

# 田口法應用於最佳化設計問題

王栢村 陳興忠

國立屏東科技大學學報 第七卷第一期 13—20 頁抽印本

中華民國八十七年三月

## 田口法應用於最佳化設計問題

王栢村<sup>1</sup> 陳興忠<sup>2</sup>

### 摘 要

本文旨在發展以田口法為基礎之最佳化分析程式，以進行最佳化問題之解析。首先定義典型的最佳化問題，包括目標函數，設計變數與限制條件，再說明田口法分析步驟，並探討田口法於最佳化設計之應用步驟，最後以三個實例解析做說明，驗證了田口法在最佳化設計的可行性，未來可應用於一般性之最佳化設計問題之解析。

(關鍵詞：最佳化設計，田口法，直交表，目標函數，設計實驗法)

### 前 言

近年來由於各項生產成本提高，以及各種來自國內或國外企業的競爭日趨劇烈，對於如何減少成本支出增加產值並提昇品質，已經成為目前各界相當重視的課題。而且在一般的工程應用過程當中，時常會發現原始的設計，並不如想像中所表現的好，因此對於原始設計就會產生如何去改善的構想，而此一構想便是最佳化的原動力。最佳化設計可以減少許多設計和使用的成本，因此最佳化設計被廣泛的應用在許多領域中，最佳化設計的重要性亦日趨重要。

而在求解無拘束最佳化設計問題的傳統數值分析方式，如 steepest decent method, conjugate gradient method, Newton's method, modified Newton's method 等，在一般的數值分析的參考書[3、4、10]均有介紹。目前也有許多其它最佳化的方式，例如利用遺傳學演算法 (Genetic Algorithm, GA)[6、13]應用於衛星桁架分析，求得最佳的桁架幾何形狀，並減少桁架振動[7]。也有利用模仿生物生長方式對結構進行最佳化設計，以減小應力集中現象[2]。

田口法係由日本學者田口玄一 (Taguchi) 於1960年代初期所提出，此一方法原先是應用於品質工程領域中，如應用於汽車保險桿之射出成形製程之最佳化設計[1]，但近來已經陸續有許多非品質工程領域的應用，利用田口法進行操控性能的綜合分析，找出不同懸吊系統參數對汽車操控性能的影響[8]，利用田口法評估機車的操控性能之影響[9]，利用田口法分析中型卡車行經公路跳動路面時的行駛品質影響[5]。

當進行最佳化設計分析，目標函數有很複雜的多設計變數及多水準組合而成時，若要分析各設計變數及各水準對目標函數的影響，田口法可以減少相對於傳統分析的龐大實驗分析次數，又可得到各設計變數的最佳化組合，進而得到目標函數之最佳化設計。又基於田口法可以分析由很複雜的多設計變數及多水準組合而成的目標函數，並得到各設計變數於各水準對目標函數的影響，以及各設計變數對整體目標函數最佳化影響量的特性，因此本文撰寫以田口法為基礎而發展之最佳化分析程式，以進行最佳化設計問題的解析。

### 最佳化問題定義

一般典型的具拘束之最佳化問題[13]均需明確定義目標函數，設計變數以及限制條件，以便找到設計變數之最佳值，並符合限制條件之拘束，而使得目標函數最小化。而其相關的數學表示式可以表示如下：

一、單目標函數：

$$\Phi = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1)$$

二、設計變數：

$$x_{ij} < x_i < x_{in}, i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

三、限制條件：

(一) 相等拘束條件：

$$h_j(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0, j = 1, 2, \dots, p \quad (3)$$

(二) 不相等拘束條件：

$$g_j(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq 0, j = 1, 2, \dots, q \quad (4)$$

其中， $\Phi$  是目標函數 (objective function) 為有  $n$  個設計變數  $x_i$  之函數， $x_{ij}$  與  $x_{in}$  為設計變數之下限及上限， $h_j$  及  $g_j$  分別為相等及不

1. 國立屏東科技大學機械研究所教授

2. 國立屏東科技大學機械研究所研究生

(86年6月27日收稿，86年9月27日接受)

相等之拘束條件，而各有  $p$  個相等拘束條件和  $q$  個不相等拘束條件。

而式 (1) 到式 (4) 為一典型之具拘束條件之最佳化問題，可利用順序非拘束最小化方法 (Sequential Unconstrained Minimization Techniques) 將其轉換成無拘束之最佳化問題 [3]，而其轉換方式如下：

$$\Phi = f(X) + P(h(X), g(X), R) \quad (5)$$

其中， $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ ， $P$  為懲罰函數 (penalty function)，而  $R$  為懲罰係數。

當處理多目標函數之最佳化分析時，可利用下式轉換得一單目標函數之最佳化問題：

$$\Phi = \sum_{i=1}^M W_i f_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (6)$$

其中， $W_i$  為個別目標函數的加權數，而共有  $M$  個  $f_i(x_1, x_2, \dots, x_n)$  之個別目標函數，其餘條件與單目標函數一樣。

### 田口法簡介

田口法是由田口玄一利用統計與一般工程的概念所發展出來 [11、12]，主要應用於品質管理方面。經由多年的驗證，也不斷地被應用於各領域中的最佳化設計問題，都得到非常好的品質改善。

藉由田口法的直交表 (Orthogonal Array) 實驗的數值分析，平均數分析 (Analysis of Mean, ANOM) 的結果可選定各設計變數的最佳值及其影響目標函數的情形，由變異數分析 (Analysis of Variance, ANOVA) 以及 F 測試可進一步求得各設計變數影響目標函數程度之大小以及選擇改善目標函數最佳化結果的最佳設計變數。

田口法另外一個相當明顯的成效，當分析多設計變數之多水準的目標函數時，利用了直交表減少了極大次數的實驗，而不必像傳統的方法必須耗費很多時間一次一次的變化各項設計變數水準。

在應用田口法於最佳化設計問題時，必須依循下列步驟方可得到最佳化設計問題的正確結果：

- 一、依據目標函數的特性選定轉換信雜比特性方程式。
- 二、定義目標函數中的設計變數及其變化範圍以及各項拘束條件。
- 三、計算目標函數的總自由度，依據系統變數的數目及其水準數選擇直交表。
- 四、按照直交表所設定的各次實驗以及水準值進行分析並得到結果。

五、計算所得各次實驗結果之信雜比，以進行平均數分析 (ANOM)，得到各設計變數在其個別水準的信雜比平均值，當信雜比平均值越高越好。

六、利用 ANOM 所得結果進行 ANOVA 以及 F 測試，可得到各變數單獨對目標函數的影響。

七、利用 ANOM 所得最佳設計變數水準值，以及其變化趨勢加以組合後進行最佳水準確認實驗，並與初始水準實驗結果比較。以下則針對田口法之應用作更詳細的介紹。

#### A. 定義目標函數

在田口法之分析過程中決定目標函數及其特性是一項重要的分析關鍵，而且在田口法最特殊的地方，係將所有目標函數值轉換成信雜比  $\eta$  (Signal Noise Ratio, SN) 計算方式，因為目標函數的特性係決定信雜比  $\eta$  計算方式，當目標函數為期望值越小越好的特性，其信雜比  $\eta$  定義為：

$$\eta = -10 \log_{10}(\Phi^2) \quad (7)$$

其中， $\Phi$  是目標函數值。

#### B. 定義設計變數及其水準

系統之設計變數或田口法中稱之為設計因子 (factor) 是構成影響目標函數的因素，也就是目標函數中之每一個獨立變數，正如一般最佳化設計問題，必須對所有的設計變數定義其上下限，及各變數之拘束條件或是目標函數之拘束條件。

進行田口法分析前，必須先對目標函數的各設計變數設定水準 (level)，也就是各設計變數的變化值作設定，當各設計變數之水準設定好之後，同時也就決定了目標函數和個別設計變數的總自由度 (Degree of Freedom, DOF)。

#### C. 選擇直交表

直交表在田口法中佔有相當重要的地位，因為直交表是進行分析各項設計變數影響目標函數的基礎，而且在進行實驗時必須依照直交表所設定各設計變數水準來進行，否則所有的分析將是無效的。

在進行直交表實驗之前，必須先計算目標函數的總自由度以決定所需最適當的直交表，亦即分析此目標函數的最少實驗次數，而目標函數與所有設計變數的總自由度定義如下：

$$\text{目標函數的總自由度} = \sum_{i=1}^n (D_i - 1) + 1 \quad (8)$$

其中， $D_i$  是第  $i$  個設計變數的水準數。

如果有一目標函數有 4 個設計變數，而每個設計變數都有 3 個水準，若欲分析此目標函

數受所有設計變數之影響及各項設計變數之最佳組合水準，必須對照目標函數中的設計變數之總數及其水準數來選擇最適當的實驗直交表則為  $L_9(3^4)$ ，此一直交表如表一所示， $L_9(3^4)$  直交表所代表之意義為有4個設計變數，每個設計變數有3個水準，最少需進行9次實驗，而且必須嚴格遵守直交表所規定個設計變數水準組合進行實驗分析。

表一  $L_9(3^4)$  直交表

Exp.No.\Factor	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

註：設計變數A，B，C及D為設計變數可以被任意取代。

#### D. 平均數分析

平均數分析(Analysis of Mean, ANOM)的目的，在於明瞭每一個設計變數於所設定的各水準下，對目標函數之影響趨勢以及最佳組合水準，而ANOM分析前必須先行做下列幾項的計算：

(一)根據直交表之實驗結果，計算每一設計變數在不同水準下的平均數，並計算所有設計變數的信雜比  $\eta$  之平均值。以設計變數A為例：

$$m_{A_l} = \frac{1}{n_{A_l}} \sum_{j=1}^{L_A} \eta_{A_l j} \quad (9)$$

其中， $m_{A_l}$  是設計變數A在第l水準信雜比之平均值， $\eta_{A_l j}$  是設計變數A在第l水準的信雜比， $n_{A_l}$  是設計變數A在直交表中l水準出現的全部次數。

(二)計算全部實驗結果的信雜比之平均值如下式：

$$m = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \eta_j \quad (10)$$

其中， $m$  是全部實驗結果信雜比的平均數， $N$  是實驗總次數， $\eta_j$  是第j次實驗的信雜比。

(三)為了使每一設計變數在其相對應的水準對目標函數之影響，以及獲得最佳水準之組合，可以依據步驟1,2所得出之信雜比平均值畫出輔助圖如圖一所示(附註：A,B,C,D為因變數，可以被任何變數所取代。 $m_{A1}$ 為變數A在1水準信雜比之平均值， $m_{B2}$ 為變數B在2水準信雜比之平均值，餘此類推。)，可得到各設計變數於各個設計水準之信雜比平均值變化趨勢，斜率越大，表示該設計變數對目標函數影響越大。

(四)畫出輔助圖後，可選取各設計變數的信雜比之平均數最大者如圖一圈選之水準，為該設計變數的最佳水準。

(五)變異數分析

變異數分析(Analysis of Variance, ANOVA)的目的是決定每一個設計變數對目標函數之影響所貢獻的多寡，而包含在ANOVA中的F測試，是計算每一設計變數在目標函數中的影響力，也就是說當一個設計變數的F測試值最大時，這個設計變數只要變動很小的值而目標函數值就會變化很大。ANOVA及F測試的程序和計算方式如下所示：

1.計算所有實驗值的信雜比之全平方和  $S_T$  及個別設計變數(以A為例)的信雜比之全平方和  $S_A$ ，以及計算實驗信雜比的誤差值之全平方和  $S_e$ 。

$$S_T = \sum_{j=1}^N \eta_j^2 - Nm^2 \quad (11)$$

$$S_A = \sum_{l=1}^{L_A} L_A (m_{A_l} - m)^2 \quad (12)$$

$$S_e = \frac{\text{sum of the minor effect of } (S_A, S_B, S_C, S_D)}{\text{sum of DOF for the minor factor}} \quad (13)$$

其中， $L_A$  是設計變數A的總水準數。

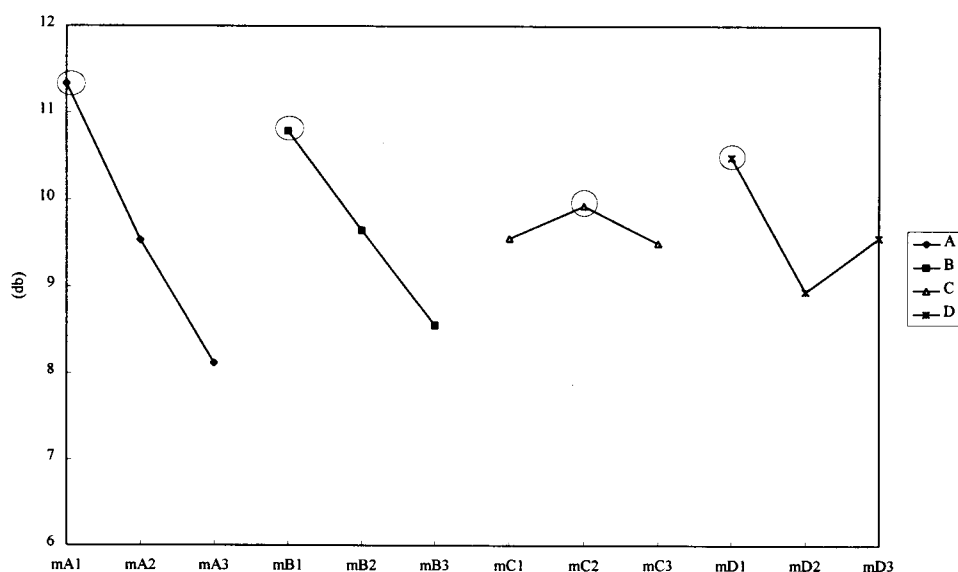
2.F-測試法之各設計變數F值計算，以設計變數A為例可以用下式表示：

$$F_A = \frac{S_A}{S_e D_A} \quad (14)$$

其中， $D_A$  是當作誤差採樣設計變數的自由度總和。

(六)預估改善值及驗證實驗

當目標函數中所有設計變數的數據分析完成後，可以先用直交表實驗所得最佳化組合預估改善後之情況以及改善值的大小，而最後必須對最佳化組合的水準再進行實驗驗證，以確定真正改善值，並與用理論所得之預估改善值作相互比較，計算理論改善值  $\Delta\eta$ ：



圖一 ANOM分析輔助圖

$$\Delta\eta = \eta_{opt} - \eta_{ini} = \sum(m_{A_{j_1}} - m_{A_{j_m}}) \quad (15)$$

其中， $m_{A_{j_1}}$  是設計變數最佳水準之平均數， $m_{A_{j_m}}$  是設計變數開始水準之平均數。

當預測改善值求出之後，利用目標函數的特性方程式，並預測最佳水準組合各項設計變數改善後的響應，然後利用各項設計變數最佳水準組合，再次進行驗證實驗求取實際響應，最後再比較理論最佳值與實驗值作驗證。為獲得更佳之設計變數的水準，可利用各項設計變數所得之最佳水準及各項設計變數的最佳值趨勢，重複田口法分析以求得最佳的設計變數水準值，以下即根據此一概念發展基於田口法之最佳化設計分析程式。

### 田口法於最佳化設計應用步驟

將前述田口法之實驗分析方法，可發展最佳化自動分析程式，其流程圖如圖二，而其應用步驟說明如下：

- 一、定義最佳化問題，如前述，包括目標函數，設計變數及拘束條件，若為具拘束之最佳化問題可以依式(5)轉換成無拘束之最佳化問題，若為多目標函數，可依式(6)轉換成單一目標函數之最佳化問題。
- 二、將目標函數依望小特性轉換成信雜比如式(7)。

三、定義設計變數之初始值，即設計因子(factor)之參考水準(reference level)，以4個設計變數為例，分別定義為  $A_{ref}$ ， $B_{ref}$ ， $C_{ref}$  和  $D_{ref}$ 。

四、定義設計因子水準變化值，以4個設計變數為例，分別定義為  $\Delta A$ ， $\Delta B$ ， $\Delta C$  和  $\Delta D$ ，並假設每個因子有三個水準，而且定義中間值為參考水準，如表二所示。

五、由設計因子數目與每個因子有三個水準為依據，進而選擇直交表，以4個因子為例，就選取直交表  $L_9(3^4)$  如表一。

六、依選定之直交表進行實驗或分析，並求得目標函數及其相對應之信雜比。

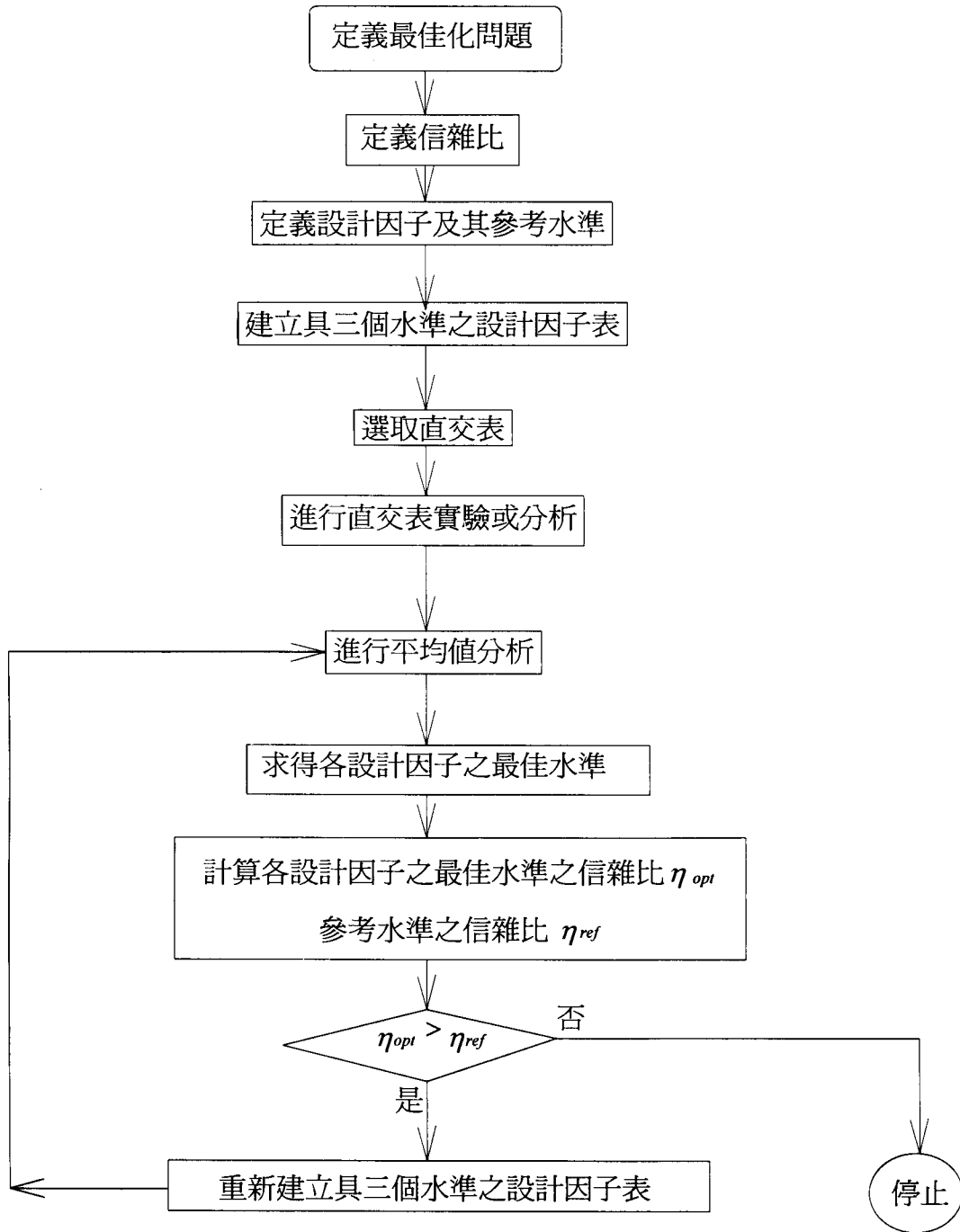
七、進行平均值分析。

八、求得各個因子之最佳水準。

九、計算最佳水準之信雜比  $\eta_{opt}$ ，以及參考水準信雜比  $\eta_{ref}$ 。

十、比較最佳水準信雜比  $\eta_{opt}$  與參考水準之信雜比  $\eta_{ref}$ ，當  $\eta_{opt} > \eta_{ref}$  繼續下一步驟，否則立即停止，亦即已求得最佳水準。

十一、依據各設計因子水準變化值，重新定義設計因子的三個水準，並將步驟7所求得之最佳水準定義為下一次實驗或分析之參考水準，並重複步驟7到步驟10直到求得最佳化設計為止。



圖二 田口法應用於最佳化設計問題流程圖

表二 具有三水準之設計因子及相對應水準值

	A	B	C	D
Level 1	$A_{ref} - \Delta A$	$B_{ref} - \Delta B$	$C_{ref} - \Delta C$	$D_{ref} - \Delta D$
Level 2	$A_{ref}$	$B_{ref}$	$C_{ref}$	$D_{ref}$
Level 3	$A_{ref} + \Delta A$	$B_{ref} + \Delta B$	$C_{ref} + \Delta C$	$D_{ref} + \Delta D$

註1:  $A_{ref}, B_{ref}, C_{ref}$  和  $D_{ref}$  表示設計因子之參考值

註1:  $\Delta A, \Delta B, \Delta C, \Delta D$  表示各設計因子之變化量

### 結果與討論

本文以田口法  $L_9(3^4)$  直交表為基礎，以 FORTRAN 語言撰寫最佳化分析程式，可處理 4 個設計變數以下之無拘束條件之最佳化問題，對於有拘束或多個目標函數之最佳化，可由式 (5) 及式 (6) 做轉換得一無拘束之單目標函數最佳化設計問題，以下舉三個實例探討田口法最佳化設計程式之正確性及適應性。處理單變數與雙變數無限制條件最佳化問題設計時，僅用一個或兩個設計變數，而其他的當作啞變數 (dummy variables)，並且驗證應用直交表數值分析結果的正確性，而在選擇各設計變數和其相對應的間距時，是採取任意給定，判斷是否繼續進行分析，則是利用目標函數之最佳水準信雜比  $\eta_{opt}$  與參考水準信雜比  $\eta_{ref}$  之比較，當  $\eta_{opt} < \eta_{ref}$  表示已經達到收斂。

#### A. 實例一：單變數無限制條件最佳化問題[3]

問題定義：

(一)目標函數： $f(x) = \frac{1}{3}x^2 + \cos(x)$  (16)

(二)設計變數： $x$

(三)限制條件：無

最佳化設計目標：求得設計變數值  $x$  使目標函數  $f(x)$  有最小值

##### 1.理論分析

(1)  $\frac{df}{dx} = \frac{2x}{3} - \sin(x) = 0$  (17)

(2)求解式(17)，發現當  $x=0$  為轉折點，而  $x=1.49578$  與  $-1.49578$  時為目標函數之區域極小值均為 0.820732。

#### 2.利用田口法 $L_9(3^4)$ 直交表進行數值分析

假設 4 個設計變數中，僅有 1 個設計變數而另外 3 個設計變數則當作啞變數 (dummy variables)，而每一個設計變數都有三個水準，並由設定水準 2 為參考水準及其初始值為 -40.0，間距 0.001，以及搜尋範圍為 (-54, 120) 經過 19254 次迭代運算，得到解為 -1.496；相同的，將初始值換為 40.0 時同樣的間距為 0.001 以及搜尋範圍為 (-54, 120) 經過 19254 次迭代運算，得到解為 1.496 與理論值誤差僅 0.014708%，而目標函數值亦只相差  $7.5055E-8$ ，解析結果整理如表三所示。

由此例分析，可知由田口法最佳化分析，可得到局部 (local) 最佳值，最佳值之精確度實際由選取之間距決定，此例迭代次數高乃因間距取 0.001 所致，將來可修改分析程式將兼具作自動調整，可以大大減少迭代次數。

#### B. 實例二：雙變數無限制條件最佳化問題定義[3]

問題定義：

(一)目標函數：

$$f(x_1, x_2) = x_1 + \frac{4 \times 10^6}{x_1 x_2} + 250x_2 \quad (18)$$

(二)設計變數： $x_1, x_2$

(三)限制條件：無

最佳化設計目標：求得設計變數值  $x_1$  和  $x_2$  使目標函數  $f(x_1, x_2)$  有最小值

##### 1.理論分析

(1)目標函數極值必須滿足下列條件：

$$\frac{df}{dx_1} = 0; 1 - \frac{4 \times 10^6}{x_2 x_1^2} = 0 \quad (19)$$

$$\frac{df}{dx_2} = 0; 250 - \frac{4 \times 10^6}{x_1 x_2^2} = 0 \quad (20)$$

(2)合併求解式 (19) 及式 (20) 可得到最佳值  $x_1 = 1000, x_2 = 4$ 。

表三 實例一理論解與田口法之結果比較

	$x$	$f(x)$	$x^*$	$f^*(x)$
理論解	1.49578	0.820732	-1.49578	0.820732
田口法	1.496	0.8207319	-1.496	0.82017319
絕對誤差%	0.01471	$7.505 \times 10^{-6}$	0.01471	$7.505 \times 10^{-6}$

表四 實例二理論解與田口法之結果比較

理論解	$x_1 = 1000$	$x_2 = 4$	$f(x_1, x_2) = 3000$
田口法	1000.2	4	3000.00004
絕對誤差%	0.02	0	$1.333 \times 10^{-6}$

2. 利用田口法  $L_9(3^4)$  直交表進行數值分析並求解得到結果

假設4個設計變數中，僅有2個設計變數而另外2個設計變數則當啞變數，而每一個設計變數都有三個水準，並由設定水準2為參考水準，令  $x_1$  初始值為 80.0，間距 0.1，以及搜尋範圍為 (-40000.0, 400000.0)， $x_2$  初始值為 10.0，間距 0.1，以及搜尋範圍為 (-50000.0, 500000.0)，經過 4602 次迭代運算，得到解為  $x_1 = 1000.2$ ， $x_2 = 4$ ，解析結果整理如表四所示。

由此例分析，可知設計變數之最佳值分別為  $x_1 = 1000.2$ ， $x_2 = 4$  相差在 3 個次方 (order)，若選用相同之間距，在迭代運算過程雖然都可得到不錯的最佳值，但較不經濟，而且在此例中得  $x_1 = 1000.2$  儘管間距設定合理，但也略過真正的理論解  $x_1 = 1000$ ，因此，對個別變數的間距做自我調整功能，益形重要。

C. 實例三：四變數無限制條件最佳化問題定義

問題定義：

(一) 目標函數：

$$f(x_1, x_2, x_3, x_4) = x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + x_4^2 \quad (21)$$

(二) 設計變數： $x_1, x_2, x_3, x_4$

(三) 限制條件：無

最佳化設計目標：求得設計變數值  $x_1, x_2, x_3$  和  $x_4$  使得目標函數  $f(x_1, x_2, x_3, x_4)$  有最小值

1. 理論分析

(1) 目標函數極值必須滿足下列條件：

$$\frac{\partial f}{\partial x_1} = 0; 2x_1 = 0 \quad (22)$$

$$\frac{\partial f}{\partial x_2} = 0; 2x_2 = 0 \quad (23)$$

$$\frac{\partial f}{\partial x_3} = 0; 2x_3 = 0 \quad (24)$$

$$\frac{\partial f}{\partial x_4} = 0; 2x_4 = 0 \quad (25)$$

(2) 合併及求解式(22)到(25)可得最佳值  $x_1 = x_2 = x_3 = x_4 = 0$ ，目標函數值為 0。

2. 利用田口法  $L_9(3^4)$  直交表進行數值分析並求解得到結果

假設每一個設計變數都有三個水準，並分別設定水準 2 為參考水準及其  $x_1, x_2, x_3$  和  $x_4$  之初始值分別為 8.0, 3.0, 8.0, 2.0，間距均為 0.1，以及搜尋範圍分別為 (-54.0, 120.0), (-51.0, 45.0), (-54.0, 120.0) 和 (-10.0, 300.0) 經過 43 次迭代運算，得到解為  $x_1 = x_2 = x_3 = x_4 = 0$ ，與理論解完全相同，解析結果整理如表五所示。

此例為四個變數無限制條件最佳化問題設計，採用田口法  $L_9(3^4)$  直交表進行數值分析，是完全用到所有  $L_9(3^4)$  直交表所設定的變數及水準組合，而藉由數值分析的結果，發現找到的解與理論解有相同的值。

結 論

田口法進行最佳化問題處理，可處理一般多變數和多水準組合而成的目標函數，可以以及少數的實驗次數而得到各變數最佳值，以及提供設計者進行下一次修正的方向。本文即以田口法最佳化設計理念，發展出最佳化設計方法，以四個變數三個水準之  $L_9(3^4)$  直交表撰寫其最佳化自動分析程式。藉由驗證三個無限制之最佳化問題設計，可以發現田口法應用在無限制條件單變數，雙變數以及在 4 變數的最佳化問題，可得到正確合理的最佳值。

表五 實例三理論解與田口法之結果比較

理論解	$x_1 = 0$	$x_2 = 0$	$x_3 = 0$	$x_4 = 0$	$f(x_1, x_2, x_3, x_4) = 0$
田口法	0	0	0	0	0
絕對誤差%	0	0	0	0	0



本文成功地發展了基於田口法分析最佳化設計問題理念的最佳化方法，可應用於一般無拘束最佳化問題之解析，未來可以針對如何在執行最佳化問題設計中自我調整設計變數的間距，以獲得更有效率的最佳化問題設計的結果，以及擴充對四個變數以上之最佳化問題，以適應一般之最佳化問題。

### 參考文獻

1. 陳榮盛、陳界文、梁智翔，1996，「以田口式實驗計畫法分析PU+ 金雲母材質用於射出成型加工之製程」，*力學期刊*，第十二卷，第二期，第243-253頁。
2. 黃崇銘、陳家豪，1996，「幾種模擬生物生長的拓樸最佳設計方法比較」，第20屆全國力學會議論文集，台北市，第322-327頁。
3. Arora, J.S., 1989, *Introduction to Optimum Design*, McGrawHill, New York.
4. Burden, R.L., and D.J. Faires, 1993, *Numerical Analysis*, PWS Publishing Company, Boston.
5. Dohi, M. and Y. Maruyama, 1990, "Ride Comfort Optimization for Commercial Trucks", *Society of Automotive Engineers Paper* 902266, pp.890-902.
6. Goldberg, D. E., 1986, *Genetic Algorithm in Search, Optimization, and Machine Learning*, Addison-Wiley Publishing Company, Inc., U.S.A.
7. Keane, A.J. and S.M., Brown, 1996, "The Design of a Satellite Boom with Enhanced Vibration Performance Using Genetic Algorithm Techniques," *Proceedings of the Conference on Adaptive Computing in Engineering Design and Control '96*, PEDC, University of Plymouth, UK.
8. Lee, Y., Y. C. Dzuiuba, and M. W. Lum, 1996, "Vehicle Handling Design Process Using DOE", *International Journal of Vehicle Design*, pp.40-54
9. Liu, T.S., and I.H. Hsiao, 1991, "The Taguchi Method Applied to Motorcycle Handling", *International Journal of Vehicle Design*, pp.345-356.
10. Nakamura, S., 1996, *Numerical Analysis and Graphic Visualization with MATLAB*, Prentice Hall.
11. Peace, G. S., 1993, *Taguchi Methods: A Hands-on Approach*, Addison-Wesley Publishing Company
12. Phadke, M. S., 1989, *Quality Engineering Using Robust Design*, PTR Prentice-Hall Inc.
13. Wang, B.T., 1996, "Introduction to Genetic Algorithm for Optimum Design Problem", Department of Mechanical Engineering, National Ping-Tung Polytechnic Institute, Taiwan.

## The Application of Taguchi Method to Optimum Design Problems

Wang, Bor-Tsuen<sup>1</sup>      Chen, Shing Chung<sup>2</sup>

### ABSTRACT

The aim of this work is based on the Taguchi-Method to develop an automatic analysis program for the solution of optimum design problems. The typical optimum problem is first defined, including the objective function, design variables and constraint equations. The analysis and procedures for the Taguchi-Method is also introduced. The application of Taguchi method to optimum design problems is then illustrated and discussed in details. Three examples are shown to validate the feasibility of the optimization algorithm based on the Taguchi-Method. Results show that the developed algorithm can successfully obtain the optimum design and can be applied to general optimum design problem in future.

( Keywords: optimum design, Taguchi-Method, orthogonal array, objective function design of experiment )

1. Professor, Department of Mechanical Engineering, National Pingtung University of Science and Technology.
  2. Graduate Student, Department of Mechanical Engineering, National Pingtung University of Science and Technology.
- ( Received on June 27, 1997, Accepted on September 27, 1997. )