

智能化參數優化方法於精密自動對位機台之研究

Intelligent Parameter Optimization for Precision Auto-alignment Machine

楊柏遠^{1*}、蔡進聰²、周至宏³

¹ 國立高雄科技大學 電機工程系 研究生

² 國立屏東大學 資訊科學系 特聘教授

³ 國立高雄科技大學 電機工程系 講座教授

主要聯絡人的電話及mail

周至宏 07-3814526#15583 choujh@nkust.edu.tw

摘要：本研究改善智能化參數優化方法(IPO)最佳化自動對位機台的補償參數。IPO整合均勻設計、最佳參數組合與逐步比例。本研究先定義補償參數、選定一個5水準的均勻表並設定逐步比例。接著，執行布局實驗。第三，利用最佳組合與逐步比例計算下一次實驗之參數範圍。最後，重複以上步驟，直到移動次數不再變化。相較於傳統方法，IPO最多只需10次實驗，即可獲得最佳參數組合。在對位精度設定為3微米(μm)下的實驗結果，其平均平台移動次數為2次、標準差為0。結果可知，IPO是有效的且其所獲得的補償參數是非常穩健。金屬中心採納IPO並應用於實際機台操作中。

Abstract : This paper improved an intelligent parameter optimization (IPO) to optimize system compensation parameters for precision auto-alignment machine. The IPO integrated a uniform design, the best combination of parameters, and a stepwise ratio. In the IPO, system compensation parameters were defined, a 5-level uniform layout was selected, the stepwise ratio was set, and the count of platform motion was determined as output. Next, according to the parameter range and uniform layout, levels can be calculated and the experiments were executed. Third, parameter ranges for next uniform layout were calculated by the stepwise ratio and this best combination from uniform layout. Repeat the above steps until the count of platform motion unchanged. Compared with traditional experimental method, the IPO can obtain the best combination within 10 times for uniform design experiment. Under required positional accuracy to within 3 micrometers (μm), the average and standard deviation of alignment are 2 and 0, respectively, in 30 independent executions by the best combination from the IPO. Thus, it is very robust that the compensation parameters were obtained by the IPO and the IPO is effective and efficient. The IPO was adopted and applied in practical applications by Metal Industries Research and Development Centre (MIRDC)

關鍵詞：精密自動對位機台、均勻設計、系統補償參數

Keywords : Precision auto-alignment machine, Uniform design, System compensation parameter

前言

虛實整合系統(Cyber-Physical Systems, CPS)應用在土木工程[1]、交通控制[2]及製程產業[3]-[4]等

領域中。在這些領域中，尤以高精密對位技術為發展重點之一。而在高精密對位技術的製程產業中，機具多數已具有智慧化與自動化的特性。雖說產業製程的自動化能協助改善人力相關問題，但並未能

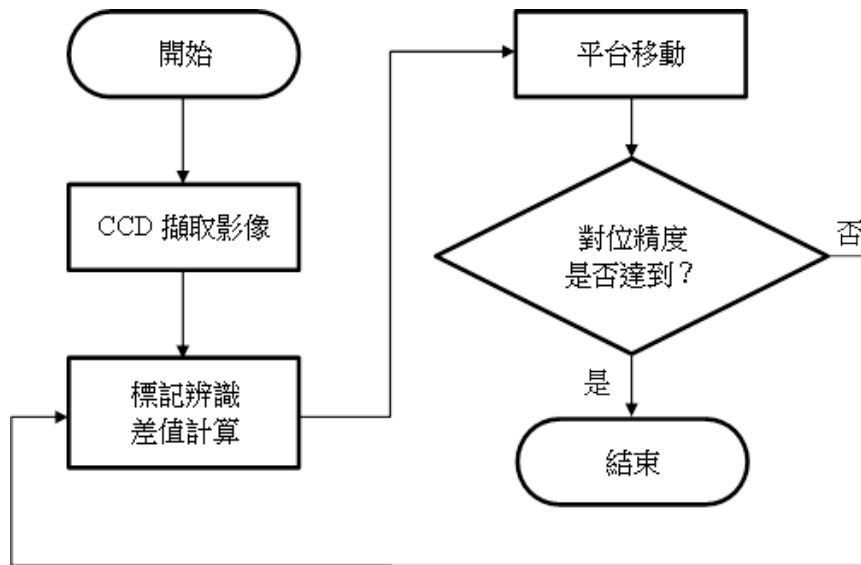


圖1 自動對位機台系統之對位流程

完全取代人類，因此自動視覺伺服對位系統尚有需要改善之處。在自動視覺伺服對位系統中，包含影像處理子系統跟平台移動子系統，而兩個子系統間的差異則由系統補償參數來補償[5]-[6]。許多的研究人員致力於強化自動視覺伺服對位系統的效能及新的技術，不過研究大多以平台移動[7]-[9]及影像處理的改善[10]-[13]為主，而系統補償參數鮮少被注意到其重要性。

近年來，有些研究主題注意到系統補償參數的重要性，例如：Tsai et al. [4]利用全因子實驗法蒐集資料、類神經網路建模、並以田口基因演算法最佳化系統補償參數；Tsai et al. [3]為了更易於使用於在線系統上，整合三水準的直交表、最佳組合階段及逐步比例來進行即時最佳化。由於田口方法在水準個數上有所限制，應用時受到侷限；因此，為了改善前述的限制，Tsai et al. [14]更進一步提出以資料驅動均勻設計法來最佳化系統補償參數。本研究期望再提升效率並減少實驗次數，進一步改善智能化參數優化方法(Intelligent Parameter Optimization, IPO)。而本研究所改善的方法，相對於傳統的試錯法、一次一因子實驗法、田口方法[15]及均勻設計

[16]-[19]，都有更好的成效。本研究的IPO採用5水準 $U_5(5^4)$ 均勻表，此表最多可使用4個參數來進行實驗，各參數可有5個水準。從實驗結果來看，IPO可以在較少實驗次數的情況下，找到最佳參數組合，且該組合的平台移動次數最少。相較於過往的實驗方法，IPO的表現更好且更穩健。

產業需求及問題描述

在自動視覺伺服對位系統中，包含影像處理子系統及平台移動子系統。在影像處理子系統裡，主要用於擷取面板與平台上的標記（一般來說，標記為圓形或十字型），並計算出標記間的差值。接著，平台移動子系統接收到轉換後的差值後，將面板移動到目標位置，其流程圖如圖1所示。

在自動對位機台的自動視覺伺服對位系統中，由兩個感光耦合元件(Charge-coupled Device, CCD)來擷取影像及找出面板及平台上的標記，藉由擷取的影像判別面板與平台上的標記距離多少，從圖2可知， (x_{mask1}, y_{mask1}) 、 (x_{mask2}, y_{mask2}) 、 (x_{panel1}, y_{panel1}) 、 (x_{panel2}, y_{panel2}) 分別是面板與平台上的兩個標記座標位置。其幾何中心計算公式分別如下：

$$Mask_c = \left(\frac{x_{mask1} + x_{mask2}}{2}, \frac{y_{mask1} + y_{mask2}}{2} \right) \quad (1)$$

$$Panel_c = \left(\frac{x_{panel1} + x_{panel2}}{2}, \frac{y_{panel1} + y_{panel2}}{2} \right) \quad (2)$$

而 $Mask_c$ 及 $Panel_c$ 的差值分別定義成 ΔX 及 ΔY ：

$$\Delta x = \frac{x_{mask1} - x_{panel1} + x_{mask2} - x_{panel2}}{2} \quad (3)$$

$$\Delta y = \frac{y_{mask1} - y_{panel1} + y_{mask2} - y_{panel2}}{2} \quad (4)$$

旋轉角度為：

$$\theta_{mask} = \tan^{-1} \left(\frac{y_{mask2} - y_{mask1}}{x_{mask2} - x_{mask1}} \right) \quad (5)$$

$$\theta_{panel} = \tan^{-1} \left(\frac{y_{panel2} - y_{panel1}}{x_{panel2} - x_{panel1}} \right) \quad (6)$$

可知， θ_{mask} 與 θ_{panel} 間的差值為：

$$\Delta\theta = \theta_{mask} - \theta_{panel} \quad (7)$$

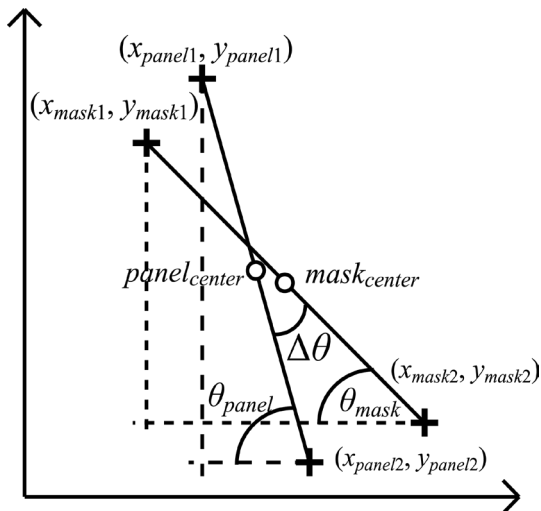


圖2 對位標記之座標示意圖

差值計算完畢後，補償訊息會送至平台移動子系統中，平台移動至目標位置。然而，影像處理子系統所獲得的差值 ΔX 、 ΔY 及 $\Delta\theta$ 並不等於平台移動子系統的移動差值，因此需要藉由系統補償參數來轉換。倘若找到最佳的系統補償參數組合，可以使得移動的次數降低，使得平台運行的時間可以降低。

智能化參數優化方法最佳化系統補償參數

IPO整合均勻設計、階段最佳參數組合及逐步比例，以最佳化系統補償參數。在IPO中，實驗參數需先定義，且選定符合需求的5水準均勻表以進行實驗。然後，從均勻表實驗中，找出輸出值最小的階段最佳參數組合，並利用逐步比例與此組合計算出下一次均勻表實驗的參數範圍。直到平台移動次數不再改變，實驗即完成。步驟如下：

1. 初始化

本研究選定三個系統補償參數 C_x 、 C_y 、 C_q 為實驗參數；定義參數範圍、其解精度及逐步比例，並將輸出值定為平台移動次數。

2. 執行 5 水準的均勻表實驗

由於本研究所需的參數為三個，因此選用 $U_5(5^3)$ 均勻表如表1所示。接著，將三個參數的參數範圍分成5個水準並布入 $U_5(5^3)$ 均勻表中。最後，依順序執行實驗並記錄平台移動次數。

表1 $U_5(5^3)$ 均勻表

實驗數	行數		
	1	2	3
1	1	2	3
2	2	4	1
3	3	1	4
4	4	3	2
5	5	5	5

3. 更新參數範圍

本次5水準均勻表實驗的最佳參數組合確定後，利用逐步比例及此組合，計算出下一次5水準均勻表實驗的參數範圍。重複執行步驟(2)與步驟(3)，直到平台移動次數不再改變，實驗即可結束。若有兩組以上皆為平台移動次數最小，則選擇實驗數較小者。更新參數範圍之演算法如下：

```

Begin
  Initialization;
  For i = 1 to para_no
    low = para_low(i)
    high = para_high(i)
    For j = 1 to a
      level(j, i) = low + ((high - low) / (a - 1)) *
(j - 1)
    End
    para_update = (high - low) * ratio / 2
    para_low(i) = best(i) - para_update
    para_high(i) = best(i) + para_update
  End
End
  
```

其中，*para_no*表示參數數量、*para_low*及*para_high*則分別代表各參數範圍的最小值與最大值。*low*及*high*則是分別表示*para_low*及*para_high*的暫存值。*level*表示為水準。*a*是均勻設計的實驗數。*best*則是此次實驗所獲得的最佳參數值。*para_update*是下一次實驗參數的新範圍，*ratio*是逐步比例，利用這兩個值來更新每次實驗的參數水準值。

實際應用與結果

在本研究中，IPO應用在線上即時的精密自動對位機台當中。實驗過程敦請財團法人金屬工業研究發展中心(MIRDC) 助並提供實驗機台，如圖3。本次實驗相關參數及限制條件如後所列：對位精度為3微米(μm)、系統補償參數初始範圍如表2所列、其水準分割如表3、逐步比例為0.9、參數解精度為 10^{-3} 、選用 $U_5(5^3)$ 均勻表如表1。

IPO的第一次均勻表實驗、實驗布局及結果如

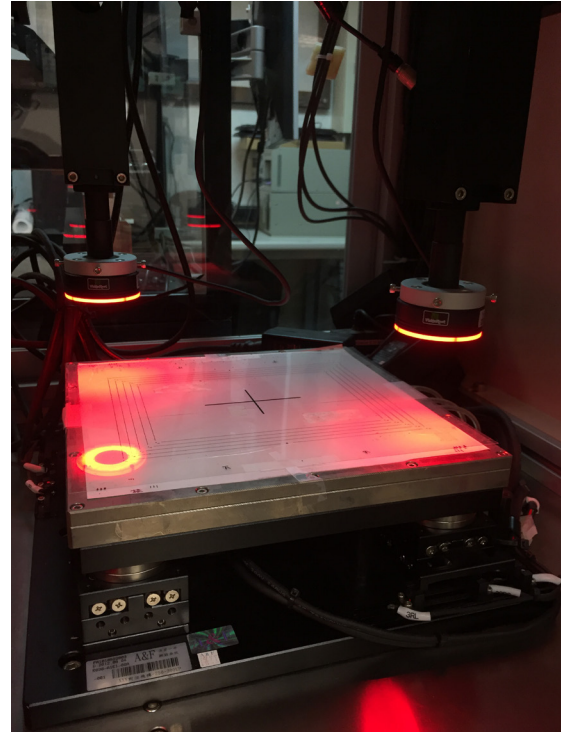


圖3 精密自動對位機台

表2 系統補償參數之參數範圍

範圍	系統補償參數		
	C_x	C_y	C_q
最大值	0.211	0.211	0.475
最小值	0.317	0.317	0.581

表3 系統補償參數之水準分割

水準	系統補償參數		
	C_x	C_y	C_q
1	0.211	0.211	0.475
2	0.238	0.238	0.502
3	0.264	0.264	0.528
4	0.291	0.291	0.555
5	0.317	0.317	0.581

表4 第一次均勻表實驗布局及結果

實驗	系統補償參數			平台移動次數
	C_x	C_y	C_q	
1	0.211	0.238	0.528	3
2	0.238	0.291	0.475	2
3	0.264	0.211	0.555	4
4	0.291	0.264	0.502	2
5	0.317	0.317	0.581	3
最佳組合	0.238	0.291	0.475	2

表5 系統補償參數之參數範圍

範圍	系統補償參數		
	C_x	C_y	C_q
最大值	0.211	0.243	0.475
最小值	0.285	0.317	0.523

表6 系統補償參數之水準分割

水準	系統補償參數		
	C_x	C_y	C_q
1	0.211	0.243	0.475
2	0.230	0.261	0.487
3	0.248	0.280	0.499
4	0.267	0.298	0.511
5	0.285	0.317	0.523

表7 第二次均勻表實驗布局及結果

實驗	系統補償參數			平台移動次數
	C_x	C_y	C_q	
1	0.211	0.261	0.499	2
2	0.230	0.298	0.475	2
3	0.248	0.243	0.511	2
4	0.267	0.280	0.489	2
5	0.285	0.317	0.581	3
最佳組合	0.211	0.261	0.499	2

表8 IPO利用不同解空間及逐步比例搜尋最佳參數組合與最低平台移動次數

解空間	逐步比例				
	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
C_x [0.211, 0.317]	10	10	10	10	10
C_y [0.211, 0.317]	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)
C_q [0.475, 0.581]	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)
C_x [0.184, 0.344]	10	10	10	10	10
C_y [0.184, 0.344]	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)
C_q [0.448, 0.608]	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)
C_x [0.158, 0.370]	10	10	10	10	10
C_y [0.158, 0.370]	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)
C_q [0.422, 0.634]	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)
C_x [0.131, 0.397]	10	10	10	10	10
C_y [0.131, 0.397]	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)
C_q [0.395, 0.661]	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)

表4所示，從表4可知，本次階段最佳參數組合為[0.238, 0.291, 0.475]，其輸出結果為2次的平台移動。然後，利用此組合跟逐步比例進行第二次均勻表實驗的參數範圍更新。表5及6分別為更新後的參數範圍及水準切割。表7為IPO的第二次均勻表實驗、實驗布局及結果。從表7可知，本次階段最佳參數組合為[0.211, 0.261, 0.499]，其輸出結果同樣為2次的平台移動。經過兩次均勻表實驗後，所得的平台移動均為兩次，可知以達到實驗的停止條件。故，所獲得的最佳參數組合為[0.211, 0.261, 0.499]，其結果為2次的平台移動。

由於機台在不同的需求下，可能會使解空間設定在不同的範圍，因此為了檢測在不同解空間的效能表現，本研究也一併測試，並使用不同的逐步比例進行驗證，其比例分別訂為0.5、0.6、0.7、0.8及0.9。表8為IPO的實驗成果，表中括號內的數字表示所需要移動的平台次數。並從該表可知，皆能在10次的布局實驗下，找到平台移動2次的結果。可知應用本方法，不管解空間及逐步比例的改變，皆不會影響到平台移動的結果。為了與過往的方法相比，表9呈現本方法與其他方法的效能。在表9中，選用該方法所找到的最佳參數組合，分別進行30次的獨立實驗。從表9可知，與隨機方法相比，平台移動的次數改善2.15倍，且標準差為0。而與 Tsai et al. [14]的方法相比，IPO更是大大降低了實驗次數，可更快速獲得最佳參數組合。從以上

表9 IPO、Tsai et al. [14] 及隨機方法之性能比較

方法	最大實驗次數	平均平台移動 (標準差)	改善倍率
IPO	10	2 (0)	2.15
Tsai et al. [14]	20	2 (0)	2.15
隨機方法	>200	4.3 (0.466)	-

討論可知，IPO不僅提供穩健的最佳參數組合，其效能更是優於之前的方法。

結論

在本研究中，所改善的IPO整合均勻設計、階段最佳參數組合及逐步比例，讓IPO可以自動在機台上運行，並以系統化的實驗方式進行參數搜尋。而IPO更可實際應用於線上即時的精密自動對位機台上，且可獲得有效且穩健的最佳參數組合。從案例應用可知，運用IPO的方法，僅需少量的實驗次數就可以獲得最佳參數組合。最後，使用IPO找到的最佳參數組合進行30次的平台移動驗證實驗，結果顯示平台對位次數的平均值與標準差都是最小。解空間與逐步比例之驗證實驗更證實IPO所獲得的系統補償參數是有效及穩健。從以上的討論可知，IPO有效地提升自動尋找最佳參數值的效能，且被金屬工業研究發展中心及合作廠商採用於實際產線中。

誌謝

本研究承科技部提供研究經費，計畫編號MOST105-2221-E-153-004-MY3及MOST107-2221-E-153-005-MY2；感謝財團法人金屬工業研究發展中心提供實驗機台與人員協助，特此致謝。

參考文獻

- [1] S. Mondal, Y. Lucet, and W. Hare, "Optimizing horizontal alignment of roads in a specified corridor," *Computers & Operations Research*, Vol. 64, pp. 130-138, Dec. 2015.
- [2] S. Nedevschi, V. Popescu, R. Danescu, T. Marita, and F. Oniga, "Accurate ego-vehicle global localization at intersections through alignment of visual data with digital map," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 14, no. 2, pp. 673-687, Jun. 2013.
- [3] J. T. Tsai, C. T. Lin, and J. H. Chou, "Intelligent data-driven adaptive method for optimizing system integration scaling factors for touch panel lamination machines," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, (in press), Jun. 2017.
- [4] J. T. Tsai, C. T. Lin, C. C. Chang, and J. H. Chou, "Optimized positional compensation parameters for exposure machine for flexible printed circuit board," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, Vol. 11, iss. 6, pp. 1366-1377, Oct. 2015.
- [5] H. Jiang, B. S. Duerstock, and J. P. Wachs, "A machine vision-based gestural interface for people with upper extremity physical impairments," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, Vol. 44, no. 5, pp. 630-641, May 2014.
- [6] S. Minaeian, J. Liu, and Y. J. Son, "Vision-based target detection and localization via a team of cooperative UAV and UGVs," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, Vol. 46, no. 7, pp. 1005-1016, Nov. 2016.
- [7] H. W. Lee, and C. H. Liu, "Vision servo motion control and error analysis of a coplanar XXY stage for image alignment motion," *Mathematical Problems in Engineering*, Vol. 2013, Article ID 592312, 12 pages, Oct. 2013.
- [8] C. C. Wen, and S. W. Lin, "2-phase precision

- alignment visual feedback control system,*” Applied Mechanics and Materials, Vol. 764-765, pp. 587-591, May 2015.
- [9] C. M. Yang, C. C. Wen, S. W. Lin, C. C. Chang, and C. T. Lin, “Application of image servo alignment module design to automatic laminating machine for touch panel,” Smart Science, Vol. 1, iss. 2, pp. 75-81, Nov. 2013.
- [10] M. F. Chen, Y. S. Ho, and S. M. Wang, “A fast positioning method with pattern tracking for automatic wafer alignment,” in 2010 3rd International Congress on Image and Signal Processing, pp. 1594-1598, China, Oct. 2010.
- [11] S. Kwon, and H. Jeong, “Observer based fine motion control of autonomous visual alignment systems,” in 2009 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, pp. 1822-1827, Singapore, Jul. 2009.
- [12] S. Kwon, H. Jeong, and J. Hwang, “Kalman filter-based coarse-to-fine control for display visual alignment systems.” IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, Vol. 9, no. 3, pp. 621-628, May 2012.
- [13] S. Kwon, and J. Hwang, “Kinematics, pattern recognition, and motion control of mask-panel alignment system,” Control Engineering Practice, Vol. 19, iss. 8, pp. 883-892, May 2011.
- [14] J. T. Tsai, P. Y. Yang, and J. H. Chou, “Data-driven approach to using uniform experimental design to optimize system compensation parameters for an auto-alignment machine,” IEEE Access, Vol. 6, pp. 40365-40378, Aug. 2018.
- [15] G. Taguchi, S. Chowdhury, and S. Taguchi, Robust engineering, McGraw-Hill, New York, 2000.
- [16] Y. Wang, and K. T. Fang, “A note on uniform distribution and experimental design,” Chinese Science Bulletin, Vol. 26, No. 6, pp. 485-489, Jun. 1981.
- [17] K.T. Fang, Uniform design and uniform layout, Science Press, 1994.
- [18] H. Tsao, and L. Lee, “Uniform layout implement on Matlab,” Statistics and Decision, Vol. 2008, no. 6, pp. 144-146, Mar. 2008.
- [19] F. J. Hickernell, “A generalized discrepancy and quadrature error bound,” Mathematics of Computation, Vol. 67, pp. 299-322, Jan. 1998.