

以派區網路圖轉換階梯邏輯圖在氣壓電氣迴路設計之研究

王中行*

*東海大學工業設計系 副教授

E-mail: cswang@thu.edu.tw

郭宏偉**

**東海大學工業設計研究所 研究生

E-mail: g930001@thu.edu.tw

張庭瑞***

***南開技術學院工業工程與管理系 助理教授

E-mail: t237@nkc.edu.tw

摘要

派區網路圖(Petri-Nets, PNs)是一種類似流程圖、方塊圖之視覺化圖形工具，被廣泛應用於處理具有平行與同步特性之系統動態資訊流動，例如：分散式軟體開發、生產製造系統的分析與建模、VLSI 電路規劃等。階梯邏輯圖(Ladder Logic Diagram, LLD)則為製造自動化順序控制的基礎，主要在說明製造自動化系統中，零組件之電氣作動設計，例如：CNC 工具機的換刀動作、氣油壓組件的順序動作等。傳統的階梯邏輯圖形繪製，皆直接以按鍵方式操作，將圖形輸入可程式控制器(PLC)中，並直覺判定階梯邏輯圖正確與否，既欠缺效率且不易發現設計上的錯誤，往往造成日後偵錯與程式修改的困難，而被視為工廠自動化的瓶頸。

本研究旨在藉由派區網路圖在離散事件動態系統(Discrete Events Dynamic System, DEDS)之應用特性，建立一套與階梯邏輯圖間之設計轉換方式，並在製造自動化順序控制上，藉由派區網路圖之動態模擬，以建立一套易於自我偵錯與模擬之系統為目標。研究上，並以三氣壓缸作動與自動銑床之氣壓電氣迴路進行探討，利用派區網路圖 PetriSim 軟體，進行電氣壓迴路建模、分析、模擬，再進而轉換為對應之階梯邏輯圖，並具體驗證在派區網路圖與階梯邏輯圖使用元件上，以派區網路圖將可有效達成使用較少元件個數與簡化系統的目標；最後並以三菱 FX 系列 PLC 機台測試驗證階梯邏輯圖，說明本研究之可行性。

關鍵字：派區網路圖、階梯邏輯圖、離散事件動態系統、氣壓電氣迴路設計、製造自動化。

一、緒 論

傳統機電系統之設計，多以可程式控制器 (Programmable Logic Controller, PLC) 為基礎，並以階梯邏輯圖 (Ladder Logic Diagram, LLD) 進行規劃元件的作動，一般階梯邏輯圖皆以直接按鍵方式，將圖形輸入 PLC 中，並以直覺判定階梯邏輯圖正確與否，既欠缺效率且不易發現設計上的錯誤，往往造成偵錯與程式修改的困難，而被視為產業自動化的瓶頸。本研究即以藉由派區網路圖 (Petri Nets, PNs)，探討如何簡化與避免階梯邏輯圖錯誤問題的產生，以有效的降低錯誤及修改的機會。

Petri Nets 是描述與分析系統動態行為的一種簡單且有效的模擬與分析工具，而被廣泛地應用於整合製造系統、電子電路設計、系統的設計分析與模擬...等[1, 2]。由於 Petri Nets 是一種圖形化的建構工具，不僅容易使用，且易於了解，並且擁有許多與製造系統、邏輯電路相似的性質，具有相當好的建模與分析能力。藉由 Petri Nets 以站區 (Place)、暫態 (Transition)、路徑 (Arc)、代物 (Token) 間的對應標記 (Marking) 之觸發 (Firing) 轉換，以說明設備間的狀態變化，呈現電氣階梯邏輯系統的動態行為，並可進一步擴充到整個製造系統應用。Petri Nets 除以網路的形式表達複雜製造系統的同步行為 (Concurrency) 特性外，並能以數學形式進行製程的效能與驗證，以便獲得有關於製造自動化系統結構和動態行為的資訊，作為系統績效評估與改善的依據，而被視為現今產、學界解決動態系統之離散事件 (Discrete Events Dynamic System, DEDES) 最有效的工具 [3, 4, 5]。

相關研究中，Petri Nets 多以應用於彈性製造系統之建模、分析與模擬為主[2, 6]。Peng[7] 更進一步將 Petri Nets 整合於彈性製造系統中，以感測器為基礎之 PLC 控制。Venkatesh[8] 與 Zhou[9] 等均提出比較階梯邏輯圖與 Petri Nets 之關聯性，並提出完整之應用案例。在本研究中，提出以 Petri Nets 進行氣壓電氣迴路分析、模擬後，說明建立一可直接轉換到階梯邏輯圖 (LLD) 的方式，並以兩個實際氣壓電氣迴路案例，說明轉換的過程。本研究系統流程，如圖 1 所示。

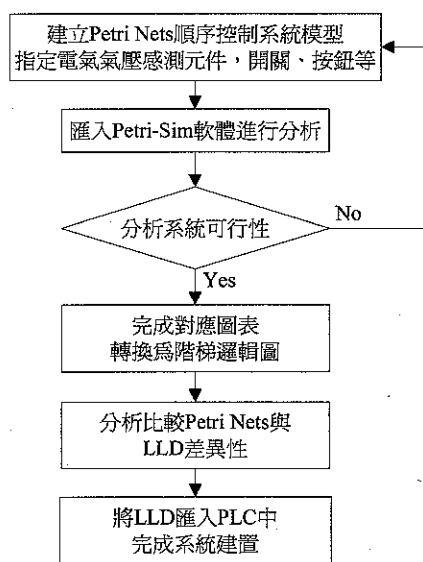


圖 1 研究流程圖

二、Petri-Nets 設計與階梯邏輯圖設計

2.1 Petri-Nets 基本概念


Petri Nets 的基本理論架構，係藉由站區與暫態的觀點，將離散系統狀態之變化視為一個事件的發生。而事件發生前的狀態與事件發生後的狀態，可以分別視為事件的先發條件與後

續的狀況，事件發生後的後續的狀況，又可視為另一事件的先發狀況，而系統所有狀態之間的結構性關係，可以用圖形的標記來表示。另外，狀態改變可應用 Petri Nets 法則，了解其標記移動的情形，而標記改變即可判斷整個系統的運作。

Petri Nets 的基本結構，主要是將動態系統的狀態分解成有限的站區和暫態，站區以圓形圖示表示系統狀態，當站區擁有代物時，則稱為標記，表示系統處於該站區所定義的運作狀態下。暫態是以長方形圖示來表示站區間的轉移關係，當暫態觸發時，站區的代物由前一站區轉移至下一區。路徑用以表示站區間與暫態之間的關係，依其進出方向可描述站區與暫態間的關聯性。因此，狀態改變之情形可透過 Petri Nets 法則，了解其標記移動的情形，而標記改變即可判斷整個系統的運作。

Petri Nets 的基本結構圖示說明，如表 1 所示，其中 Petri Nets 包含五項元素(Tuples)，表示為 $PN = (P, T, I, O, M)$ 。其中 $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ 是有限的站區(Place)所構成的集合， $n > 0$ 。 $T = \{t_1, t_2, \dots, t_s\}$ 是有限的暫態(Transition)所構成的集合， $s > 0$ 。 $I: P \times T \rightarrow N$ 是輸入函數，表示有向弧從站區(P)到暫態(T)的一種輸入映成關係， $N = \{0, 1, 2, \dots\}$ 。 $O: T \times P \rightarrow N$ 是輸出函數，表示從暫態(T)到站區(P)的一種輸出映成關係。 $M: P \rightarrow N$ 說明代物的移動狀態，其中起始狀態的標記為 M_0 [1, 10]。

表 1 Petri Nets 圖示說明[2]

| 要素 | 圖示 | 說明 |
|--------------------|---|--|
| 站區 (Place) |  | (P)單一站區表示系統中某一特定狀態，其中所包含的資訊，可包括代物的型態、容量等。 |
| 暫態 (Transition) |  | (T)單一暫態表示系統中某一特定單純事件發生，其中所包含的資訊，可包括代物內容的改變、觸發的執行時間等。 |
| 代物 (Token) |  | 用於表示系統中流通的物件，可為實體物件或虛擬物件。 |
| 路徑 (Arc) |  | (I,O)表示系統狀態改變之方向及暫態觸發時的規則或站區之關聯性。 |

Petri Nets 首先依據系統狀態，將站區、暫態與路徑等關係建立，完成 Petri Nets 繪製，而後再進一步根據 Petri Nets 主要之兩項法則，致能法則 (Enabling Rules) — 站區與暫態的轉換法則，與觸發法則 (Firing Rules) — 代物在整個系統間流動之轉換法則，以完成整個 Petri Nets 迴路的設計。

2.2 階梯邏輯圖設計

在氣壓電氣控制迴路上，通常是將氣壓控制迴路(如：氣壓缸、氣壓閥等作動元件)和電氣迴路(如：極限開關、按鈕等)分開繪製。階梯邏輯圖主要即在說明電氣迴路，如圖 2 所示，其兩側的兩條平行線表示電源迴路，通常左側線為高壓火線(Hot line)，而右側為低壓地線(Ground line)。電氣配件便在此二條線之間順序由上而下以符號方式畫入。在圖 2，按下起動按鈕時，繼電器線圈便通電，繼電器接點 RL1-b 與電磁閥線圈接通，電磁閥因為激磁而換位。在按下起動按鈕的同時，由於繼電器接

點 RL1-a 接通，因此停止按鈕以及繼電器線圈成串聯迴路，故在鬆開起動按鈕後仍能保持電流通狀態。欲停止時，按下停止按鈕，則此迴路便被切斷，繼電器消磁，其兩個接點分開，故迴路全部回復到初始狀態。

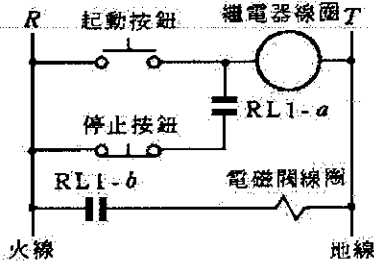


圖 2 階梯邏輯圖設計圖

三、Petri-Nets 與階梯邏輯圖之轉換

一般可程式控制器(PLC)都先透過階梯邏輯圖的撰寫而直接上機測試，發現錯誤時，再由線上修改，造成既無效率，也無法很快速的找出問題所在。故本研究強調，先以 Petri Nets 當作一個流程設計及分析的方法，再轉換至階梯邏輯圖[8, 9]，最後進行比較與分析兩者間的差異性。

轉換的過程中，可分為下列幾個步驟：

(1) 系統作動設計

本研究主要是在說明 Petri Nets 和階梯邏輯圖之間的轉換，於此選用一個三缸氣壓缸作為一個系統說明，首先，先取得三缸氣壓缸所有作動元件，如圖 3 所示，其作動時序圖，如圖 4 所示。

(2) 元件分類

取得氣壓缸的作動元件和作動時序圖後，

在未作 Petri Nets 設計之前，先將所有的作動元件和開關元件作分類，以便在作 Petri Nets 設計時方便利用，其分類方式：以作動元件為分類的基礎，再將所有和此作動元件有相關的控制元件及極限開關歸類在同一類。

(3) Petri Nets 設計

在 Petri Nets 設計的過程中，可透過軟體作設計上的模擬，在整個 Petri Nets 設計觀念中是將所有開關都當成 Petri Nets 中的站區，如：a0 極限開關，在 Petri Nets 中以 \bigcirc 表示，而將所有的動作當成暫態；例如：執行 A 氣壓缸在 Petri Nets 中以 \blacksquare 表示。所有元件的擺設之位置，以上述步驟分類作為基礎，最後透過作動時序圖之間的作動關係再作路徑的設計，設計完成後，再以 Petri Sim 軟體模擬動作，如有錯誤的產生，可在此步驟修改，而完成三缸氣壓缸的 Petri Nets 作動，最後完成之設計圖，如圖 5 所示。

(4) Petri Nets 轉換至階梯邏輯圖

完成 Petri Nets 設計之後，可以直接轉換至階梯邏輯圖(LLD)，並且最後可以軟體撰寫程式完成動作。其轉換之觀念為將所有的開關和極限開關，藉由對應轉換成階梯邏輯圖中的 $X_i, i = \{1, 2, 3, 4, \dots, n\}$ ，如：a0 轉換成 x1，如表 2 所示，所有的作動元件轉換成階梯邏輯圖中的 $Y_j, j = \{1, 2, 3, 4, \dots, n\}$ ，如：A 氣壓缸轉換成 y1，如表 3 所示。最後依照 Petri Nets 圖上所有的流程，對應轉換到階梯邏輯圖，在撰寫階梯邏輯圖時，依照三菱 FX 系列 PLC 機台所能接受的方式撰寫，以步驟的方式撰寫，如：s0, s20, s21...等，再對照表 2、表 3 及表 4 逐行對應撰寫程式，以三缸氣壓缸作為一個

說明，最後完成之階梯邏輯圖，如圖 6 所示。

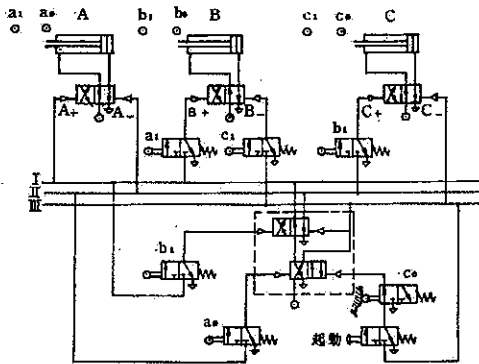


圖 3 三缸氣壓缸之作動元件示意圖

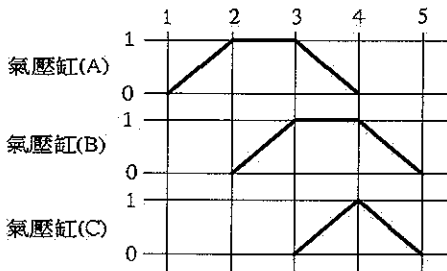


圖 4 三缸氣壓缸之作動時序圖

表 2 各種限開關與階梯邏輯圖之對應表

| 開關 | sw | a0 | a1 | b0 | b1 | c0 | c1 |
|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Xi | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |

表 3 各氣壓缸與階梯邏輯圖之對應表

| 氣壓缸 | A | B | C |
|-----|---|---|---|
| Yj | 1 | 2 | 3 |

表 4 各轉換之關係表

| Petri Nets 圖型 | LLD 圖型 | 代表意義 |
|---------------|----------------------|-----------------|
| ○ | 開關符號 | 開關 |
| ■ | {SET Y0} {RST Y0} | 元件動作 (前進、後退) |
| ● | 無 | 執行狀態 |
| → | — | 作動關係 |

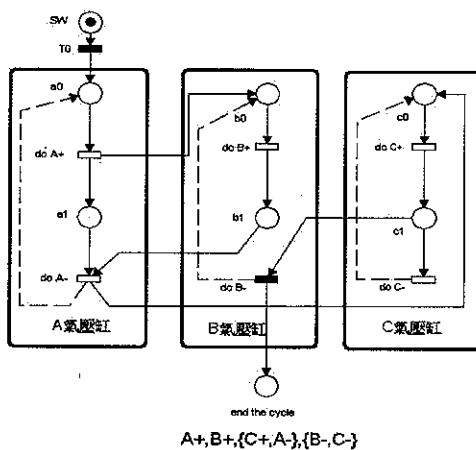


圖 5 三缸氣壓缸之 Petri Nets 設計圖

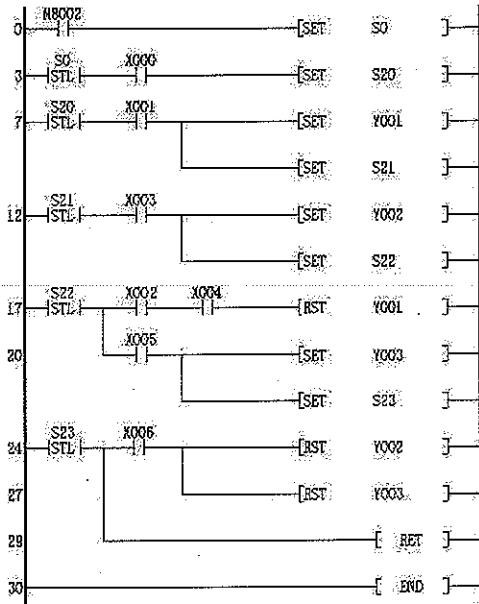


圖 6 三氣壓缸之階梯邏輯圖

(5) 完成系統架構

階梯邏輯圖的程式撰寫完成之後，再將此程式傳輸至三菱 FX 系列 PLC 機台，作所有動作的執行，完成此系統的架構。

四、實例驗證

本研究主要是探討 Petri Nets 及階梯邏輯圖之間的轉換，在轉換之前，首先藉由 Petri Nets 的動態分析及模擬之能力，可以事先瞭解到是否會有邏輯電路上錯誤的產生，最後轉換到階梯邏輯圖上，研究上以 Petri Nets 模擬軟體 Petri Sim 及階梯邏輯圖程式軟體 SWOPC-FXGW，運用在一個簡易的自動化銑床機台之電氣氣壓迴路之設計，如圖 7 所示，以進行系統的驗證。

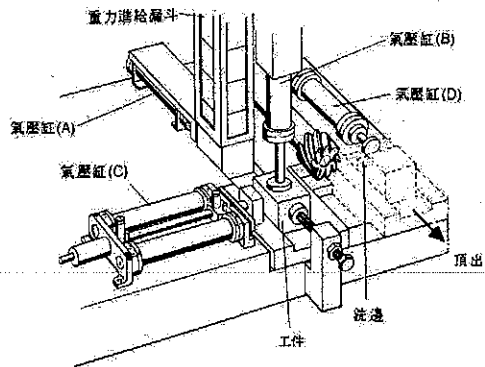


圖 7 自動銑床機台

4.1 自動化銑床之系統設計

本案例以自動化銑床之氣壓控制迴路設計進行探討，藉由 Petri Nets 和階梯邏輯圖之間的轉換，以說明本研究之可行性。銑床銑切工件以採用自動進料、加工及退料的動作，如圖 7，其動作說明如下：A 氣壓缸為進料，B 氣壓缸為夾緊，C 為氣油壓進給組件，使工件緩慢推向銑刀，進行加工，同時 D 氣壓缸進行退料工作，其動作順序為：A+B+A-C+B-D+D-C。其所有作動元件如圖 8 所示，作動時序圖如圖 9 所示。

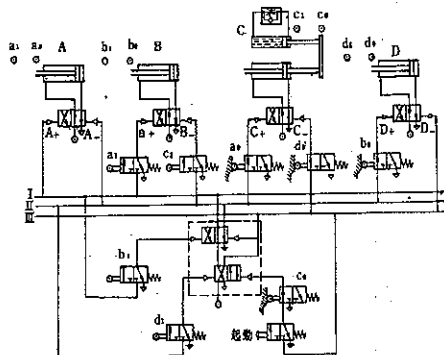


圖 8 自動銑床機之作動元件圖

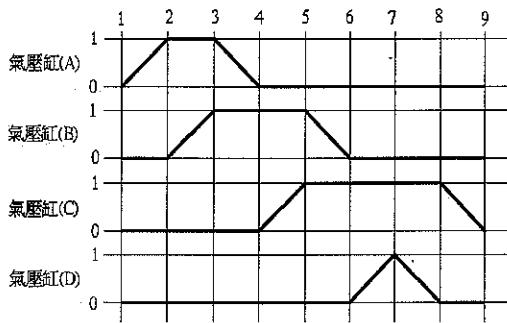


圖 9 自動銑床機之作動時序圖

4.2 元件分類

元件分類主要目的是在於 Petri Nets 設計時可方便的運用，在自動銑床系統元件，主要分為五類：開關、A 氣壓缸、B 氣壓缸、C 氣壓缸、D 氣壓缸，如表 5。

表 5 自動銑床機之元件分類

| 類別 | 項目 |
|-------|-----------------------|
| 開關 | SW 開關 |
| A 氣壓缸 | A 氣壓缸、極限開關 a0、極限開關 a1 |
| B 氣壓缸 | B 氣壓缸、極限開關 b0、極限開關 b1 |
| C 氣壓缸 | C 氣壓缸、極限開關 c0、極限開關 c1 |
| D 氣壓缸 | D 氣壓缸、極限開關 d0、極限開關 d1 |

4.3 Petri Nets 設計

Petri Nets 的設計可以透過軟體的模擬瞭解整個系統的作動流程，本研究以 Petri Sim 作為系統模擬軟體，如圖 10 所示，Petri Sim 可以簡便的將 Petri Nets 的圖型以抓取的方式直接運用。因此在 Petri Sim 軟體中，可依照所完成的分類元件作順序性排列，其各元件和 Petri

Nets 之間的相對應關係，開關即以 ○ 表示，作動元件即以 ■ 表示。在排列完成之後，並以群組的方式將各群組作分開的動作。

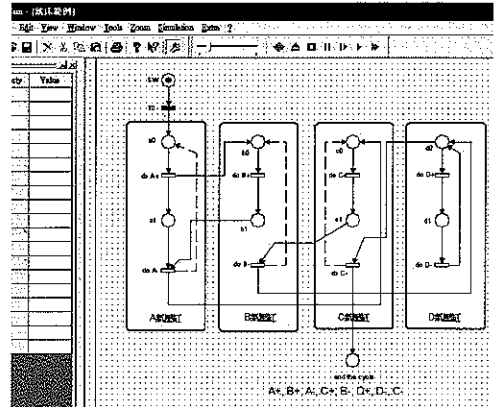


圖 10 以 Petri Sim 建構自動銑床 Petri Net 圖

所有元件在 Petri Sim 軟體排列完成之後，接下來作各元件之間的相對應關係，即 Petri Nets 中的路徑(Arc)，整個完整的路徑流程是依照自動銑床之作動時序圖建構完成，如圖 11 所示。在建構完成之後，透過 Petri Sim 的模擬功能，作所有流程的模擬。在模擬之前要先在 SW(Switch)站區中的代物(Token)設定為 1，因為代物所代表的即是目前的狀態，而 SW 是整個是流程的開始，因此將 SW 中的代物設定為 1，在軟體中會出現一個黑點，如圖 10 中在 SW 有一個黑點的產生。設定完成之後可以直接的模擬，在模擬的過程中即可以知道系統的順序是否會產生問題，並可直接解決問題。如模擬順利完成，如圖 11 所示，就可以繼續進行轉換至階梯邏輯圖。

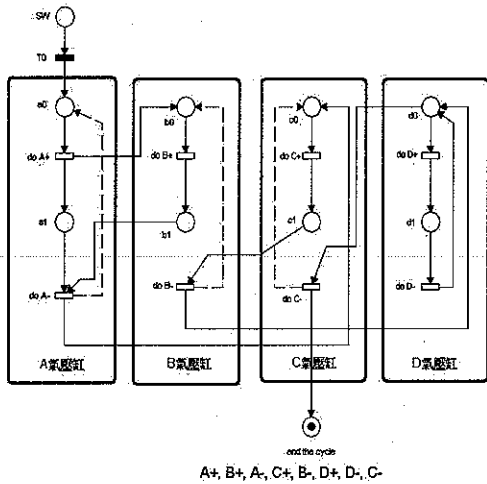


圖 11 自動銑床機之 Petri Nets 完成圖

4.4 Petri Nets 轉換至階梯邏輯圖

在 Petri Nets 設計完成之後，即可轉換至階梯邏輯圖，在未轉換之前將系統中所有的開關及極限開關轉換成程式所能接受的 X_i ， $i = \{1, 2, 3, 4, \dots, n\}$ ，如表 6。所有的作動元件轉換成 Y_j ， $j = \{1, 2, 3, 4, \dots, n\}$ ，如表 7。

表 6 各極限開關與階梯邏輯圖之對應表

| 開關 | sw | a0 | a1 | b0 | b1 | c0 | c1 | d0 | d1 |
|-------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| X_i | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |

表 7 各氣壓缸與階梯邏輯圖之對應表

| 氣壓缸 | A | B | C | D |
|-------|---|---|---|---|
| Y_j | 1 | 2 | 3 | 4 |

完成 X_i 和 Y_j 的轉換之後，即可開始撰寫程式，程式的撰寫是採用步驟(Steps)的方式撰寫，本系統中分為 8 個步驟(sw 1 個步驟、作動 7 個步驟)撰寫，其撰寫流程是由 Petri Nets 圖轉換而來的，將 Petri Nets 圖中的 ○ 轉換成

X_i ，如表 6，而順序依照表 7 的對應關係，將圖中的 ■ 轉換成 Y_j ，最後順序依照作動時序的對應關係；圖中的 → 轉換成階梯邏輯圖中的 —。依照此方法的轉換之後，即可將 PLC 程式撰寫完成，如圖 12 所示。

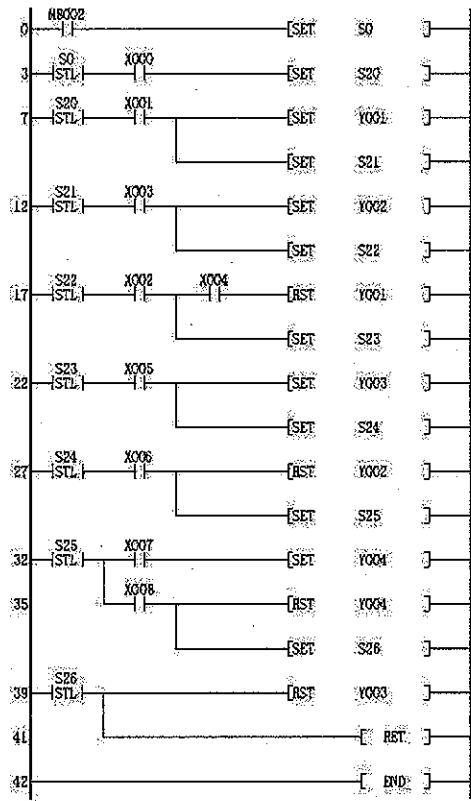


圖 12 自動銑床機之階梯邏輯圖

藉由派區網路圖與階梯邏輯圖之轉換後，可進行上述兩案例使用元件之比較，見表 8 所示。以階梯邏輯圖描述三氣壓缸作動，需使用 65 個元件，而由派區網路圖描述三氣壓缸作動，僅使用 33 個元件，可節省 32 個元件。同樣，對於自動銑床機之作動，以階梯邏輯圖描述，需使用 88 個元件，而由派區網路圖描述，僅使用 42 個元件，可節省 46 個元件。

表 8 派區網路圖與階梯邏輯圖使用元件比較

| | 派區網路圖 | | | 階梯邏輯圖 | | |
|------|-------|-------|----|-------|-------|----|
| | Nodes | Links | 合計 | Nodes | Links | 合計 |
| 三缸氣壓 | 15 | 18 | 33 | 26 | 39 | 65 |
| 自動銑床 | 19 | 23 | 42 | 35 | 53 | 88 |

4.5 完成系統架構

階梯邏輯圖的程式撰寫可透過軟體直接輸入，而在本研究中選用針對三菱 FX 系列所發展出來的 SWOPC-FXGW 進行程式撰寫，如圖 13 所示。透過此流程的架構，可將程式傳輸至三菱 FX 系列 PLC 機台作動作模擬，並且完成系統中所有的要求之動作，最後可以將整個系統架構完整建構出來，完成系統自動化的需求。

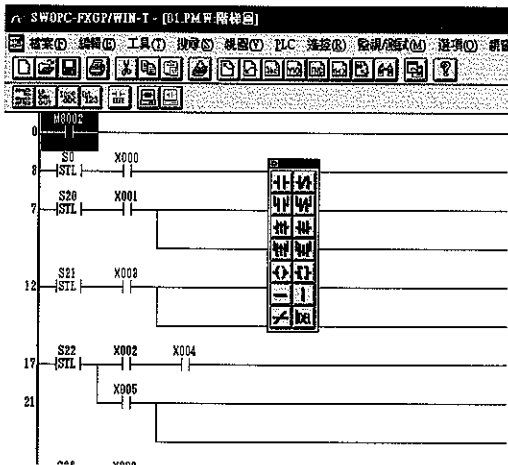


圖 13 SWOPC-FXGW 軟體進行 LDD 繪製

五、結 論

本研究主要是藉由 Petri-Nets 與階梯邏輯圖間之轉換為主體架構，以進行轉換的說明。以往設計者在撰寫階梯邏輯圖時都是直接在軟體上撰寫程式，或是由手寫器直接輸入，然後

上機測試，如此一來很容易出錯，並且在偵錯的過程亦容易出錯。本研究首先提出以 Petri Nets 方法，作一個系統評估、偵錯及模擬，作完模擬之後可直接轉換至階梯邏輯圖上，透過如此的轉換可以輕易的撰寫階梯邏輯圖程式，且如有發生錯誤時，較易瞭解到程式的錯誤所在。

本研究的具體成果，說明如下：

1. 以 Petri Nets 圖作為一個轉換的介面，將本來難以直接撰寫及除錯的階梯邏輯圖，可以更簡易的處理解決，且程式在撰寫的過程中更有效率。
2. 提出一套可以由 Petri Nets 圖直接轉換至階梯邏輯圖的方法，可供日後更多作動元件的使用。
3. 具體說明在派區網路圖與階梯邏輯圖使用元件上，以派區網路圖可達成使用較少元件個數與簡化系統的目標。
4. 以實例驗證，將此方法直接運用在自動銑床機台上，由作動時序圖，到最後成功的轉換至階梯邏輯圖，驗證此方法的可行性。

參考文獻

1. Zurawski, R., and Zhou, M.C., "Petri Nets and Industrial Applications: A Tutorial", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 41, No. 6, pp. 567-583, (1994).
2. Zhou, M.C., and Venkatesh, K., Modeling, Simulation, and Control of Flexible Manufacturing Systems, World Scientific Publishing Co, (1999).
3. Dicesare, F., Harhalakis, G., et. al., Practice of Petri Nets in Manufacturing, 1st Eds, Ch. 2, Chapman & Hall, (1993).
4. Peterson, J.L., Petri Net Theory and the Modeling of Systems, Prentice Hall, (1981).
5. Proth, J.M., and Xie, X.L., Petri Nets – A Tool for Design and Management of Manufacturing Systems, Ch. 5, John Wiley & Sons, (1996).
6. Ferrarini, L., Narduzzi, M., and Tassan-Solet, M., "A New Approach to Modular Liveness Analysis Conceived for Large Logic Controllers' Design", IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol. 10, No. 2, pp. 169-184, (1994).
7. Peng, S.S., and Zhou, M.C., "Sensor-based Stage Petri Net Modeling of PLC Logic Programs for Discrete-event Control Design", International Journal of Production Research, Vol. 41, No. 3, pp. 629-644, (2003).
8. Venkatesh, K., R., Zhou, M.C., and Caudill, R.J., "Comparing Ladder Logic Diagram and Petri Nets for Sequence Controller Design through a Discrete Manufacturing System", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 41, No. 6, pp. 611-619, (1994).
9. Zhou, M.C., Twiss, E., "Design of Industrial Automated Systems Via Relay Ladder Logic Programming and Petri Nets", IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. 28, No. 1, pp. 137-150, (1998).
10. Murata, T., Petri Nets: Properties, Analysis and Applications, Proceedings of the IEEE, Vol. 77, No. 4, (1989).

Transferring from Petri Nets to Ladder Logic Diagram in Electro Pneumatic Circuits Design

Chung-Shing Wang

Associate Professor, Department of Industrial Design, Tung Hai University

E-mail: cswang@thu.edu.tw

Hung-Wei Kuo

Graduate Student, Department of Industrial Design, Tung Hai University

E-mail: g930001@thu.edu.tw

Teng-Ruey Chung

Assistant Professor, Department of Industrial Engineering and Management,

Nan-Kai Institute of Technology

E-mail: t237@nkc.edu.tw

Abstract

Petri Nets are a graphical modeling tool which like flow chart or block diagram for system design. As a graphical tool, Petri nets can be used for describing the information flow in parallel or concurrent system, such as: distributed software development, the analysis and modeling of production system, VLSI circuits planning. Ladder logic diagram (LLD) is used for describing the actuating of the moving parts in the manufacturing automatic system, for examples, the CNC machine tool's tool exchanger, the sequences control of the pneumatic or hydraulic components, which is thought as the basis for the manufacturing automated system. Traditional LLD is directly input the diagram by pressing the button of PLC which is neither efficiency nor difficulty in debugging. This research is dedicated in using Petri-Nets for the electro pneumatic system design. The transferring from a well defined Petri-Net diagram to LLD which can illustrate the self-diagnostic and simulate the system perfectly. By using Petri-Sim software to simulate an automatic milling machine process, the process is well implemented. The results show that the amount of elements used in Petri Nets is much smaller than used in LLD. The diagram of LLD is then transferred to a Mitsubishi FX series PLC to confirm that this research is feasible and gets good results.

***Keywords:** Petri-Nets, Ladder Logic Diagram, Discrete Events Dynamic System, Electro Pneumatic Circuits Design, Manufacturing Automated System*