建構多重輸入、多重輸出之 EPC 模式

蕭逢元 [1.2] 江瑞清 [2]

[1] 南亞技術學院紡織科學系

[2] 中原大學工業工程研究所

摘要

現實產業中，不論是高科技產業或是石化工業，製程系統多由多重的因素影響並決定製程輸出的型態與製程控制的方式，針對多重輸入、多重輸出的製程型態，在多重因子相互影響的情形，控制方式益加困難且往往無法在多重因子的控制條件下求解獲得最佳的控制參數，以作為製程輸入的設定值。

本研究利用統計製程管制（SPC）、工程製程管制（EPC）、適應控制、回饋控制與品質工程的概念與方法，建構一套簡單的多重輸入、多重輸出之製程控制系統，其中涵蓋了多重輸入、多重輸出（Multiple-Input Multiple-Output）製程子系統、量測子系統、製程輸出分析子系統、參數整合控制子系統與調整子系統五個部分。利用結合多個多重輸入、單一輸出（Multiple-Input Single-Output）之製程系統，簡化多重輸入、多重輸出系統，並依此製程系統模式，詳細探討其流程與執行步驟相互連結之關係，期望以統計製程管制與工程製程管制之功能，達到有效控制多重輸入、多重輸出之製程系統。

關鍵字：工程製程管制、製程管制、製程調整

*Email: yuan@nanya.edu.tw　Tel:03-4361070#4108　Fax:03-4651996

Construct the EPC Model of Multiple-Input and Multiple-Output

Feng-Yuan Hsiao[1.2] and Jui-Chin Jiang[2]

[1]Department of Textile Science, Nanya institute of technology, Chung-Li, Taiwan

[2]Department of Industrial Engineering, Chung-Yuan Christian University, Chung-Li, Taiwan

Abstract

In the practice production environment, such as high tech industry or chemical process industry, the character of the most of the system are multiple-input and multiple-output. Due to the disturbance and dependent effect of multiple input control factors, the output values may shift from the target, and it is hard to obtain the optimal input parameters of the manufacturing system.

This study is applying the concepts of statistic process control (SPC), engineering process control (EPC) and process adjustment to construct a simplified multiple-input multiple-output (MIMO) process control system. It includes five sub-systems: MIMO process sub-system, measuring sub-system, process-output analyzing sub-system, parameters-integrated controlling sub-system, adjusting sub-system. In order to simplify the complexity of multiple-Input and multiple-output manufacturing system, we simplify the MIMO system by combining more than one multiple-input and single-output (MISO) manufacturing system. Expected to integrate the functions of SPC and EPC to control and adjust the multiple-input multiple-output manufacturing system effectively.

Key words：EPC、Process Control、Process Adjustment

壹、前言

環境快速變動與產業高度競爭下，競爭力決定產業在現實環境中立足的主要因素。提昇競爭力是產業不斷自我提昇的要點，企業廠商欲創造或維持競爭之優勢，產品的品質提供了在產業間最佳的競爭條件，唯有加強產品品質提昇顧客滿意才能做到競爭力的維持與提昇。

過去的品質提昇著重製程偵測，移除不良與變異的來源，一旦發現造成製程變異增加之可歸屬因子才進行移除，但通常製程輸出已出現大量偏移，並且需費時尋找確認變異來源才能真正有效移除，往往無法即時採取有效的製程補償，無法快速回應系統資訊也將造成系統停機的狀態，而建立有效的製程管制系統，不僅需有效移除變異來源，更應能即時回饋系統資訊，有效的即時做出管制的動作。

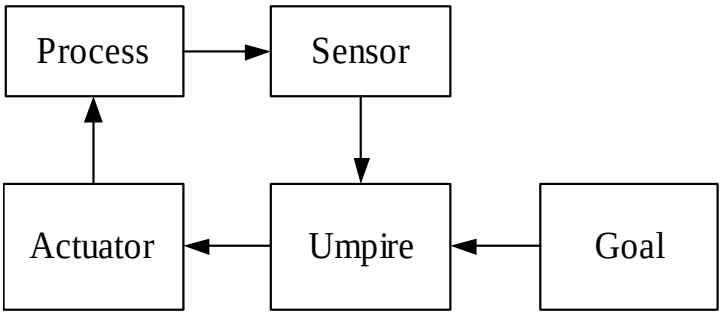
系統會因一些已知但不易控制、或需昂貴控制成本的因素所影響，這些因素與現象為存在系統內之干擾現象，對於這種不易移除或控制的因素與現象，可利用工程製程管制的概念，以專業之技術去補償因系統不可控之現象所造成的偏差，有效的補償並穩定系統輸出。

基於上述之背景與動機，本研究主要是針對系統中多重輸入、多重輸出的型態，藉由製程管制系統涵蓋之基本功能以及基本架構，應用 EPC 與統計方法技巧，配合 EWMA 控制技術，以建構一簡化之多重輸入、多重輸出之 EPC 控制系統，期以提昇製程品質。本研究欲完成之要項為建構多重輸入、多重輸出之 EPC 系統之架構；結合多個多重輸入、單一輸出之製程系統，以簡化多重輸入、多重輸出之製程系統，作為探討之製程系統；針對製程輸出分析子系統、參數整合控制子系統分別建立其實施的程序及步驟。經由本研究之完成，盼能提供一多重輸入、多重輸出之製程型態的簡易製程管制系統，作為以提昇實際生產型態之製程管制效果。

貳、文獻探討

一、製程管制

Collani（1997）指出製程管制系統的功能應必須藉由預防及補償偏離目標值。根據 Juran（1992）的論述，一個良好的製程管制系統架構，必須具備下圖一的功能。



圖一 製程管制系統示意圖

Hunter（1986）指出製程管制常用的管制圖有 Shewhart、EWMA 與 CUSUM 等三種管制圖，此三種管制圖最主要差別在於對資料使用的權數不同，比較三種管制圖之屬性，歸納如下表一 所示：

表一 Shewhart & EWMA & CUSUM 管制圖之比較

管制圖種類	Shewhart	EWMA	CUSUM
觀測值之權數比例	0 或 1	依指數遞增或遞減	所有觀測值之平均
偵測力	適用大量偏移	適用小量偏移	適用小量偏移
結合過去資料	否	是	是
複雜度	低	中	高
時間點	T	t+1	t
管制圖參數	平均數 μ，變異數 σ(可用估計)	平滑指數 $\lambda(0<\lambda\leq 1)$	平均數 μ (可用估計)

傳統的製程管制技術，在面對自動化製程的動態性與自相關情形多半無法解決，Wardell（1992）指出 Shewhart 管制圖在製程相關性的情況上，利用最小均方差 MMSE (Minimum Mean Square Error)作為管制圖的觀測數據上，缺乏良好的偵測能力。針對製程的相關性與小量偏移，則 EWMA 與 CUSUM 能發揮較佳的偵測力。

管制圖為 SPC 中最常使用到的一項工具，Montgomery（1996）說明利用管制圖功能步驟以進行製程管制的技術。MacGregor（1988）則指出管制圖最主要功能為了解製程改變的狀態，並採用有效矯正措施以降低製程品質變異；眾所皆

知，Shewhart 管制圖仍是現今廣為應用之製程管制技巧，因為其簡明易懂且使用方便的特性，深受產業界喜愛。

製程管制的目的無非是要降低製程上的各種變異，以使製程輸出能更接近目標值。MacKay（1997）降低變異的五種策略：

1.採用對製程產出作更嚴格的檢驗。

2.採用或提昇回饋控制。

3.降低製程輸入之變異。

4.採用或提昇適應控制。

5.降低製程對輸入參數的敏感度。

在提昇品質的製程管制方面，可分為線上（On-Line）管制與線外（Off-Line）的管制，此工具與技術需不斷地修正與提昇，以符合製造業或非製造業的新挑戰。

二、統計製程管制

統計製程管制（Statistical Process Control）是透過所量測之品質特性數據，分析研判製程中是否存在可歸屬之異常原因(Assignable Causes)，以防止因非隨機性的製程變化，在未造成嚴重影響前，對製程中之可歸屬之異常原因進行改善工作。Elasyed（1995）統計製程管制是以統計為基礎的方法，對製程做長時間的監控，針對可歸屬因子做移除。

而管制圖則是統計製程管制技術中管制製程狀態的重要工具之一，經由修華特博士(Dr. Shewhart)於 1931 年所發展；管制圖建立方式是將製程數據中抽取樣本資料，加以整理、記錄並標示在於管制圖上，以提供現場人員製程之品質資訊，使其能研判製程狀態，協助其從事預防性之品質改善，進而採取適當行動。管制圖在實務應用上，除了使用超出三倍標準差之判斷法則外，尚有其他結合統計技巧及機率理論之輔助法則，協助現場人員了解製程數據呈現出非隨機性模型(Un-natural Patterns)，以判定製程為符合管制狀態。

不論在任何生產程序中均會有變異存在，當製程存在可歸屬原因時，其製程數據通常會呈現非隨機性模型，所以管制圖最主要功能便是儘快偵測出製程內是否存有可歸屬原因，以便在更多不良品被製造出來之前，就能發現製程變異所在，以利進行改善工作。因此，辨識製程數據中非隨機性模型，以從中發現造成製程差異之原因，成為統計製程管制上重要的研究課題。

三、工程製程管制

工程製程管制（Engineering Process Control）主要是應用回饋控制之技術，對製程所存在的干擾進行補償性的調整，EPC 通常假設製程的輸入與輸出具有函數關係，利用定期調整操縱變數（Manipulated Variable）的方式，對製程輸出之差異進行補償，使輸出值回歸目標值，藉以降低製程變異，進而增進製程能力。其理論的探討著重在時間序列的方法的配合應用，需要知道操縱變數與製程輸出變數之關係，才能夠建構適當之製程函數關係。

四、整合統計製程管制與工程製程管制

Collani（1997）的品質系統模式中，可看出在一個品質系統中，工程製程管制與統計製程管制在生產製程中是屬於同一階段之應用，工程製程管制的主要目的是針對一些可預測之製程偏離現象進行補償，統計製程管制則是對無法預測之可歸屬因子進行監控並移除。

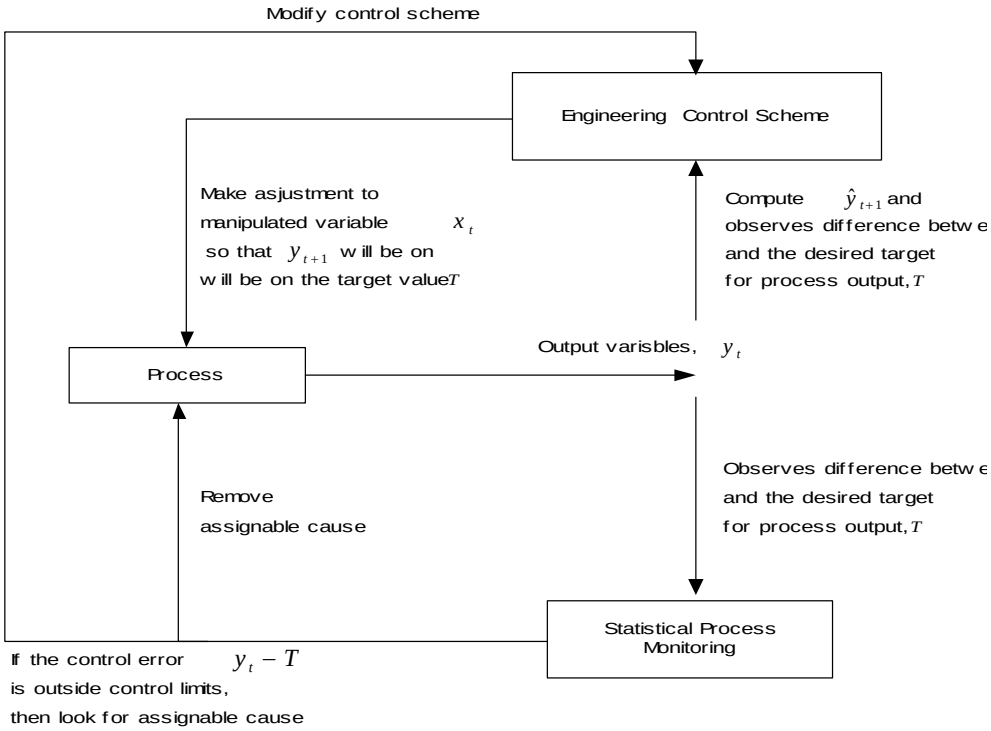
Van der Wiel etal.（1992）提到 SPC 與 EPC 的整合應用，在 1960 年代在製程改善方面就已被提出，但 EPC 卻因為在執行上較為困難，與數理計算上的複雜性而不受重視與使用。

Cai etal.（2001）指出 SPC 與 EPC 兩者在功能上其實有相同之處，同樣具有錯誤補償的功能， EPC 著重在參數調整以補償製程輸出；SPC 是對變異來源進行矯正移除，以使輸出能回到目標值。

Hoerl 與 Palm（1992）以理論基礎面與實際應用面相互討論比較，說明 SPC 與 EPC 應有效率的整合應用，才能發揮製程管制最大的功能。

過去 SPC 與 EPC 是呈現平行發展的，而整合 SPC 與 EPC 的議題也早被提出，但直到近年才廣為受到重視。Montgomery（1996）提及整合使用 SPC 與 EPC 很可能會產出比單一使用 SPC 或 EPC 有更顯著的改善效果，因為 SPC 可監控並刪除可歸屬因素，EPC 可使製程產出符合目標值。

SPC 可以改善系統績效，移除可歸屬因子，但卻無法維持系統的穩定性。相對的 EPC 能維持系統績效，降低製程變異，但卻無法針對可歸屬因子作移除，以改善系統。Montgomery（1996）提出 SPC 與 EPC 之統合模式，如圖二，以說明未來兩者整合之架構：



圖二 Engineering Process Control and Statistical Process Monitoring

五、管制與調整之相關文獻

針對控制與調整之相關文獻，整理分述如下，包含：演算法統計製程管制、適應控制與回饋控制、EWMA 控制。

1. 演算法統計製程管制

在統計製程管制與工程製程管制的概念下，需要數理演算與工程知識的相互配合，而演算法統計製程管制(Algorithmic Statistical Process Control)簡稱 ASPC 為其應用的一種控制方式，其基本概念為先使用適應控制與回饋控制等技術，降低可預期之品質變異，再使用統計製程管制以監控此系統。而 ASPC 其運作可分為四個步驟：

a.描述製程（Process Description）：了解目前之製程現況。

b.模式建立（Model Formulation）：建立適當之製程模式函數關係。

c.模式配適（Model Fitting）：進行模式之參數估計。

d.製程控制（Process Control）：對製程進行調整與控制。

2. 適應控制與回饋控制

回饋控制（Feedback Control）是對於已完成產品的特性質或製程條件，不尋求其偏離目標值的原因，而以回饋的方式來降低輸出與目標值間的差異。

適應控制（Feedforward Control）是藉由調整製程參數，以減低輸入對輸出偏離目標值的影響，適應控制在使用上有下列四個限制條件：

a.輸入對輸出而言是個重要的變異來源。

b.輸入與輸出之關係能被了解，並且對時間而言具有穩定性。

c.輸入可用時間函數的方式量測或表達。

d.要有方法可以調整製程參數，使其對輸入之改變做補償。

3. EWMA 控制

指數加權移動平均控制是利用將較近期的資料給予較大之權重，以進行估計，具有預測之功能。能對欲量測之輸出值進行預測，並做到預應調整的功效。平滑指數即權重因子可利用過去之量測值，以最小平方法進行估計獲得模式其適當之參數值。Montgomery（1991）指出當量測值具有自相關的情形，利用 EWMA 作為預測之功能，可以達到顯著之預測效果。

參、模式建構

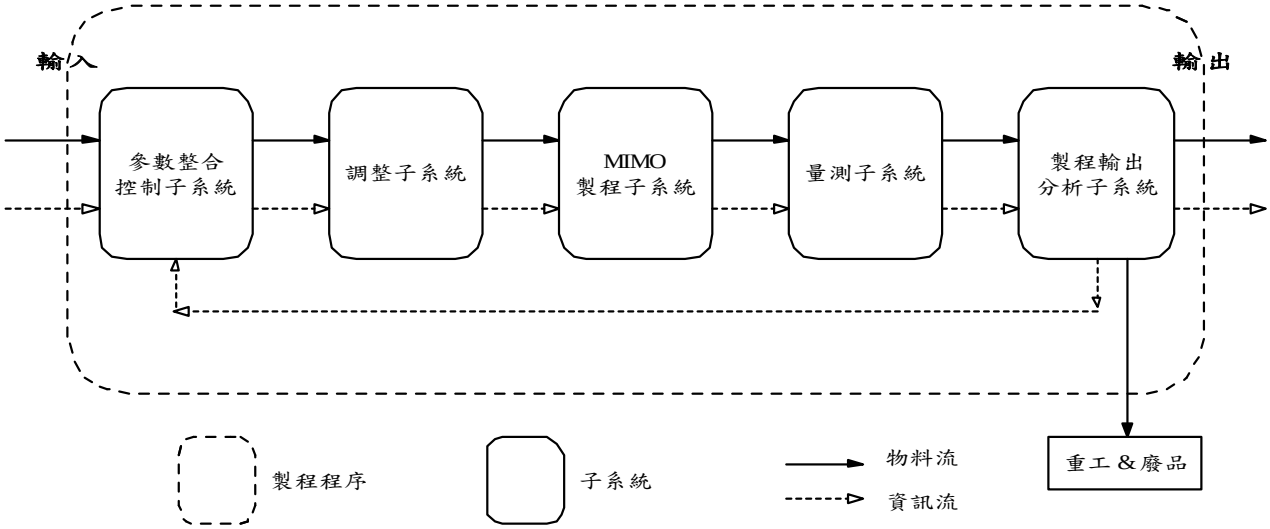
本研究最主要是針對自動化生產之製造程序，建構一簡化多重輸入、多重輸出條件下的製程控制系統。藉由製程管制系統所涵蓋的基本功能及基礎架構，應用 EPC 之觀念及相關統計方法與技術，以達到製程管制的目的。

本章節建構之多重輸入、多重輸出製程管制系統，涵蓋多重輸入、多重輸出製程子系統、量測子系統、製程輸出分析子系統、參數調整控制子系統與調整子系統。對子系統間之關聯順序作詳細的展開，並將此五個子系統所擁有的功能及定義清楚描述。

一、多重輸入、多重輸出之製程管制系統架構

本研究所建構之多重輸入、多重輸出製程管制系統，主要包含多重輸入、多重輸出製程子系統、量測子系統、製程輸出分析子系統、參數整合控制子系統五個部分；其系統相關順序如圖三所示。

圖三多重輸入、多重輸出製程管制系統可視為生產狀態中之某一製程程序，其上、下製程程序間的關係視為第 M 個製程程序。其輸入由前一個 M-1 製程程序之製程輸出分析子系統輸入；輸出為至下一個 M+1 製程程序之參數整合控制子系統，結合回饋控制，本身資訊會經由製程輸出分析子系統回饋至本身第 M 個製程程序之參數整合控制子系統。



圖三 多重輸入、多重輸出製程管制系統架構圖

二、多重輸入、多重輸出製程子系統

多重輸入、多重輸出製程子系統所擁有的功能即為生產製造的過程，本研究中則為物料加工處理之環境，針對製程程序的特性，設定製程輸入參數，經過加工處理後則產生輸出，可經由品質工程的方法獲得一開始的初始輸入參數。

本研究中，製程系統假設以多個多重輸入、單一輸出（MISO，Multiple-Input Single-Output）製程系統進行整合為一個簡化之多重輸入、多重輸出（MIMO，Multiple-Input Multiple-Output）製程模式，如下圖四 MIMO 製程子系統所示；而就 MISO 製程系統來看，其輸出與輸入之間具有一定之函數關係$Y = f(x)$，如下所示：

圖四 MIMO 製程子系統

$$Y_{i,t} = \alpha_i + \beta_{1,i} x_{1,t} + \beta_{2,i} x_{2,t} + ... + \beta_{n,t} x_{n,t} + \varepsilon_i$$

$$= \alpha_i + \sum_{m=1}^{n} \beta_{i,m} x_{m,t} + \varepsilon_i$$

$i=1,2,....,j \quad j\in N$，$m=1,2,....,n \quad n\in N$，$t=0,1,2,....,s \quad s\in N$

且 $\varepsilon_i \overset{iid}{\sim} N(0,\sigma^2)$

Y：製程系統之輸出值，及所欲量測之物料品質特性。

x：製程系統之輸入值，及製程條件的參數設定值。

多重輸入、多重輸出製程子系統是將製程資訊轉換成實際執行資訊，對物料流進行加工。在實際製程加工的過程，會出現多種的製程干擾(Disturbance)現象，所謂的干擾現象通常是指一些已知而不太可能控制、或需要投入大量昂貴的控制成本才能達到控制目的的雜訊(Noise)，其包含漂移(Drift)、偏移(Shift)、趨勢(Trend)等。這些干擾的情形便是造成製程不穩定的原因，造成製程變異增加。

三、量測子系統

量測子系統，即為透過量測之儀器設備，以獲得多重輸入、多重輸出之製程輸出資料。本研究中則針對前一程序之多重輸入、多重輸出製程子系統之輸出值進行測量，獲得欲量測之物料品質特性之數據，此系統具有數據處理的功能。量測子系統之研究的步驟與程序詳述如下：

1.接收多重輸入、多重輸出製程子系統所傳遞之資訊流與物料流。

2.對進入量測子系統之物料，選定欲量測之製程品質特性進行數據收集。

3.確定欲量測之品質特性，能夠涵蓋在量測儀器之操作範圍之內。

4.利用量測儀器依序取得 n 個量測值，並依序紀錄於數據收集表中。

四、製程輸出分析子系統

製程輸出分析子系統主要是將量測子系統中所收集到的資料，以統計與數理的方式進行分析，進而從分析出來的訊息中或的決策的資訊。並評估物料的 Go 或 Nogo 的決策。製程輸出分析子系統之步驟與程序詳述如下：

1.接收由量測子系統所傳遞之物料與資訊流。

2.針對目標值對欲量測知品質特性輸出值計算偏移量。

3.多重輸出值個別進行大量偏移檢測。

4.集中趨勢與離散趨勢之評估與決策處理。

5.製程若具不良之集中或離散趨勢，則必須立即分析原因出處，避免製程輸出值產生更嚴重的偏離目標值情形，物料流也必須進行檢驗，以剔除先前所生產之不良品，並進行重工或是廢品的處理。

6.將物料與數據資料傳遞給製程輸出分析子系統。

五、參數調整控制子系統

參數調整子系統最主要的功能便是將上一製程輸出分析子系統所給予的資訊，進行製程系統模式的建立、並進行製程模式的配適，最後再將資訊進行整合，建立參數調整機制，以作為估計下一期輸入值之依據。參數調整子系統之步驟與程序如下：

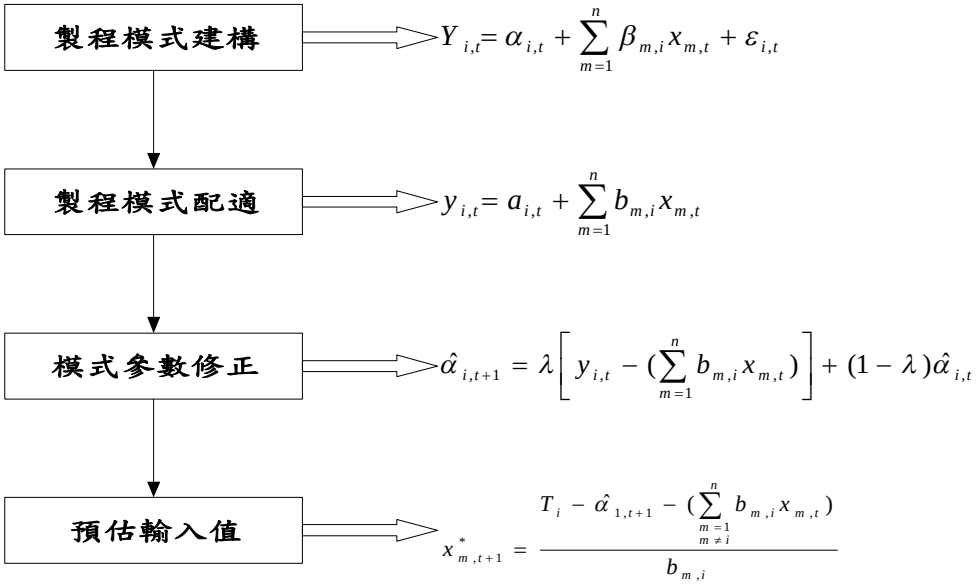
1.接收本製程與上製程輸出分析子系統之物料與資訊流。

2.對適應與回饋資訊進行彙整。

3.對製程模式做配適，以決定參數調整模式。

4.進行多變量之參數估計，作為初始之製程模式，並進行下一期輸入值之預估。

接收製程輸出分析之資訊後，就必須建立適當的參數調整機制，讓 SPC 與 EPC 能交相應用，以發揮最大的製程改善與製程最佳化的目標。根據下圖五多變量參數估計流程之步驟：

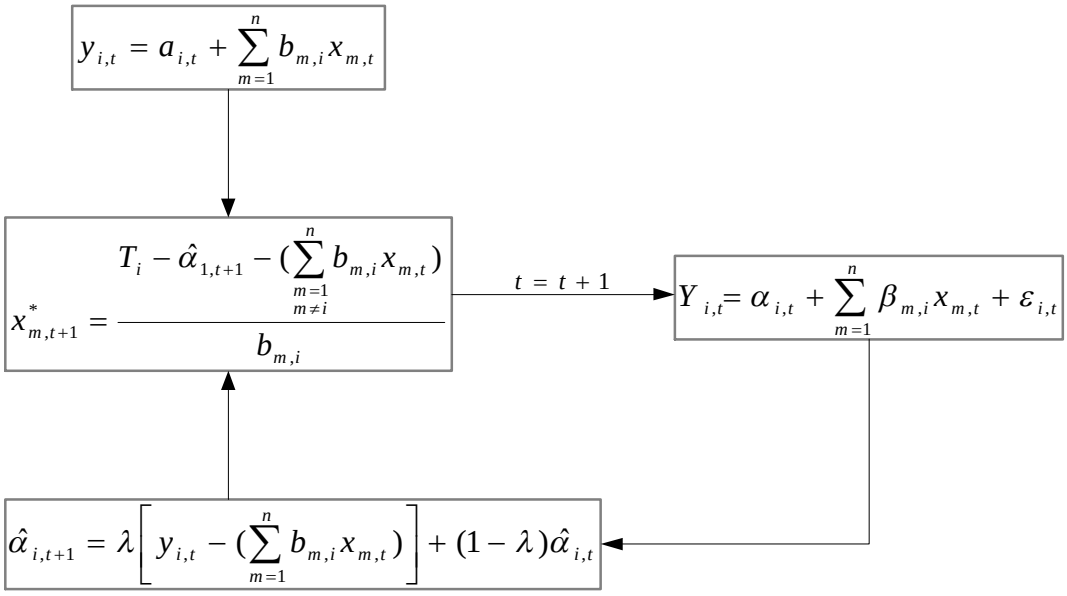


圖五 多變量參數估計流程

5.利用 EWMA Controller 之預估模式對製程模式參數進行修正與估計。

在 Tseng（2002）中，對多重數入、多重輸出製程架構，提出了 EMWA 控制，研究中利用了線性迴歸分析，將非控制變數項的部分，化為截距項求得製程線性中的截距項以進行調整。

利用 Tseng（2002）的單一 EWMA 控制器流程步驟，以建構多個多重輸入、單一輸出之製程調整模式，流程步驟詳述如下圖：



圖六 Single EWMA Controller

6.建立估計輸入值之配對，以最小總和平方誤差（Minimum Total Sum of Square Error）決定調整水準。

7.將物料與數據資料傳遞給調整子系統。

六、 調整子系統

調整子系統為參數調整控制子系統與 MIMO 製程子系統之間的轉換媒介，將參數整合控制子系統的資訊，進行轉換至執行製程調整的工作，調整子系統之步驟與程序如下如下：

1.接受前一參數整合控制子系統所傳遞之資訊

2.參數輸入組合之選定

3.調整量之計算與轉換

4.將欲調整之調整量轉換製程參數之水準

5.確定欲調整之製程參數水準範圍再可接受的範圍之內

6.通知 MIMO 製程子系統，並傳遞物料。

肆、結論與展望

一、研究結論

在產業製造特性複雜的情形下，欲維持良好的生產品質與良率，一個適當的品質管制系統是可以增強製程品質，提昇輸出良率，為求能更符合生產製程的多重輸入、多重輸出條件，本研究應用統計品質管制與工程製程管制、回饋控制與適應控制等相關概念，建構一套簡化之多重輸入、多重輸出之製程管制系統，以求更能符合實際製程，強化管制系統，綜合上述章節之討論，本研究歸納下列幾點結論與貢獻：

1.針對生產製造過程，主要利用工程製程管制的概念，針對多重輸入、多重輸出的情形下，建構一套簡化的多重輸入、多重輸出之製程管制系統，以趨近實際生產製程所需。

2.利用 EWMA 控制流程，對製程進行適時的連續修正與調整補償，與應用回饋與適應控制對製程模式做適當的修正。

3.整合應用統計製程管制與工程製程管制，利用統計製程管制進行製程離散與集中趨勢的判定，以監控製程是否大量偏移情形，再利用工程製程管制進行小量偏移的調整補償動作，讓製程產出更趨近目標值。

二、未來展望

本研究雖力求完備，但受限於時間、人力及其他相關資源，以致尚有一些假設的限制無法克服；因此，未來尚有延續本研究相關概念與方向之研究空間可繼續發展：

1.在輸入與輸出型態方面：本研究之多重輸入、多重輸出製程模式是以多重輸入、單一輸出進行模式簡化，未來可針對更多的輸入與輸出條件發展更精確之多重輸入、多重輸出之製程管制系統。

2.在研究範圍方面：製程模式中假設斜率項為可估計之常數，僅對製程之截距項進行修正調整，後續研究可針對斜率項做一併的考量，發展更有效的修正模式。

3.在實際應用方面：由於受限實際資源，無法以真實生產過程進行模式之實際驗證，以後可朝實際之製程系統進行實證。

伍、參考文獻

Cai, D. Q., M. Xie, and T. N. Goh, "SPC in an Automated Manufacturing Environment," International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Vol. 14, No. 2, pp. 206-211 (2001).

Collani, Elart Von, "A Discussion on Statistically based Process Monitor and Control-Individual Contributions," Journal of Quality Technology, Vol. 29, No. 2, pp. 148-156 (1997).

Elsayed, E. A., J. L. Ribeiro, and M. K. Lee, "Automated Process Control and Quality Engineering for Processes with Damped Controllers," International Journal of Production Research, Vol. 33, No. 10, pp. 2923-2932 (1995).

Hoerl, Roger W., and Andrew C. Palm, "Integrating SPC and APC," Technometrics," Vol. 34, No. 3, pp. 268-272 (1992).

Hunter, J. S., "The Exponentially Weighted Moving Average," Journal of quality Technology, Vol. 18, No. 4, pp. 203-210 (1986).

Juran, J. M., Juran on Quality by Design, Free Press, (1992).

Keats, J. Bert, Enrique Del Castillo, and Elart Von Collani, "Economic Modeling for Statistical Process control," Journal of Quality Technology, Vol. 29, No. 2, pp. 144-147 (1997).

MacKay, R. Jock, and Stefan H. Steiner, "Strategies for Variability Reduction," Quality Engineering, Vol. 10, No. 1, pp. 125-136 (1997-98).

MacGregor, J. F., "On-Line Statistical Process Control," Chemical Engineering Process, Vol. 84, No. 10, pp.21-31 (1988).

Montgomery, D. C., and C. M. Mastrangelo, "Some Statistical Process Control Methods for Autocorrelated Data," Journal of Quality Technology, Vol. 23, No. 3, pp. 179-193 (1991).

Montgomery, D. C., Keats, J. B., Runger, G. C., and Messina, W. S., "Integrating Statistical Process Control and Engineering Process Control," Journal of Quality Technology, Vol. 26, pp. 79-87 (1994).

Montgomery, D.C., Introduction to Statistical Quality Control, Third Edition, (1996).

Tseng, Sheng-Tsaing, Rouh-Jane Chou, and Shui-Pin Lee, "A Study on a Multivariate EWMA Controller," IIE Transactions, Vol. 34, pp. 541-549 (2002).

Vander Wiel, S. A., Tucker, W. T., Faltin, F. W., and Doganaksoy, N., "Algorithmic Statistical Process Control: Concepts and an Application," Technometrics, Vol. 34, pp. 286-297 (1992).

Wardell, D. G., Moskowitz, H., and Plante, R. D., "Control Charts in the Presence of Data Correlation," Management Science, Vol. 38, No. 8, pp. 1084-1105 (1992).