the Modeling of Systems*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1981.

13. Bozer, Y. A., and Sirinivasan, M. M., "Tandem Configurations for AGV Systems Offer Simplicity And Flexibility," *Industrial Engineering*, 21, No. 2, pp. 23-27, 1989.