

## 複雜動態系統之失誤診斷策略

陳俊彥 劉哲全 張珺庭

國立成功大學化工系

Tainan 70101, TAIWAN, ROC

[ctchang@mail.ncku.edu.tw](mailto:ctchang@mail.ncku.edu.tw)

### 摘要

藉由考慮多迴路程序系統中的失誤傳播行為，我們在此提出一個以模糊邏輯為基礎的線上失誤診斷策略。此一策略可分為兩個階段執行：首先在離線準備階段，我們可利用定性暫態模擬的技巧，根據系統有向圖推導出每一誤源之症狀發生順序 (symptom occurrence order, SOO) 再據以編譯成 IF-THEN 推論法則，除了鑑識無迴路及單一迴路系統之 SOO 的工作以外，本研究之重點為多迴路程序系統中失誤傳播動態的分析。最後，提出之失誤診斷策略皆曾以大量模擬數據驗證。

### 1. 緒論

失誤診斷(fault diagnosis)包含失誤偵測(fault detection)與誤源辨識(fault origin isolation)兩部分，前者涉及製程系統中危害性失誤的偵測，後者則為誤源所在位置之判斷，利用失誤診斷所得資訊，可以讓操作者正確而迅速的應變，或進行必要的系統維護及製程修改，以維持工廠安全正常之運作。近年來由於化學工業的進步與發展，使化學程序的複雜度快速增加，規模也不斷地擴大，製程中存在高溫高壓系統或高危害性物質的情況也屢見不鮮，因此機械設備失常或操作上的失誤所引發後果的嚴重性也大幅增加，而失誤發生後，以人工方法進行失誤偵測與誤源辨識的工作也更加困難，為了能有效地降低意外的發生機會與規模，並協助製程操作者在失誤發生後的快速應變與後續維修，線上失誤診斷技術便成為一

個亟待深入探討的研究課題。

過去關於失誤診斷的研究，大都強調電腦輔助系統的發展，其目的在幫助現場操作人員執行此一工作，在文獻中已經有許多不同的技巧被應用於此一問題上，如參數估計、專家系統、類神經網路、SDG 等。然而，這些失誤診斷的方法在應用上卻各有缺點，具定量優勢的數學模式參數估計方式主要的問題在於大量線上計算需求，另外，在某些情況下系統精確數學模式也可能無法確知；再另一方面，rule-based 的專家系統多半經由擷取特定工廠操作知識構建而成，故無法推廣至其它製程；而類神經網路之訓練所需計算量常過於龐大，以致於無法在實際複雜的系統中使用；最後，由於過去的 SDG 診斷方法是以程序的定性資料為依據，又因為實際程序系統中必然存在不可量測的變數，故難免也會產生一些診斷上的限制。

失誤樹分析(fault tree analysis)是一種系統化歸納失誤事件因果關係的圖型模式，可將引發意外事件的設備、人為的失誤、外界干擾或它們的組合找出。分析方法是採取“逆向思考”方式進行，分析者由頂事件(top event)開始，反向逐步推演出可能引起事件之直接原因，一直到基本事件(basic event)找到為止。分析結果是失誤樹及足以引發頂事件(top event)的失誤組合清單，即切集合(cut set)。如果單元設備或人為疏失機率數據齊全，亦可將意外發生機率求出，以作為安全管理的依據。Ulerich and Powers (1988)曾首先提出動態失誤樹的概念，利用即時的測量數據進行線上的失誤診斷，其方法是以失誤偵測樹(fault detection tree)來引導操作員搜尋造成失誤樹頂事件發生的原因。具體言之，我們可在原始失誤樹中的每一個基本事件之上插入 AND 閘，其輸入除了該基本事件外，還包括驗證用的線上時數據，根據失誤偵測樹之最小切集合，再配合失誤偵測樹之線上計算程式和單元設備或零件故障機率的數據，便可決定造成頂事件發生的可能誤源機率。上述方法最大的優點是把失誤診斷的範圍限定在事先選定的頂事件群，如此可以減少線上計算的負荷，並且使診斷的結果更加清楚明瞭，但是他們僅僅提出一個概念性的架構，缺乏建構診斷系統的系統化方法，因此在執行上尚有若干缺點亟待改善：(1)無法取得精確的元件可靠度數據以及干擾發生頻率；(2)無法合理定義變數偏差值( $\pm 1$  及  $\pm 10$ )範圍；(3)沒有利用到所有失誤傳遞症狀，具體言之，即並沒有利用到線上所有的測量值，及並沒有將失誤傳播症候發生的先後順序也包括在診斷的考慮中。

針對以上缺失，本研究室曾嘗試利用模糊邏輯法則表示出失誤樹模式之因果關係，進行了一系列關於失誤診斷的研究，主要著重在模糊推論架構的探討，以及在一般程序系統和簡單回饋控制系統之失誤診斷上的應用。模糊推論系統(fuzzy inference system, FIS)的特性是，系統的狀態相對於某個隸屬函數(membership

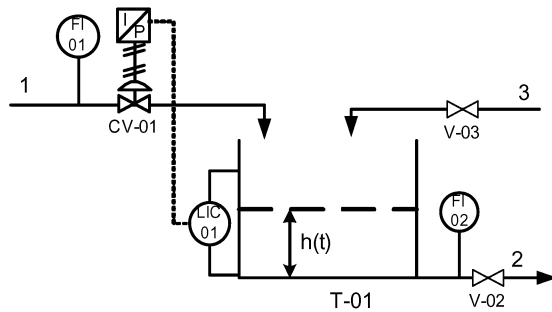
function)的隸屬度(degree of membership)為連續值。在失誤發生到造成危害的過渡時期之中，根據線上數據與失誤樣式(fault pattern)比對的結果，模糊推論系統可評估出某一指定危害事件是否即將發生，並且找到所有可能失誤源及其相對可能性，讓操作者及早應變。針對不含控制迴路的系統，我們曾以 TE 製程為模擬平台測試，得到相當良好的結果(Chang et al., 2002)；另外，針對具簡單回饋迴路的系統，我們也曾提出了更具一般性的失誤診斷架構，將迴路的暫態辨識邏輯整合在模糊 IF-THEN 法則中，同樣獲得令人滿意的結果(Chang and Chang, 2003)。

一般而言，在常見之實際化工製程之有向圖模式中，常常會發現多個環路的存在，特別是高等程序控制系統，例如串級控制(cascade control)、比率控制(ratio control)及凌駕控制(override control)等，這些系統中的不同迴路彼此之間相互競爭，甚至耦合(coupling)，致使同一控制系統可能會具有一種以上的控制組態，因此對干擾的響應常常涉及兩個以上迴路同時運作的系統暫態，甚至有可能會出現多種暫態。為了使以模糊邏輯為基礎之診斷技術更趨完備，在本研究中我們延續過去成果，繼續發展了多環路程序系統之失誤診斷架構。詳細內容如下：

## 2. 無迴路系統之診斷步驟

為後續說明方便，我們首先介紹無迴路系統之診斷步驟。在此以如圖一的液位控制系統為例，具體說明上述構想。本系統有兩個輸入，分別為管流 1 與 3，一個輸出(管流 2)，管流 2 與管流 3 上各自裝置一個閘閥，其中 V-02 在正常情況下為全開，V-03 則為全關，管流 1 裝置了一個控制閥，與液位控制器 LIC-01 形成一個回饋控制迴路。本系統計有三個測量點，分別是流量計 FI-01、FI-02 與液位控制器 LIC-01，在線上可以得到四個即時測量值，分別是：

FI-01m(管流 1 的流量)、FI-02m(管流 2 的流量)、LIC-01m(儲槽 T-01 的液位)與 LIC-01c(液位控制器 LIC-01 的輸出)。



圖一：液位控制系統。

本研究中的模糊推論系統的發展與應用可分成離線準備階段與線上診斷階段兩個部分執行(如圖二)：

### 2.1 離線準備階段：

與圖一中液位控制系統相對應的有向圖模式，可在圖三中找到。繪製有向圖的方法在文獻中很多，在此不加以詳述。若選定『液位過高』為我們所考慮的頂事件，可依圖三推導出如圖四之失誤樹。此一失誤樹的最小切集合共有 11 個，如表一所示。接著若再寫出相對各切集合之症候發生順序(symptom occurrence order, SOO)，則可據以建立 IF-THEN 診斷法則。在表一中第三至第十一個切集合內皆含控制元件故障，造成迴路訊號傳遞中斷。因此可視為無迴路系統。例如由表一之第十一組切集合，我們可以依據有向圖推演出對應的失誤傳播路徑(fault propagation path, FPP)如下：

$$m3(+1) \rightarrow h_{T-01}(+1) \rightarrow LIC-01^m(+1) \rightarrow LIC-01^c(0) \rightarrow m1(0) \rightarrow FI-01^m(0)$$

$$\square m2(+1) \rightarrow FI-02^m(+1)$$

在此，同一路徑上的節點排序表示的是不同失誤效應在時間上出現的先後順序，但位於兩條不同分枝上失誤效應的時序則無法由有向圖中

判定出來。另外須注意到，若失誤傳播時間可以根據其他已知之程序數據確實估算，則上述樹狀分枝型路徑也可依時序先後重排成直鍊形式。在 FPP 中任一節點代表的是某一在系統中過去未曾出現過的失誤效應，亦即程序變數偏離正常的現象，其中程序變數旁括號內的數值是該變數偏離正常的定性程度，可依據輸入變數偏離值及有向弧上標示的增益值計算，注意由於 LIC-01m 與 LIC-01c 之間的增益在此時為 0，有向圖結構與 FPP 相同。由於並非所有在 FPP 中的失誤效應都是可觀察到的，我們還須將其中代表測量變數及其測量訊號的節點合併，並移去未測量變數，如此可得到下面的 SOO：

$$LIC-01^m(+1) \rightarrow LIC-01^c(0) \rightarrow FI-01^m(0)$$

$$\square FI-02^m(+1)$$

SOO 表示的是線上可觀察得到的症候出現的時序，因此對應的模糊診斷法則可寫成

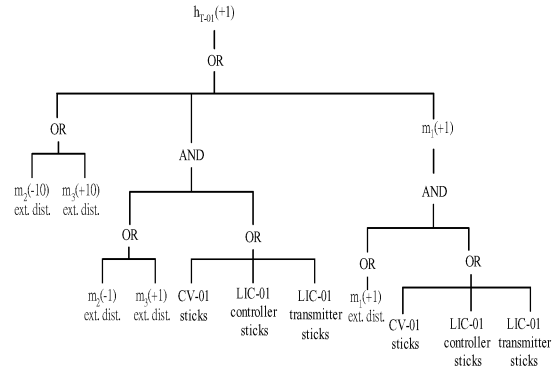
IF (FI-01m is ZE) AND (FI-02m is SP) AND (LIC-01m is SP) AND (LIC-01c is ZE) THEN (cs11 is OCR)

其中，cs11 代表該誤源發生的可能性指標；OCR 代表可能性之模糊值“occurred”的隸屬函數；ZE 與 SP 分別代表偏離程度之模糊值“zero”及“small positive”的隸屬函數。另外，我們還需將上述失誤症候之隨時間發展過程也考慮在內，因此在表二中的『候選症候』(candidate pattern) 皆應可在失誤源發生後的某一時刻由線上數據中觀察到，其對應之 IF-THEN 推論法則在表三中列出，在此，UCTi 為可能性模糊值“uncertain”的隸屬函數，而  $i(i=1,2,L)$  表示不確定程度，其值越低則不確定程度越高；NOC 則為可能性模糊值“not occurred”的隸屬函數。

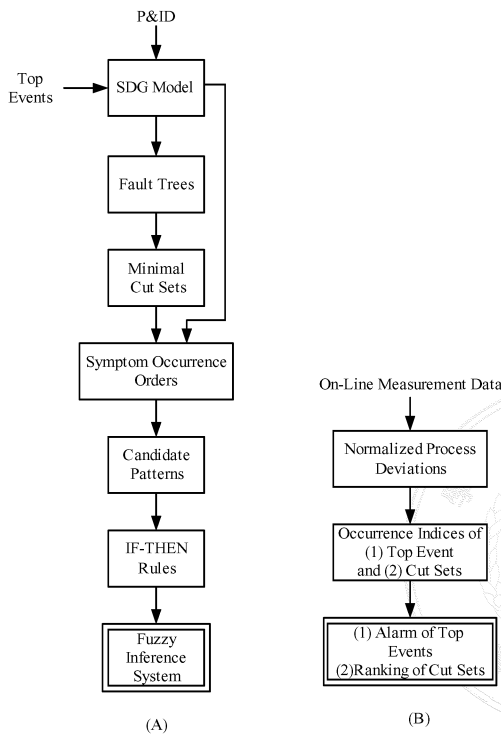
### 2.2 線上診斷階段：

我們必須先將線上測量數據轉換成偏差值後再輸入 FIS，而 FIS 的輸出為頂事件及各誤源的可能性指標。以圖一之液位控制系統為例，

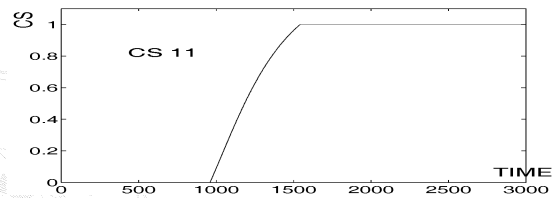
假設液位控制器 LIC-01c 在時間為 1000 秒時卡死，而同時閥 V-03 被打開(正常時 V-03 是關閉的)，此一異常進料流量為 200 cm<sup>3</sup>/sec，則 FIS 失誤診斷的結果如圖五所示，在圖中顯示的是 cs11 指標值。



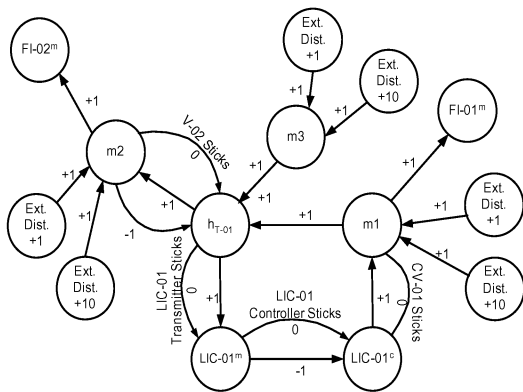
圖四：液位系統中『液位過高』為頂事件之失誤樹



圖二：失誤診斷應用步驟：(A)離線準備階段，(B)線上診斷階段



圖五：液位控制系統第 11 組切集合發生可能性



圖三：液位系統之有向圖模式

表一：液位控制系統最小切集合

最小切集合序號	m1 管流 1 流量	m2 管流 2 流量	m3 管流 3 流量	CV-01 控制閥 卡死	LIC-01 Trans. Sticks 傳送器 卡死	LIC-01 Cntlr. Sticks 控制器 卡死
1		-10				
2			+10			
3	+1			Yes		
4	+1				Yes	
5	+1					Yes
6		-1		Yes		
7		-1			Yes	
8		-1				Yes
9			+1	Yes		
10			+1		Yes	
11			+1			Yes

表二：液位控制系統第 11 組最小切集合之候選症候

NO.	FI-01m	FI-02m	LIC-01m	LIC-01c
1	0	0	0	0
2	0	0	1	0
3	0	1	1	0
4	0	0	1	0
5	0	1	1	0
6	0	0	1	0
7	0	1	1	0

### 3. 具迴路系統之失誤症候

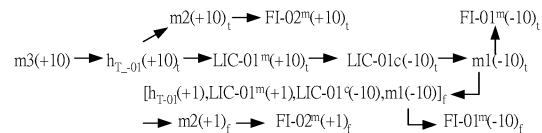
在上述液位控制系統中，我們已針對在控制元件故障之前提下外界干擾(例如表一中第 3 至第 11 組切集合)所造成之失誤症狀，提出妥善的推論法則(例如表三)。接下來讓我們考慮具回饋迴路系統之失誤症候(例如表一中第 1 與 2 兩組切集合造成之效應)，在無迴路的系統中受到失誤影響的程序變數改變可以被看做是從正常狀態直接轉換至異常狀態的過程，但在含回饋迴路的程序中，我們還必須考慮到控制器的補償效應。

表三：液位控制系統第 11 組最小切集合之斷法則

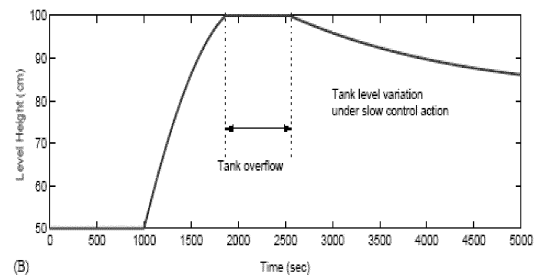
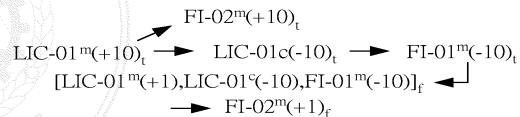
NO.	IF				THEN
	FI-01m	FI-02m	LIC-01m	LIC-01c	
1	ZE	ZE	ZE	ZE	NOC
2	ZE	ZE	SP	ZE	UCT1
3	ZE	SP	SP	ZE	UCT2
4	ZE	ZE	SP	ZE	UCT2
5	ZE	SP	SP	ZE	UCT3
6	ZE	ZE	SP	ZE	UCT3
7	ZE	SP	SP	ZE	OC

具體而言，在干擾進入迴路之後迴路變數會受其影響而暫時改變至中間狀態，但接下來受到回饋控制動作的修正，會再趨向穩定的最

終狀態。在此我們再以圖一的液位控制系統為例來說明，若管流 3 上的手動閥被誤開且通過流量大於管流 1 正常流量(即表一中第 2 個誤源)，則液位的響應可能如圖六所示，而詳細失誤傳播路徑(FPP)可表示為

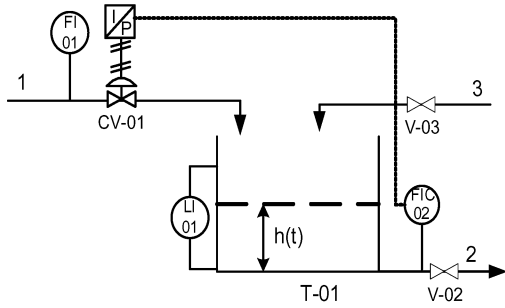


其中，下標 t 代表在回饋補償效應還不明顯時受到外界干擾影響而導致的暫態，對應節點內程序變數之偏離值為輸入變數偏離值與對應增益值乘積，下標 f 代表在外界干擾及回饋補償同時影響之下系統到達的穩態，注意到由於我們無法確知迴路上變數到達新穩態的時序，因此所有迴路變數的最終狀態被合併為 FPP 上的一個節點。而對應症候發生順序(SOO)可表示為其候選症候則在表四列出。

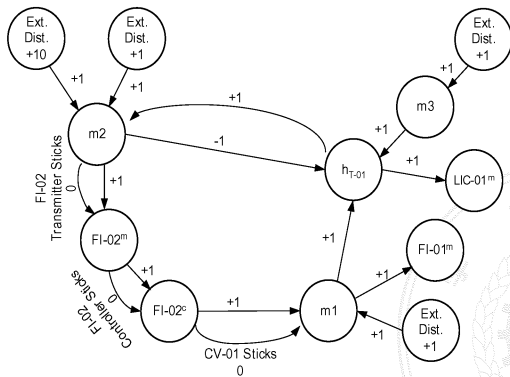


圖六：液位對干擾的響應

此外在更複雜的系統之中，我們常常會遇到多重迴路耦合的情況，例如若將圖一所示之液位控制策略改為如圖七的前饋控制，即依據出口流量測量值FI-02<sup>m</sup>來改變入口流量，以期能維持設定液位，對應有向圖模式可表示如圖八，注意到其中存在耦合的前饋及回饋迴路。

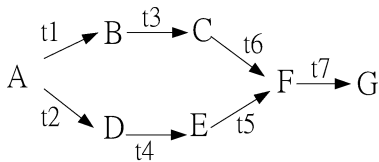


圖七: 前饋液位控制系統



圖八: 前饋液位控制系統之有向圖模式

為了能使接下去的討論具通用性，在此我們首先考慮如圖九所示之具前饋迴路基本結構的虛擬有向圖：



圖九: 具前饋迴路結構的虛擬有向圖

其中由 A 進入之干擾會經由兩條路徑影響到同一變數 F，我們可以根據下面方式建立 FPP 及 SOO，並推論出不同的候選症候：

為說明方便，假設所有變數皆有測量，若兩條路徑上失誤傳播相對速度未知，則我們應將前饋終點看成兩獨立變數，將迴路拆解為簡單的樹狀 SOO，如下圖所示。然後在對應候選症候中再計算合併效應  $f=f_1+f_2$  及  $g=g_1+g_2$  即可。

$$A(a) \rightarrow B(b) \rightarrow C(c) \rightarrow F_1(f_1) \rightarrow G_1(g_1)$$

$$\square D(d) \rightarrow E(e) \rightarrow F_2(f_2) \rightarrow G_2(g_2)$$

此外，若能根據額外資訊確知局部失誤傳遞速度，則可進一步減少候選症候數目。例如若已知兩條路徑上傳遞速度相同，我們可省去上述候選症候中，只出現  $(F_1, F_2)$  兩者之一的症候，或是只出現  $(G_1, G_2)$  兩者之一的症候。

另一方面，若確知前饋迴路所有症候時序，例如已知  $t_1 < t_2 < t_1 + t_3 < t_2 + t_4 < t_1 + t_3 + t_6$  及  $t_1 + t_3 + t_6 + t_7 < t_2 + t_4 + t_5$ ，我們則可簡化 SOO 如下

$$A(a) \rightarrow B(b) \rightarrow D(d) \rightarrow C(c) \rightarrow E(e)$$

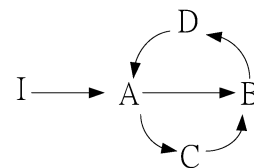
$$\rightarrow F_1(f_1)_t \rightarrow G_1(g_1)_t \rightarrow F(f)_f \rightarrow G(g)_f$$

接下來再考慮基本結構與圖八相同之虛擬有向圖(如圖十)，此一結構可視為兩條耦合回饋迴路：

- (1)  $A \rightarrow B \rightarrow D \rightarrow A$
- (2)  $A \rightarrow C \rightarrow B \rightarrow D \rightarrow A$

或是一條回饋迴路  $A \rightarrow B \rightarrow D \rightarrow A$ ，內含前饋迴路

$$\left( \begin{array}{l} A \rightarrow B \\ A \rightarrow C \rightarrow B \end{array} \right)$$



圖十: 虛擬回饋/前饋耦合迴路

為了減少候選症候的數量，我們常需預設失誤傳遞速率，現在考慮下列極端情形：

假設前饋迴路兩條路徑的傳遞速度相近，則前饋迴路中失誤效應必然會先傳遞至 C 再至 B，因此 SOO 可視為

$$I(i) \rightarrow A(a_1)_i \rightarrow C(c_1)_i \rightarrow B(b_1)_i \rightarrow D(d_1)_i \\ \rightarrow [A(a_2), C(c_2), B(b_2), D(d_2)]_f$$

我們可依此訂定候選症候。

假設回饋迴路 A->B->D->A 傳遞速度極快，會先達到暫時平衡，其後另一回饋迴路 A->C->B->D->A 才被啟動，其對應 SOO 應為

$$I(i) \rightarrow A(a_1)_i \rightarrow B(b_1)_i \rightarrow D(d_2)_i \rightarrow [A(a_2), B(b_2), D(d_2)]_f \\ \rightarrow C(c_1)_i \rightarrow [B(b_3), D(d_3), A(a_3), C(c_2)]_f$$

我們也可同樣依此訂定候選症候。

在前面所提前饋液位控制系統中，假設上述第一種失誤傳遞情況成立，以失誤源『管線三流量小幅度增加』為例，與其 SOO 相對應的候選症候列於表五。同理我們可列出失誤源『管線一流量小幅度增加』的候選症候於表六。在此我們可發現表五與表六最終候選症候之各變數狀態皆相同，若我們只以最終狀態來決定失誤是否發生，將會造成誤判。但在另一方面，注意到變數的終端狀態與其暫態其實並不一致，而具迴路系統在特定誤源開始發生後到發展至最終狀態前所出現的暫態，應更具唯一性，因此本研究改善了前述無迴路系統之推論方法，把暫態發展歷史也用作判斷基礎。

表四：『管線三流量大幅度增加』的候選症候

No.	LIC-01m	LIC-01c	FI-01m	FI-02m
1	0	0	0	0
2	+10(t)	0	0	0
3	+10(t)	0	0	+10(t)
4	+10(t)	-10(t)	0	0
5	+10(t)	-10(t)	0	+10(t)
6	+10(t)	-10(t)	-10(t)	0
7	+10(t)	-10(t)	-10(t)	+10(t)
8	+1(f)	-10(f)	-10(f)	0
9	+1(f)	-10(f)	-10(f)	+10(t)
10	+1(f)	-10(f)	-10(f)	+1(f)

表五：『管線三流量小幅度增加』的候選症候

No.	LI-01m	FIC-02m	FIC-02c	FI-01m
1	0	0	0	0
2	1(t1)	0	0	0
3	1(t1)	1(t)	0	0
4	1(t1)	1(t)	1(t)	0
5	1(t1)	1(t)	1(t)	1(t)
6	0(t2)	1(t)	1(t)	1(t)
7	1(t2)	1(t)	1(t)	1(t)
8	10(f)	10(f)	10(f)	10(f)

表六：『管線一流量小幅度增加』的候選症候

No.	LI-01m	FIC-02m	FIC-02c	FI-01m
1	0	0	0	0
2	0	0	0	1(t1)
3	1(t1)	0	0	1(t1)
4	1(t1)	1(t)	0	1(t1)
5	1(t1)	1(t)	1(t)	1(t1)
6	1(t1)	1(t)	1(t)	10(t2)
7	0(t2)	1(t)	1(t)	10(t2)
8	1(t2)	1(t)	1(t)	10(t2)
9	10(f)	10(f)	10(f)	10(f)

#### 4. 雙層推論架構

如前所述，為了避免誤判，我們有必要紀錄所有過去曾發生過的暫態來作診斷之依據。為此，我們以兩階層式的模糊推論取代先前的架構，第一層用於即時判別各候選症候是否出現，第二層則確認症候出現時序。詳細的作法如下：我們首先針對特定誤源，以模糊IF-THEN法則推論出之每一候選症候之最大出現可能性 ( $sptm_1^{\max}$ ,  $sptm_2^{\max}$ ,  $sptm_3^{\max}$ , ...,  $sptm_n^{\max}$ )，舉例來說，表五中之候選症候可以寫成如表七之推論法則，注意這些法則在每一筆線上數據被擷取近來之後就會即時被激發，因此我們還須在線上決定出過去至今所得之可能性最大值。

接下來我們須再在第二層中評量候選症候出現時序與 SOO 符合程度。舉例來說，若三個

暫態症候須依順序發生，則我們可以針對第三個暫態症候的出現寫出如下的規則：

IF (sptm1 is NOC) AND (sptm2 is NOC) AND (sptm3 is OCR) THEN (cs is UCT1)  
 IF (sptm1 is OCR) AND (sptm2 is NOC) AND (sptm3 is OCR) THEN (cs is UCT2)  
 IF (sptm1 is NOC) AND (sptm2 is OCR) AND (sptm3 is OCR) THEN (cs is UCT2)  
 IF (sptm1 is OCR) AND (sptm2 is OCR) AND (sptm3 is OCR) THEN (cs is UCT3)

表七：『管線三流量小幅度增加』的第一層推論法則

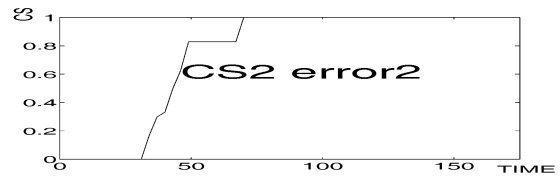
NO.	IF				THEN
	LI-01m	FIC-02M	FIC-02C	FI-01m	
1	SP	ZE	ZE	ZE	Sptm1OC
2	SP	SP	ZE	ZE	Sptm2OC
3	SP	SP	SP	ZE	Sptm3OC
4	SP	SP	SP	SP	Sptm4OC
5	ZE	SP	SP	SP	Sptm5OC
6	SP	SP	SP	SP	Sptm6OC
7	ZE	LP	LP	LP	Sptm7OC

## 5. 案例

### 5.1 案例一：儲槽液位前饋控制系統

以這樣的原則來診斷前饋液位控制系統中上述兩種最終狀態相同的失誤。由模擬結果(圖十一至十四)我們可看出，以兩階層式的模糊架構可正確的診斷出多重迴路系統中的失誤。

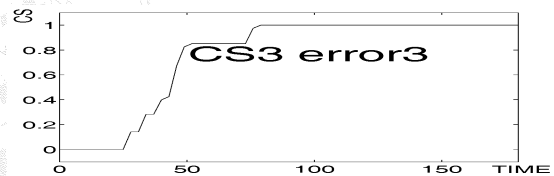
### 5.2 案例二：反應器進料比率控制系統



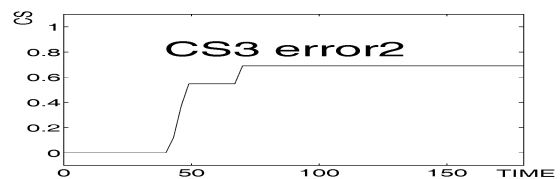
圖十一：以針對誤源『管線三流量小幅度增加』之診斷法則作推論的結果 - 真實誤源為『管線三流量小幅度增加』。



圖十二：以針對誤源『管線三流量小幅度增加』之診斷法則作推論的結果 - 真實誤源為『管線一流量小幅度增加』。



圖十三：以針對誤源『管線一流量小幅度增加』之診斷法則作推論的結果 - 真實誤源為『管線一流量小幅度增加』。

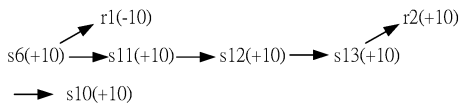


圖十四：以針對誤源『管線一流量小幅度增加』之診斷法則作推論的結果 - 真實誤源為『管線三流量小幅度增加』。

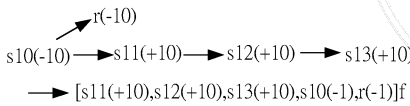
考慮如圖十五所示的反應器，為了避免反應過快造成溫度失控的情形，我們必須維持進料 A 與 B 流量比為 1:2。此一系統之有向圖如



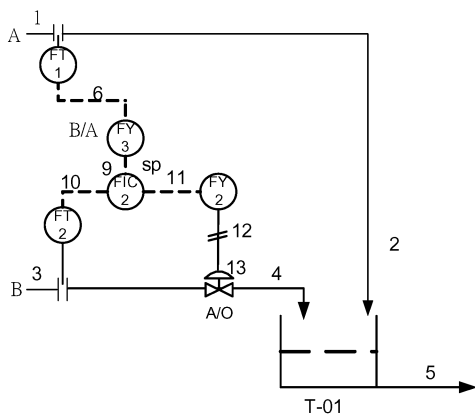
圖十六所示，我們可以看到此系統中有前饋及回饋迴路各一條，在此考慮『A 流量大幅增加』及『流量 A 小幅增加，再加上控制閥卡死』的兩種失誤。此兩種失誤皆會造成進料 A 與 B 流量比例下降以致於反映溫度升高的現象。以流量 A 大幅增加情況之下，我們以前的分析可將其 SOO 拆解如下（在此我們可以加裝兩個測量器於流量 A、B (s14、s15) 並假設感測器皆處於正常狀態，我們則可由此兩測量器觀測 ratio 值，因此可視 ratio 值為可測量變數）：



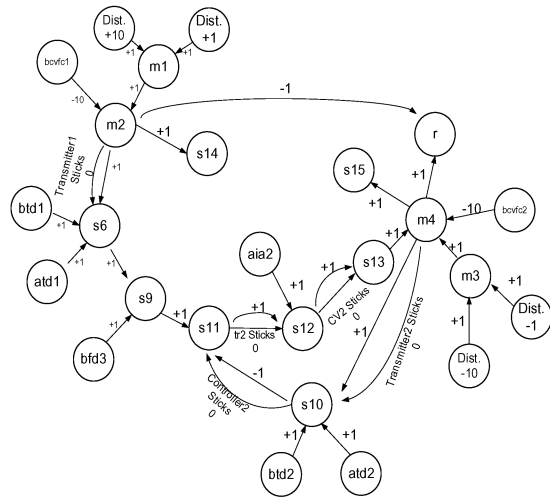
並可列出其後選症候於表八，同樣我們可以列出上述第二種失誤的候選症候於表九。最後由模擬結果（見圖十七及圖十八）可以證實我們藉以推導出的模糊法則可正確診斷出真實的誤源。我們當然也可以找出以頂事件為『進料流量比例下降』的失誤樹之其他最小切集合，如『流量三大幅減少』，其 SOO 可寫成下：



其後選症候於表十，而模擬結果於圖十九。



圖十五：反應器進料比率控制系統



圖十六：反應器進料比率控制系統之有向圖

表八：『管線一流量大幅度增加』的候選症候

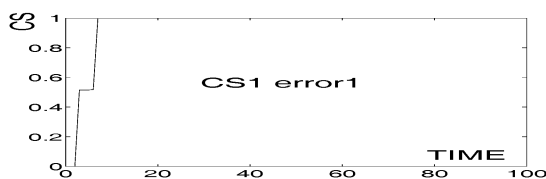
No.	F1-01m (s6)	FIC-02 (s11)	I/P-02 (s12)	Cvp-02 (s13)	FIC-02m (s10)	ratio (r)
1.	0	0	0	0	0	0
2.	10	0	0	0	0	0
3.	10	10	0	0	0	0
4.	10	10	10	0	0	0
5.	10	10	10	10	0	0
6.	10	10	10	10	10	0
7.	10	10	10	10	0	10
8.	10	10	10	10	10	10
9.	10	0	0	0	0	-10
10.	10	10	0	0	0	-10
11.	10	10	10	0	0	-10
12.	10	10	10	10	0	-10
13.	10	10	10	10	10	-10
14.	10	10	10	10	0	-1
15.	10	10	10	10	10	-1

表九：『管線一流量小幅度增加、控制閥卡死』的候選症候

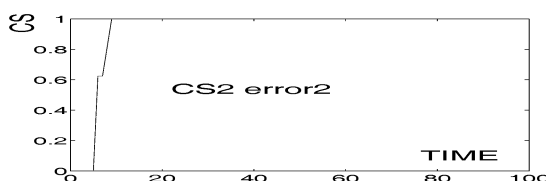
No.	FI-01m (s6)	FIC-02 (s11)	I/P-02 (s12)	Cvp-02 (s13)	FIC-02m (s10)	ratio (r)
1.	0	0	0	0	0	0
2.	1	0	0	0	0	0
3.	1	1	0	0	0	-1
4.	1	1	1	0	0	-1
5.	1	1	1	0	0	-1
6.	1	1	1	0	0	-1
7.	1	10	10	0	0	0
8.	1	10	10	0	0	-1
9.	1	10	10	0	0	-1
10.	1	10	10	0	0	-1
11.	1	10	10	0	0	-1

表十：『管線三流量大幅度增加』的候選症候

No.	FI-01m (s6)	FIC-02 (s11)	I/P-02 (s12)	Cvp-02 (s13)	FIC-02m (s10)	ratio (r)
1.	0	0	0	0	0	0
2.	0	0	0	0	-10	0
3.	0	10	0	0	-10	0
4.	0	10	10	0	-10	0
5.	0	10	10	10	-10	0
6.	0	0	0	0	-10	-10
7.	0	10	0	0	-10	-10
8.	0	10	10	10	-10	-10
9.	0	10	10	10	-10	-10
10.	0f	10 f	10 f	10 f	-1 f	-1 f

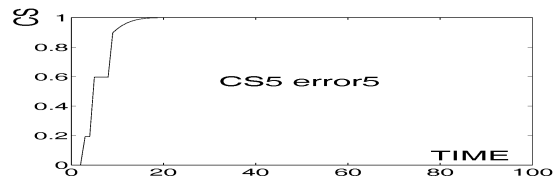


圖十七：誤源『管線一流量大幅度增加』之診斷法則作推論的結果 - 真實誤源為『管線一流量大幅度增加』。



圖十八：誤源『管線一流量小幅度增加』之診斷法則作推論的結果 - 真實誤源為『管線一流量小幅度增加』。

加、控制閥卡死』之診斷法則作推論的結果 - 真實誤源為『管線一流量小幅度增加、控制閥卡死』。



圖十九：誤源『管線三流量大幅度下降』之診斷法則作推論的結果 - 真實誤源為『管線三流量大幅度下降』。

## 6. 結論

藉由考慮多迴路程序系統中的失誤傳播行為，我們在此提出一個以模糊邏輯為基礎的線上失誤診斷策略。本研究之重點為多迴路程序系統中失誤傳播動態的分析，我們藉由分析結果重新修訂了症狀發生順序(SOO)的訂定步驟，以及推論法則的編譯方法，並以大量模擬數據驗證本研究提出之失誤診斷策略。

## 7. 參考文獻

- [1]S. Y. Chang, C. R. Lin, and C. T. Chang, 2002, "A Fuzzy Diagnosis Approach Using Dynamic Fault Trees," Chem. Eng. Sci. 57, 2971-2985.
- [2]S. Y. Chang, and C. T. Chang, 2003, "A Fuzzy-Logic Based Fault Diagnosis Strategy for Process Control Loops," Chem. Eng. Sci. 58, 3395-3411.
- [3]S. Dash, R. Rengaswamy and V. Venkatasubramanian, 2003, "Fuzzy-Logic Based Trend Classification for Fault Diagnosis of Chemical Processes," Comput. & Chem. Engng., 27, 347-362.
- [4]Ulerich, N. H., Powers, G. J., 1988, On-line Hazard Aversion and Fault Diagnosis in Chemical Processes: The Digraph + Fault-Tree Method, IEEE Trans. Reliab. vol. 37, no. 2, 171-17.

