

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

動態系統中等級類別資料之參數最佳化

計畫類別：個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC - 89 - 2213 - E - 009 - 172

執行期間：89 年 8 月 1 日至 90 年 7 月 31 日

計畫主持人：唐麗英

執行單位：國立交通大學工業工程與管理學系

中 華 民 國 90 年 10 月 30 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

計畫編號：NSC 89-2213-E-009-172

執行期限：89 年 8 月 1 日至 90 年 7 月 31 日

主持人：唐麗英 國立交通大學工業工程與管理學系

一、中文摘要

隨著產品或製程複雜度增加，在衡量某些產品的品質特性時往往會受限於無精密的量測工具等，而需以目視或粗略的量測方式來衡量品質特性，使得產品品質好壞的衡量必須以等級分類的方式呈現。此外，由於顧客對產品的要求日趨嚴格，需要能有彈性來調整品質功能的設計，因此田口動態系統的參數最佳化設計的應用已有越來越廣的趨勢。由於現有的中外文獻針對等級類別資料最佳化的探討皆僅限於靜態系統，因此，本研究的主要目的是針對動態系統中品質特性屬於等級類別的資料，先以模糊理論決定等級間的權重，再利用馬氏距離處理等級間的相關性，發展出一套動態系統中具等級類別資料型態之製程最佳化的程序。本研究方法經新竹科學園區積導線架製造業者驗證後，證實能有效地改善製程的品質具實務應用價值。

關鍵詞：田口方法、參數設計、等級類別資料、靜態系統、動態系統

Abstract

Due to the increasing complexity of the product design, the quality response is often measured with ordered categorical response by subjective when using design of experiments for quality improvement. Because of subjective determining the order categories for quality response the data among the order categories always exist strong correlations. Most of the existed optimizing methods for order categorical response involved in a state system, optimizing dynamic categorical response have rarely been seen. Therefore, this study develops a procedure using Mahalanobis distance capable of optimizing dynamic categorical responses, simultaneously considering the location and dispersion effects. The calculation of Mahalanobis distance considers the correlation among categories. Therefore, it can explicitly depict the dynamic categorical response performances and accurately determine an optimal factor/level combination. Finally, a case study involving optimizing the uniformity of plating from an integrated circuit manufacturer, demonstrates the effectiveness of proposed procedure.

Keywords: ordered categorical characteristics, Taguchi method, dynamic system, accumulation analysis, Mahalanobis distance

二、緣由與目的

近年來由於市場競爭激烈，企業積極追求產品創新及製造技術精進之外，產品品質的提昇更是消費者所共同關心的問題，而品質的改善不僅單靠線上的產品檢驗，更須要在產品設計的階段就考慮進去。田口(Taguchi)於 1960 年代發展出的一套品質改善方法主要就是著重在產品開發的初期就將品質設計進去，此舉可避免完全依靠製程後期的產品檢驗來提昇品質，並可減少檢驗的成本。

品質特性值若可以測量的方式取得則稱之為計量型品質特性，若以計數方式取得者則稱之為計數型品質特性。當品質特性值不能以數量表示，僅能以優、劣等級劃分其等級者則稱為等級類別型品質特性。通常等級類別型資料產生的原因是當無精確的測量儀器及方法或基於成本的考量而採用檢驗人員的主觀判斷，約略地將品質特性值落在某一範圍內歸於同一類。檢驗人員可能會因為對缺陷認知的不同而有判斷上的差異，這種差異會造成在兩個相鄰的等級類別間有著判別的模糊地帶，這些模糊地帶的資料可能會造成類別間有某種相關性的存在。在過去有不少學者提出過靜態系統中等級類別型資料的處理方法，但是在動態系統問題中等級類別型資料的處理方法卻十分少見。

而目前業界以動態性的方式來衡量產品或製程已有日漸增多的趨勢，因此本研究之主要目的即是針對動態系統中具等級類別資料型態之製程，結合模糊理論與馬氏距離觀念，發展出一套考慮到等級之權重與等級間相關性之參數最佳化的流程，並以新竹科學園區導線架製造業者提供的製程實例，來說明如何應用本研究所發展之動態系統具等級類別資料型態之製程最佳化的程序及驗證本流程的可行性與有效性。

三、文獻探討

3.1 田口方法動態特性之簡介

田口方法的主要概念為提昇品質使其能達到目標值並減少變異，強調在產品與製程設計時就應考慮品質問題。在田口方法發展初期以探討靜態系統方面的文獻[2,6]較多，然而針對工業界的實際需求，田口方法在動態系統方面的應用也日益增多。在動態系統中品質特性的目標值會隨著信號因子水準的不同而有所改變。信號因子水準可由產品設計者或使用者自行設定以達到所需的產品功能。田口動態系統在理想狀態下，可將品質特性與信號因

子的關係視為線性，其數學表示式如下：

$$Y = SM + v \quad (1)$$

其中 Y 為品質特性；M 為信號因子； S 為斜率，代表系統的靈敏度； v 為隨機誤差項。

田口建議在動態系統中用信號雜音比 (signal to noise ratio, SN 比) 與感度 (sensitivity, S) 作為衡量品質變異與靈敏度的指標，此二指標之表示方法如下：

$$SN = 10 \times \log \left(\frac{S^2}{f^2} \right) \quad (2)$$

$$S = 10 \log S^2 \quad (3)$$

3.2 等級類別資料參數最佳化相關文獻

田口發展累積分析法 [5] (Accumulation Analysis Method) 來進行等級分類資料的最佳化。有些學者質疑田口的累積分析法只能夠分析因子的位移效應 (location effect)，但是卻無法得知各因子離散效應 (dispersion effect) 的大小，導致無法找到使製程變異最小的最佳因子水準組合。

Nair[3]提出計分法 (Scoring Scheme，簡稱 SS 法) 主要就是修正累積分析法只考慮位移效應的缺失，計分法主要是尋找用來區分等級分類變數的離散效應與位移效應的虛擬分數 (pseudo scores)。計分法的提出雖能彌補累積分析法的不足，但當各分類別中觀測次數太多時將會影響檢定的效率，而當誤差的自由度太大時，亦會造成 ANOVA F 檢定過度膨脹而導致型誤差太大。

Jean 和 Guo[1] 提出加權機率計分法 (Weighted Probability Scoring Scheme, WPSS)，直接給予各類別資料一個不同的權重，再利用歐式向量長度 (Euclidean Norm) 的觀念，求出其與目標值的距離當作衡量離散效應之分數，作為選取最佳因子水準組合的指標。WPSS 法的重點是將類別權重的概念分別套用在位移效應與離散效應上，然而在選擇權重方面並沒有一定的根據，若分類不恰當或不符合實際情況時，可能會影響最後結果的準確性，因此應用此方法時必須謹慎衡量應如何分派各類別權重的問題。

3.3 馬氏距離

馬氏距離 (Mahalanobis distance) 最早是由 Mahalanobis [6] 提出。其不同於歐氏距離 (Euclidean distance) 處是馬氏距離考慮了變數間的相關性，可更為準確地衡量多維度之觀測值間的距離。若在 p 維度下觀測值 i 與 k 的馬氏距離為：

$$MD_{ik}^2 = (x_i - x_k)^T S^{-1} (x_i - x_k)$$

其中 x 為一 $p \times 1$ 的向量， S 為 $p \times p$ 的相關矩陣

馬氏距離具有以下三個特性：

- (1) 對稱性 (symmetry)：若兩觀測值 i 與 k 之馬氏距離為 MD_{ik}^2 ，則 $MD_{ik}^2 = MD_{ki}^2 > 0$ 。
- (2) 三角不等性 (triangular inequality)：假設三個觀測值 i 、 k 與 l ，則 $MD_{ik}^2 < MD_{il}^2 + MD_{lk}^2$ 。
- (3) 可區分性 (distinguishability)：若兩觀測值 i 與 k 之馬氏距離為 $MD_{ik}^2 = 0$ ，則 i 與 k 為相同的觀測值；反之 $MD_{ik}^2 \neq 0$ ，則代表 i 與 k 為不同之

觀測值。

四 應用馬氏距離於動態系統中等級類別參數最佳化

本研究之流程主要可分成五個階段，現將各階段之演算法說明如下：

第一階段：決定品質特性之等級類別個數及其權重。

步驟 1：根據工程師的經驗決定品質特性之等級分類數目 s ，並將第一類設為最佳等級，第二類其次，以此類推。

步驟 2：依工程知識與經驗利用模糊理論，將等級類別之重要程度以十三種語意性措辭來代表每一類別的重要性並找出其權重。

第二階段：規劃實驗，並對每一實驗組合求算其品質特性綜合值。

步驟 1：首先由工程師透過腦力激盪法及要因分析，篩選出欲進行研究之因子及其水準數，並選出適用之田口直交表以進行實驗。

步驟 2：計算各信號因子水準下每一類別的加權比率值。

將各信號因子水準下，每一等級類別出現次數轉換為比率值，如下式所示：

$$P_{krxu} = m_{krxu} / m_{rxu} \quad (4)$$

其中 m_{krxu} 為在第 r ($r=1, 2, \dots, R$) 次的重複實驗下，第 x 實驗組，信號因子水準 u ($u=1, 2, \dots, U$) 之等級類別第 k 類的個數，而 $m_{rxu} = \sum_{k=1}^s m_{krxu}$ 。每一類別的加權比率值可以 (5) 式表示之。

$$Q_{krxu} = w_k \times P_{krxu} \quad (5)$$

步驟 4：在第 r 次的重複實驗下，第 x 實驗組在信號因子之第 u 個水準下的品質特性綜合值 Y_{rxu} 可以 (6) 式表之：

$$Y_{rxu} = \sum_{k=1}^s Q_{krxu} \quad (6)$$

第三階段：在信號因子第 u 個特定水準下計算各實驗組之等級類別比率值與目標值的差異

步驟 1：根據第 r 次重複實驗在信號因子第 u 個水準下的 P_{krxu} 值，以類別為變項分別計算其共變異數矩陣 S_m 。

步驟 2：將步驟 1 所得之共變異矩陣代入馬氏距離公式，如下式：

$$MD_{rxu}^2 = (P_{krxu} - T_k)^T S_m^{-1} (P_{krxu} - T_k) \quad (7)$$

其中， $T_k = \begin{cases} 1, & k=1 \\ \alpha, & k=2 \\ \vdots \\ \alpha, & k=s \end{cases}$ 表目標值。

在信號因子水準 u 下，實驗組 x 的輸出值與目標值的平均差異為

$$\overline{MD_{rxu}^2} = \left(\sum_{r=1}^R MD_{rxu}^2 \right) / R \quad (8)$$

衡量在實驗組 x 下輸出值與目標值的總距離可定義為

$$MD_x^2 = \left(\sum_{u=1}^U \overline{MD_{rxu}^2} \right) \quad (9)$$

第四階段：找出最佳因子水準組合

步驟 1：利用品質特性綜合值 Y_{rxu} 與信號因子來求算斜率估計值 S 與變異估計值 MSE ，再由 SN 比與斜率的公式繪製反應圖以找出影響變異與靈敏度的因子。

步驟 2：利用調整因子提高斜率與逼近目標值。

依縮小變異、提升靈敏度與調整迴歸線的順序決定最佳的因子水準組合，若

(A) 某因子水準間的 SN 比差異不顯著，則可為調整斜率的因子。

(B) 某因子水準間的 SN 比與靈敏度的差異皆不顯著，可視為縮小與目標線距離的調整因子。

第五階段：進行確認實驗

為了確認求出的最佳因子水準組合具有實際效益，必須進行確認實驗以確認實驗結果是否具有再現性 (reproducibility)。當確認實驗具再現性，則表示第四階段所找到的因子水準組合為最佳因子水準組合。若確認實驗的結果與預測的差異很大，則必須回到第二階段重新規劃實驗，選擇適當的控制因子與信號因子，重複四個階段的分析流程，直到確認所得之最佳因子水準具有再現性為止。

五、實例說明

本計畫收集了新竹科學園區一家導線架製造業者對電鍍製程中電鍍均勻度之製程數據，該公司之導線架的構裝型態是屬於 QFP(Quad Flat Package)。依據工程人員的工程知識與製程瞭解，本研究選出了對於電鍍均勻度有較顯著影響的因子有電流量(A)、反應溫度的設定(B)、電鍍液(plating liquor)轉速的設定(C)、觸媒(catalyst)的輸入量(D)以及進入電鍍槽的位置(location)(E)、反應時間(F)等六個因子，因子 A 為兩水準設定、其它因子皆為三水準。而信號因子則是選定為觸媒的濃度比，分別為 0.7、1.0 與 1.3 三個水準。由於檢驗設備的限制，電鍍均勻度必須透過工程人員以光學顯微鏡做目視判斷。本實驗採用田口 L_{18} 直交表的實驗設計來規劃實驗。

根據本研究第四節所發展的最佳化流程，分析實驗的數據，所找出最佳因子水準組合為 A2B3C2D3E1F1，並在此最佳水準組合下進行十次重複實驗，將所得之各等級類別平均累積比率與此製程現行參數水準組合 (A2B3C2D3E1F1) 下各等級類別平均累積比率作一比較，如圖 1 所示。

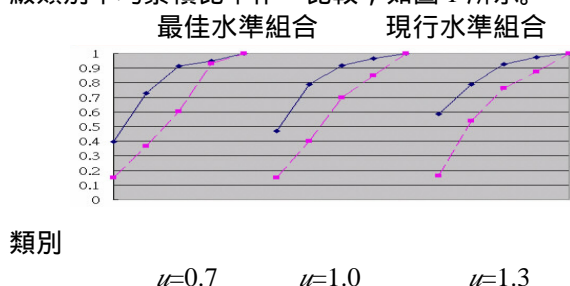


圖 1 改善前後等級類別累積比率比較

由圖 1 可知在信號因子三個水準下，改善後累積到第二類所佔的比率值比現行水準組合下高出約 30%，因此，本研究方法對本案例具有明顯的改善效果。

六、結論

本研究所發展的方法，經利用實例驗證後，證實其確能幫助工程師找出等級類別型資料之最佳參數水準組合，可有效地改善動態系統中具等級類別品質特性之品質。

本研究所發展田口動態系統中等級類別資料之參數最佳化的演算法具有下列優點：

1. 本演算法不需作大量的統計運算分析，對於較無統計訓練的工程人員在使用上相當簡單。
2. 本研究所構建的參數最佳化流程可合理地運用田口方法來縮小輸出值的變異，並藉由調整田口動態系統中迴歸線的斜率以提昇輸出值的平均。

七、參考文獻

- [1] Jean, Y.-C. and Guo, S.-M., (1996), "Quality Improvement for RC60 Chip Resistor," Quality and Reliability Engineering International, Vol. 12, pp. 493-445.
- [2] Logothetis, N. and Haigh, A., (1988), "Characterizing and Optimizing Multi-Response Process by the Taguchi Method," Quality and Reliability Engineering International, Vol. 4, No. 2, pp. 159-169.
- [3] Nair, V. N., (1986), "Testing in Industrial Experiments with Ordered Categorical Data," Technometrics, Vol. 28, pp.283-291.
- [4] Phadke, M. S.,(1989), Quality Engineering Using Robust Design, Prentice-Hall.
- [5] Taguchi, G., (1966), Statistical Analysis (in Japanese), Maruzen, Tokyo.
- [6] Mahalanobis, P. C. (1936). On the generalized distance in statistics. Proceedings of the National Institute of Science of India, 12, 49-55.